МАТЕРИАЛЫ
I Международной научной конференции «Донецкие чтения 2016. Образование, наука и вызовы современности»

Том 1

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ, ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ И ЭКОЛОГИЯ

2016

Уважаемые коллеги!

Перед Вами 8-томное издание материалов I Международной научной конференции «Донецкие чтения 2016. Образование, наука и вызовы современности». Здесь содержатся ответы на многие актуальные вопросы, но наиболее важным является сам факт проведения масштабной конференции, охватывающей практически все направления науки в Донецкой Народной Республике, против которой ведутся военные действия. Наши ученые не прекращают научную деятельность в осажденном, обстреливаемом городе.

Для Донецкого национального университета важна поддержка конференции со стороны научной общественности разных стран и, прежде всего, Российской Федерации. Мы высоко это ценим и выражаем всем участникам глубокую благодарность.

Надеюсь, что представленные результаты исследований в разных областях науки дадут новый импульс международному научно-образовательному сотрудничеству нашего университета с вузами, научными учреждениями России и других стран.

И.о. ректора ДонНУ,
доктор физико-математических наук,
профессор С. В. Беспалова

Министерство образования и науки
Донецкой Народной Республики
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»
Ассоциация юридических вузов России
Международная славянская академия наук,
образования, искусств и культуры

I Международная научная конференция

Материалы конференции

Донецкие чтения 2016. Образование, наука и вызовы современности

Том 1

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ, ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ И ЭКОЛОГИЯ

г. Донецк
16–18 мая 2016 г.

Ростов-на-Дону
Издательство Южного федерального университета
2016

ББК Б.я431+З97я431
УДК 51+53+004+504
Д672

Редакционная коллегия:
С.В. Беспалова (научный редактор), М.В. Фоменко (отв. секретарь),
В.А. Дубровина, В.Н. Андриенко, О.С. Горецкий, В.В. Данилов

Д672 **Донецкие чтения 2016. Образование, наука и вызовы современности:** Материалы I Международной научной конференции (Донецк, 16-18 мая 2016 г.). – *Том 1. Физико-математические, технические науки и экологи*я / под общей редакцией проф. С.В. Беспаловой. – Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2016. – 393 с.

ISBN 978-5-9275-1956-9
ISBN 978-5-9275-1955-2 (Т. 1)

Ответственность за аутентичность цитат, правильность фактов и ссылок несут авторы статей.

В первый том материалов конференции вошли научные исследования проблем механико-математических, физических и технических наук, информационно-коммуникационных технологий и информационной безопасности, а также экологии, охраны окружающей среды и рационального природопользования.

Освещенные в сборнике проблемы и направления их решения будут полезны научным работникам, преподавателям, аспирантам и студентам, проводящим исследования в области физико-математических, технических наук и экологии.

ББК Б.я431+З97я431
УДК 51+53+004+504

ISBN 978-5-9275-1955-2 (Т. 1)
ISBN 978-5-9275-1956-9

© Коллектив авторов, 2016
© Донецкий национальный университет, 2016

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

Председатель *Беспалова С.В.*	д.ф.-м.н., проф., и.о. ректора ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет» (г. Донецк)

Заместители председателя:

Бабурин С.Н.	д.ю.н., проф., Заслуженный деятель науки РФ, Президент Ассоциации юридических вузов (г. Москва)
Метелица А.В.	д.х.н., проф., проректор по развитию естественно-научного и физико-математического направления Южного федерального университета (г. Ростов-на-Дону)

Члены программного комитета:

Галахова О.Ю.	начальник отдела внешнеторговой политики МИД ДНР (г. Донецк)
Глухов А.З.	д.б.н., проф., член-корреспондент НАНУ, гл.н.с. Донецкого ботанического сада (г. Донецк)
Варюхин В.Н.	д.ф.-м.н., проф., член-корреспондент НАНУ. Заслуженный деятель науки и техники Украины, директор ГУ «Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина» (г. Донецк)
Вербенко И.А.	к.х.н., с.н.с., и.о. директора НИИ физики Южного федерального университета (г. Ростов-на-Дону)
Ермаков П.Н.	д.б.н., проф., член-корреспондент РАО, директор Института психологии, управления и бизнеса Южного федерального университета (г. Ростов-на-Дону)
Илюхин А.А.	д.ф.-м.н., проф., профессор кафедры математики Таганрогского института им. А.П. Чехова Ростовского государственного экономического университета (г. Таганрог)
Калиущенко В.Д.	д.филол.н., проф., проректор по научной и инновационной деятельности Донецкого национального университета (г. Донецк)
Керимов А.Д.	д.ю.н., проф., главный редактор издания «Российский журнал правовых исследований» (г. Москва)
Кисляков С.В.	д.ф.-м.н., член-корреспондент РАН, заведующий лабораторией математического анализа Санкт-Петербургского отделения Математического института им. В.А. Стеклова РАН, профессор кафедры математического анализа Санкт-Петербургского государственного университета (г. Санкт-Петербург)

Клещев В.Н.	к.психол.н., проф., профессор кафедры бокса и кикбоксинга Российского государственного университета физической культуры (г. Москва)
Ковалев А.М.	д.ф.-м.н., проф., академик НАНУ, директор ГУ «Институт прикладной математики и механики» (г. Донецк)
Колоней В.А.	к.искусств, проф., и.о. ректора Донецкой Государственной Музыкальной Академии им. С.С. Прокофьева (г. Донецк)
Мармазова Т.И.	д.полит.н., проф., вице-президент Фонда «Юго-Восток» (г. Симферополь)
Маслий Н.Ю.	начальник отдела макроэкономической стратегии МИД ДНР (г. Донецк)
Минкин В.И.	д.х.н., академик РАН, проф., научный руководитель Южного федерального университета (г. Ростов-на-Дону)
Пичугин В.В.	заместитель Министра МИД ДНР (г. Донецк)
Половян А.В.	д.э.н., доц., директор ГУ «Институт экономических исследований» (г. Донецк)
Приходько С.А.	к.б.н., ст.н.с., директор Донецкого ботанического сада (г. Донецк)
Ризниченко Г.Ю.	д.ф.-м.н., проф., зав. сектором информатики и биофизики сложных систем кафедры биофизики Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова (г. Москва)
Савоськин М.В.	к.х.н., с.н.с., директор ГУ «Институт физико-органической химии и углехимии им. Л.М. Литвиненко» (г. Донецк)
Скафа Е.И.	д.пед.н., проф., проректор по научно-методической и учебной работе Донецкого национального университета (г. Донецк)
Шкаликов А.А.	д.ф.-м.н., проф., профессор кафедры теории функций и функционального анализа Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова (г. Москва)
Aizenberg L.	Professor Bar-Ilan University (Israel)

УДК 378.4

КОНЦЕПЦИЯ РАЗВИТИЯ ДОНЕЦКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА КАК НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО И ИННОВАЦИОННОГО КЛАСТЕРА ДОНБАССА

Беспалова С.В.
доктор физ.-мат. наук, профессор,
и.о. ректора
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет» (г. Донецк)
donnu.rector@mail.ru

Концепция развития на 2016–2020 годы Донецкого национального университета (далее соответственно – концепция, университет) направлена на восстановление, модернизацию, формирование и развитие ведущего научно-образовательного и инновационного кластера на территории Донецкой Народной Республики (далее – ДНР), содействующего решению стоящих перед регионом основных задач:

- возрождение и модернизация индустриальной и социальной инфраструктуры для самодостаточного и прибыльного экономического развития региона;
- восстановление социально-экономических условий жизни населения региона и повышение их качества до лучших мировых образцов;
- интеграция экономики и населения региона в единое экономическое, научно-образовательное и культурное пространство Российской Федерации и других стран СНГ;
- обеспечение научной и кадровой поддержки инфраструктурных, научно-технологических, инновационно-инвестиционных и социально-экономических программ и проектов региона;
- создание сбалансированной системы межнационального, межкультурного и межконфессионального взаимодействия и сотрудничества в регионе.

Позиционирование университета в республиканском, российском и международном научно-образовательном пространстве

Донецкий государственный университет основан в 1965 году (в 2000 году получил статус национального университета) как классический университет и обладает следующими признаками, которые, по мнению экспертной группы Евразийской ассоциации университетов, должны быть присущи таким университетам:

- ***высокий уровень подготовки*** специалистов;
- возможность получения студентами ***базовых знаний в различных областях науки при оптимальном сочетании естественнонаучных и гуманитарных дисциплин***;
- преобладание в научной деятельности доли ***фундаментальных исследований по широкому спектру наук***;
- способность к ***формированию и распространению нравственных и культурных ценностей***.

Эти черты образования и соответствующие качества выпускников позволяют говорить об ***особой роли классического университета в настоящее время – в период становления в Донбассе новой государственности.***

Интеллектуальный потенциал университета позволяет рассматривать его как ***полигон для отработки разнообразных изменений в содержании и технологии образования***, особенно таких, как усиление фундаментальной подготовки, переход к созданию и реализации ***междисциплинарных*** знаний, активное использование в учебном процессе результатов и технологий научного поиска. В связи с переходом к ***новым образовательным стандартам*** университет может оказать значительную помощь в освоении их другими вузами (особенно по введению дисциплин гуманитарного и естественнонаучного циклов), выступая в роли ***регионального научно-методического центра***.

Имея широкомасштабную подготовку кадров через докторантуру, аспирантуру, магистратуру, систему переподготовки и повышения квалификации, тесные связи со школами университет реализует идею ***непрерывного образования в течение всей жизни***. Отличительной чертой университета является и то, что ***выпускники работают во всех без исключения сферах деятельности***: экономике, науке, образовании, управлении, культуре, социальной сфере. Это дает университету возможность понимать и решать все проблемы подготовки специалистов для различных сфер деятельности, быть ***лидером в реализации образовательной функции высшей школы***. Необходимо также учитывать, что именно классические университеты призваны готовить ***преподавательские кадры*** для системы высшего образования, особенно в области гуманитарных, естественных и точных наук.

Значительную часть выпускников университета составляют специалисты в области ***гуманитарных и социально-экономических наук***. Именно эти науки отвечают в значительной степени за развитие культурной традиции народа, формируют представления о путях общественного развития, предлагают способы решения сложных социальных и экономических проблем.

В период восстановления и развития экономики ДНР потребуются, в первую очередь, работники естественных и технических наук, а также инженеры всех специальностей. В настоящее время актуальна необходимость подготовки многопрофильных специалистах, обеспечивающих проведение всесторонних общественных, социальных и экономических реформ. Потребность в высококвалифицированных кадрах будет только возрастать и расширяться спектр направлений их компетенций.

В настоящее время подготовка кадров естественного, гуманитарного и экономического профилей осуществляется на уровнях:

- ***Бакалавриата*** – по ***51*** направлению;
- ***Специалитета и магистратуры*** – по ***58*** специальностям;
- ***Аспирантура*** по ***59*** и ***докторантура*** по ***20*** специальностям.

Одной из первоочередных задач коллектива университета является восстановление контингента студентов. Общее количество студентов на 1 октября 2015 года – ***8 365*** (из них бюджетных – ***4 635***).

Общее количество заявлений абитуриентов в 2015 году составило ***12 824***, что больше чем в 2014 году. Всего в 2015 г. было зачислено ***4 643*** чел., в том числе: на дневную форму ***2 340*** студентов и на заочную – ***1 801*** студент.

Выпуск 2015 года составил ***1 709*** студентов. Дипломы с отличием получили ***236*** человек, что составило – ***14 %*** от общего количества выпускников. Рекомендации для поступления в аспирантуру получили ***152*** студента, что составляет ***19 %***, и это на ***9,3 %*** больше чем в 2014 году.

Эту динамику необходимо продолжать, поскольку подготовка научных кадров является сегодня наиважнейшей задачей университета.

Подтверждением международного уровня подготовки специалистов в университете является успешная Итоговая государственная аттестация, которую прошли ***1 138*** (70 %) наших выпускников в ведущих ВУЗах Российской Федерации.

Имея в настоящее время достаточный интеллектуальный потенциал, междисциплинарные научные подразделения и широко развернутые международные связи, университет способен сегодня выполнять и выполняет научные исследования по актуальным для региона направлениям и может предложить для восстановления Донбасса ряд результатов перспективных научных и технологических разработок, методик и технологий.

С 1 января 2016 года научные исследования ведутся в рамках ***13*** госбюджетных тем (из них ***8*** – фундаментальных, ***5*** – прикладных). Для их выполнения из госбюджета ДНР финансируются штатные научные сотрудники (***60*** чел.) и совместители из числа преподавателей ДонНУ (***57*** чел.). Исследования ведутся также на кафедрах в рамках ***25*** инициативных научно-исследовательских тем.

В университете по состоянию на 1 января 2016 года работают ***1 767*** штатных сотрудников (***79*** внешних совместителей), из них: ***670*** научно-педагогических работников (***75*** внешних совместителей). Научно-педагогические работники, имеющие ученую степень доктора и кандидата наук, составляет от общего числа научно-педагогических работников ***64 %***, то есть ***96*** докторов наук (***21*** внешних совместителей) и ***335*** кандидатов наук (***28*** внешних совместителей).

Набор в аспирантуру в 2015 году составляет ***84*** человека на бюджетную форму и ***5*** – на контракт, что соответствует уровню 2013 года. Всего в 2015 году в университете обучалось – ***196*** аспирант (***6*** по контракту), ***1*** соискатель и ***3*** докторанта.

Таким образом, университет сегодня – это многопрофильный научно-образовательный и инновационный комплекс, успешно адаптирующийся к современным социально-экономическим и общественно-политическим изменениям и вызовам, играющий активную интеграционную роль в республиканском, региональном и международном научно-образовательном и инновационном пространстве.

Миссия, стратегическая цель и задачи развития университета

Экономика ДНР в настоящее время нуждается в восстановлении и модернизации традиционных отраслей и предприятий, а также в определении новых траекторий технологического развития региона, которые могут быть реализованы в условиях ограниченных ресурсов и связей, что позволит перейти региону по ряду направлений к шестому технологическому укладу.

Этим процессам способствует принятие законов «Об образовании» и «О республиканских программах», разработка проектов законов «О науке и государственной научно-технической политике» и «Об интеллектуальной собственности» и ряда проектов программ развития экономики региона (Программа научно-технической поддержки и развития угольной отрасли, программы развития сельского хозяйства и другие), а также разрабатываемая Программа социально-экономического развития ДНР. Свой вклад в развитие Донбасса внесет реализация данной концепции развития университета.

Миссия университета – это подготовка высококвалифицированных кадров с высокими патриотическими, нравственными и культурными качествами, генерация и распространение знаний, выполнение фундаментальных и прикладных исследований; использование результатов исследований и технологических разработок для потребностей региона, консолидация интеллектуальных и материальных ресурсов для решения задач восстановления, модернизации и устойчивого развития региона.

Стратегическая цель – конвергенция образовательной, научной и инновационной деятельности университета и создаваемого вокруг него регионального кластера из заинтересованных предприятий, организаций и учреждений для достижения синергетического эффекта в развитии Донбасса посредством интеграции образования, науки и предпринимательства, т.е. осуществления перехода к модели развития «Университет 3.0».

Достижение указанной цели будет осуществляться путем реализации стратегического партнерства университета с республиканскими и местными органами власти, с представителями образовательного, научного и предпринимательского сообществ для решения следующих ***основных задач развития университета*** с перечнем необходимых мероприятий по их выполнению:

1. Модернизация образовательной деятельности университета на базе республиканских образовательных стандартов высшего образования с учетом перспективной потребности Донбасса и других регионов мира в высококвалифицированных специалистах:

- разработка новых и обновление действующих образовательных программ для востребованных направлений подготовки бакалавров, специалистов и магистров;
- расширение состава профилей по осуществляемым направлениям подготовки студентов с учетом мировых тенденций развития науки и технологий и потребностей работодателей;
- повышение качества подготовки бакалавров, специалистов и магистров путем координации и содействия в зачислении студентов университета в экстерны российских вузов для прохождения государственной итоговой аттестации, защите выпускных работ и получения дипломов Российской Федерации;
- согласование с российскими университетами образовательных программ двойных дипломов для подготовки магистров в том числе через системы дистанционного образования, структуры сетевых университетов и т.п.;
- открытие новых специальностей в аспирантуре и докторантуре университета, а также диссертационных советов по актуальным для региона научным направлениям;
- согласование с российскими университетами и научными организациями планов и программ совместной подготовки аспирантов, докторантов и соискателей из числа сотрудников университета с последующей защитой диссертаций в диссертационных советах Российской Федерации и других стран СНГ;
- выполнение форсайт-исследований потребностей работодателей региона для определения новых и оценки действующих направлений и профилей подготовки студентов;

- участие в разработке и согласовании новых республиканских и международных образовательных стандартов высшего образования;

- разработка и реализация программы обмена опытом образовательной и научной деятельности с университетами и научными организациями Российской Федерации и других стран СНГ и мира.

2. Обеспечение привлекательности и мотивированности обучения в университете для абитуриентов, а также взаимовыгодности сотрудничества с университетом для работодателей:

- составление, согласование и реализация ежегодных планов работы со школьниками и абитуриентами (заключение договоров со школами; руководство научных кружков в школах и в университете; координация деятельности Малой академии наук; развитие лицея при университете; проведение дней открытых дверей и т.п.);

- развитие центра довузовской подготовки, в том числе организация бесплатных кратковременных курсов подготовки к вступительным экзаменам и собеседованию для абитуриентов;

- исследование показателей и критериев привлекательности и мотивированности обучения в университете и разработка способов их повышения;

- составление, согласование и реализация ежегодных планов работы с работодателями (заключение договоров с предприятиями, организациями и учреждениями; организация ярмарок вакансий; создание системы целевой подготовки магистров, аспирантов и докторантов и т.п.);

- исследование показателей и критериев взаимовыгодного сотрудничества университета и работодателей и разработка рекомендаций по организации взаимодействия с потенциальными заказчиками и потребителями образовательных услуг университета.

3. Расширение спектра образовательных, научных и инновационных услуг, предоставляемых университетом:

- подготовка и осуществление междисциплинарных образовательных программ обучения бакалавров, специалистов и магистров;

- разработка и реализация научно-образовательных и технолого-производственных междисциплинарных программ подготовки аспирантов, докторантов и соискателей;

- составление и внедрение образовательных программ переподготовки и повышения квалификации кадров с высшим образованием;

- организация рабочих групп по научному консультированию и проведению научно-технических, социально-экономических и гуманитарно-правовых экспертиз;

- создание временных творческих коллективов для решения актуальных задач развития университета и региона;

- формирование инициативных межфакультетских команд и межуниверситетских (с участием научных институтов и предприятий) консорциумов для разработки и выполнения перспективных республиканских и международных проектов.

4. Активное внедрение в учебный процесс инновационных образовательных технологий, повышающих качество подготовки

выпускников, производительность труда преподавателей и эффективность организации учебной деятельности в университете:

- разработка и реализация программы внедрения в образовательный процесс дистанционных методов обучения и обеспечения этого процесса средствами мультимедиа;
- организация и проведение курсов обучения преподавателей университета активному использованию на учебных занятиях технических средств мультимедиа;
- подготовка и выполнение проектов по организации факультативных виртуальных занятий как для студентов университета, так и для любых желающих: вебинаров, телеконференций, онлайн лекций и т.п.;
- разработка интерактивных (удаленных) лабораторных работ по естественным, экономическим и гуманитарным дисциплинам и участие в существующих веб-системах удаленных экспериментах в режиме реального времени;
- развитие методик активного обучения (деловых игр, мозговых штурмов, проектно-командного подхода и т.п.).

5. Обновление кадрового потенциала университета за счет создания условий для профессионального роста научно-педагогических работников университета и привлечения талантливых педагогов и ученых из ведущих республиканских, российских и мировых университетов, исследовательских институтов, центров и лабораторий:

- разработка стимулирующих механизмов для создания условий профессионального роста сотрудников университета (разработка и принятие Положения о стимулировании сотрудников университет за научные и педагогические достижения);
- разработка стимулирующих механизмов для привлечения сторонних сотрудников на временной основе (разработка и принятие Положения о временной работе в университете по совместительству и по гражданско-правовым договорам);
- разработка нормативно-правовых положений для привлечения иностранных граждан к сотрудничеству с университетом (разработка и принятие Положения о сотрудничестве университета с иностранными гражданами).

6. Создание благоприятных условий для максимально полной реализации личностного и профессионального потенциала сотрудников университета и обучающихся в университете:

- создание нормативной комиссии по редактированию и разработки нормативно-правовых документов университета;
- разработка новой редакции Устава Донецкого национального университета;
- разработка Программы развития Донецкого национального университета на 2016–2020 годы;
- разработка новой редакции Коллективного договора;
- разработка новой редакции Правил внутреннего трудового распорядка;
- введение в действие на факультетах, кафедрах и других структурных подразделениях системы личного планирования и отчетности: ежемесячных индивидуальных планов работы сотрудников университета;

- организация ежегодных рейтингов по категориям сотрудников с соответствующим поощрением победителей;

- внедрение в образовательный и исследовательский процесс обучения студентов проектно-командный метод взаимодействия между обучающимися и наставниками, а также проведение периодических соревнований между командами по защите результатов проектов;

- привлечение и содействие участию студентов и сотрудников университета в университетских, республиканских и международных мероприятиях, соревнованиях, фестивалях и т.п.;

- развитие организационные и технические возможности улучшения здоровья и совершенствования физического потенциала студентов и сотрудников университета путем активного занятия спортом и участия в спортивных соревнованиях различного уровня.

7. Формирование научно-исследовательского, технологического и инновационного кластера вокруг университета, обеспечивающего международный уровень образования, исследований и разработок по решению актуальных проблем развития региона:

- интеграция с академическими и отраслевыми научно-исследовательскими институтами путем создания совместных кафедр в институтах и совместных научных лабораторий в университете;

- активизация работы по регистрации научных журналов и сборников научных трудов университета в Министерстве информации ДНР, а также по включению зарегистрированных периодических изданий университета в перечень рецензируемых научных изданий ВАК ДНР и РИНЦ;

- подготовка и публикация результатов научных исследований в университетских журналах и сборниках, а также в иностранных изданиях, входящих в число реферируемых изданий (РИНЦ, Scopus, Web of Science);

- расширение взаимодействия с предприятиями, организациями и учреждениями региона посредством заключения договоров о сотрудничестве и контрактов на НИР;

- закрепление партнерства с республиканскими и местными органами власти путем заключения договоров о партнерстве и контрактов на НИР;

- возобновление и развитие сотрудничества с зарубежными научными, образовательными и предпринимательскими организациями, а также благотворительными и венчурными фондами, через заключение соглашений о сотрудничестве с организациями и фондами Российской Федерации, других стран СНГ и мира.

8. Развитие инфраструктуры регионального кластера университета и формирование продуктивной образовательной, научно-исследовательской и инновационной системы университета с учетом интересов стратегических партнеров из других предприятий, организаций и учреждений:

- подготовка, согласование и заключение меморандума о создании кластера между университетом, научными учреждениями, предприятиями и организациями;

- создание научного парка университета и сети малых инновационных предприятий;

- создание центра трансфера технологий и инноваций и установление деловые контакты с аналогичными центрами в Российской Федерации и других странах СНГ;

- создание центра коллективного пользования научным оборудованием и установление деловые контакты с подобными центрами в Российской Федерации и других странах СНГ;

- создание студенческого конструкторского бюро;

- создание студенческого инновационного бизнес-инкубатора.

9. Повышение эффективности управления университетом и формирование результативной организационной структуры:

- создание Попечительского совета университета;

- создание Наблюдательного совета университета;

- формирование на базе факультетов научно-образовательных центров (НОЦ) естественных, гуманитарных и экономико-юридических наук (разработать новую редакцию Положения о НОЦ естественных наук в 2016 г., Положение о НОЦ гуманитарных наук – 2017 г., Положение о НОЦ экономико-юридических наук – 2018 г.);

- внедрение компьютерно-информационной системы менеджмента университета (кадры, бюджет, научно-образовательный процесс и т.п.);

- организация и проведение внутриуниверситетских курсов повышения квалификации для руководящих работников по вопросам управления персоналом, проектного менеджмента, управления качеством и т.п. (разработать программу 24-х часовых курсов в 2016 году, состав слушателей: деканы и зам. деканы (2016), зав. кафедрами (2017), профессора (2018), доценты (2019), др. сотрудники (2020));

- развитие системы студенческого самоуправления и самоконтроля для привлечения студентов к управлению университетом;

- содействие в учреждении Ассоциации выпускников университета.

10. Поддержка и развитие финансово-экономической автономности и устойчивости университета:

- формирование прозрачной и открытой системы распределения бюджетных средств общего фонда, контроля их расходов и отчетности (разработать Положение о системе, принципах и правилах распределения бюджетных средств);

- организация системы учета доходов и расходов внебюджетных средств специального фонда, которые поступают за оказание образовательных услуг и выполнение хозяйственных договоров и контрактов (разработать Положение о системе, принципах и правилах распределения внебюджетных средств);

- привлечение спонсорской помощи и благотворительных взносов на реализацию проектов развития университета (разработать Положение о системе, принципах и правилах привлечения и распределения благотворительных средств);

- разработка и реализация Программы развития материально-технической базы университета (строительства и ремонта помещений, закупки и эксплуатации компьютерной и офисной техники, приобретения и установки научного оборудования и т.п.).

11. Осуществление систематического мониторинга показателей деятельности университета и оперативной корректировки принятых решений в связи с объективными изменениями внешней и внутренней среды функционирования университета:

- создание системы оперативной отчетности образовательных и научных подразделений университета через локальную сеть университета;
- организация системы ежеквартального мониторинга показателей деятельности образовательных и научных подразделений университета (показатели кадрового состава, результаты образовательной и научной деятельности, финансовые данные и т.п.);
- формирование квартальных, полугодовых и годовых отчетов университета с применением средств инфографики (таблицы, графики, диаграммы и т.п.);
- представление годовых отчетов университета широкой публике и размещение их на официальном веб-сайте университета в сети Интернет с открытым доступом;
- построение системы самообследования деятельности университета (разработать Положение о самообследовании деятельности университета с указанием критериев, показателей, результатов и т.п.);
- создание системы менеджмента качества университета и подготовка документации для проверки и признания соответствия требованиям стандарта ISO 9001:2008 в отношении проектирования, разработки и осуществления образовательной деятельности в области среднего, дополнительного профессионального и высшего образования в соответствии с областью лицензирования и государственной аккредитацией, а также научно-исследовательской и инновационной деятельности.

12. Творческое развитие и приумножение лучших культурных и этнических традиций и ценностей многонационального населения Донбасса:

- разработка и реализация Комплексной междисциплинарной программы возрождения и развития русских гуманитарных традиций в научной, образовательной и воспитательной деятельности университета;
- выполнение Междисциплинарного проекта «Культура народов Донбасса»;
- разработка и реализация Проекта молодежной политики университета и Концепции патриотического воспитания молодежи университета;
- создание центра современного искусства в университете;
- создание и развитие Регионального отделения Международной славянской академии наук, образования, искусств и культуры на базе университета;
- создание и развитие Донецкого культурно-просветительского центра «Русский край» в университете при поддержке Фонда «Русский мир»;
- организация международных конференций, семинаров, круглых столов с участием представителей академических, образовательных и творческих сообществ Российской Федерации и других стран СНГ и мира;
- разработка системы поддержки участия сотрудников университета и студентов, аспирантов и докторантов в научных, образовательных и культурных мероприятиях, которые проводятся в Российской Федерации и других странах СНГ и мира.

Ожидаемые результаты реализации концепции

Развитие университета будет являться цивилизационным ответом на актуальные социально-экономические и общественно-политические вызовы, возникшие перед ДНР, требующие консолидации интеллектуальных и материальных ресурсов для решения задач сбалансированного развития ДНР. От реализации данной концепции развития университета ожидаются следующие результаты в основных сферах деятельности университета.

Ожидаемые результаты образовательной деятельности:

- модернизация образовательной деятельности университета создаст предпосылки для качественного изменения содержания и направленности естественнонаучного, гуманитарного, экономического, юридического и педагогического образования, активного вовлечения молодых специалистов в реализацию результатов фундаментальных и прикладных исследований, инновационных разработок, что позволит решить ряд актуальных проблем для Донбасса.
- концентрация внимания на подготовке современных и эффективных управленцев-менеджеров как для системы государственной службы, так и для различных предприятий и предпринимательских структур, позволит оперативно провести инфраструктурные и социально-экономические реформы в регионе с учетом первоочередных потребностей населения;
- формирование активной гражданской позиции у обучающихся в университете, ориентированной на принципы исторической общности, патриотизма, обеспечения прав и свобод граждан, их интересов в условиях исторически сложившегося многообразия культур, взаимообогащения и межнационального согласия, обеспечит условия для сбалансированного развития Донбасса.

Ожидаемые результаты научной деятельности:

- на базе результатов научных исследований и технологических разработок университета будет осуществляться технологическая модернизация (в том числе, импортозамещение) промышленного, энергетического и агропромышленного секторов региона, а также ассортиментное обновление в сфере предоставления услуг, что обеспечит экологически чистое и ресурсосберегающее социально-экономическое развитие Донбасса;
- разработанные в университете методы мониторинга состояния окружающей среды, способы предотвращения и ликвидации ее загрязнений, методики и технологии переработки и утилизации промышленных и бытовых отходов будет иметь ключевое значение для восстановления эко- и техносфер Донбасса;
- комплексные исследования университета в области информационно-телекоммуникационных, био-, нано- и бионанотехнологий позволят сформировать современный технологический кластер и обеспечить рост новых секторов экономики, что необходимо для развития в ДНР эффективной индустрии, способной конкурировать с передовыми зарубежными производителями товаров и услуг;
- новые парадигмы и подходы, которые будут разработаны в университете, к решению экономических и правовых проблем внутреннего и внешнего взаимодействия общества, государства и мирового сообщества позволят преодолеть экономическую и политическую изоляцию ДНР, а также обеспечат устойчивый рост экономики и социальных стандартов качества жизни населения;

- достигнутые результаты гуманитарных исследований университета обеспечат сохранение и популяризацию истории и культуры всех народов Донбасса, в том числе развитие международных, межнациональных и интернациональных связей на принципах дружественных, добрососедских и толерантных взаимоотношений.

Ожидаемые результаты инновационной деятельности:

- формирование инновационной инфраструктуры университета позволит сотрудникам и студентам стать ближе к проблемам реального сектора экономики и к насущным социальным потребностям населения;
- созданный региональный научно-образовательный и инновационный кластер обеспечит открытый доступ к достижениям университета для предприятий, учреждений и организаций Донбасса;
- университет станет центром превосходства в региональной инновационной системе и войдет в международные инновационные сети.

УДК 531.38

РАЗВИТИЕ И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ АНАЛИТИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ

Ковалёв А.М.
доктор физ.-мат. наук, профессор, академик НАНУ,
директор ГУ «Институт прикладной математики и механики» (г. Донецк)

Конференция позволяет провести анализ научных достижений в отдельных областях науки и определить перспективы отдельных исследований, которые бы отвечали не только интересам нашего общества, но и сохраняли достигнутый научный уровень. Перед нами стоят многие проблемы науки и образования. Я остановлюсь, на мой взгляд, на важной проблеме – поддержке научных школ. Для этого необходимо: во-первых – определить уровень достижений, во-вторых – сохранить кадровый потенциал, в-третьих – иметь конкретный план подготовки молодых ученых.

В Институте прикладной математики и механики создана и работает современная научная школа по аналитической механике – Донецкая школа механики, в 2015 году исполнилось 50 лет с момента её создания.

Отметим основные моменты функционирования, научные достижения и перспективы будущей работы школы.

Донецкая школа механики. В 1965 году по инициативе руководства Донецкой области и группы ученых был создан Донецкий научный центр. В его состав входил Донецкий вычислительный центр, который в 1970 году был переименован в Институт прикладной математики и механики АН УССР. Организатором и первым директором Института был Иван Ильич Данилюк. В 1965 году П.В. Харламов принял предложение И.И. Данилюка работать в Донецком научном центре. Вместе с ним в Донецк приехала группа студентов в составе: Г.В. Горр, А.А. Илюхин, А.М. Ковалев, Ю.М. Ковалев, Б.И. Коносевич, Е.В. Позднякович, А.Я. Савченко, а также Г.В. Мозалевская, А.И. Докшевич, Е.И. Харламова.

Начались рабочие будни. Проходили они в обсуждении решаемых задач, ознакомлении с последними достижениями в области механики, формулировке новых задач и методов. Однако, самые оживленные дискуссии и наиболее интересные направления научной деятельности велись и рождались на семинаре, руководил которым все годы П.В. Харламов. В итоге родилась научная школа с руководителем П.В. Харламовым, занимающая в области механики передовые позиции в мировой науке. К настоящему времени Донецкой научной школе принадлежат более 100 кандидатов наук и 19 докторов наук, включая двух член-корреспондентов и одного академика.

Основным элементом создания, развития и сохранения научных школ являются научные связи: их образование и сохранение. Донецкой школе механики удалось очень быстро установить научные контакты с ведущими научными центрами СССР и зарубежными центрами, при этом наши научные связи получились достаточно обширными, крепкими и очень полезными. Приведем их в краткой форме.

Россия: Москва – Институт проблем механики РАН (А.Ю. Ишлинский, Д.М. Климов, Ф.Л. Черноусько, А.П. Маркеев), Вычислительный центр РАН (В.В. Румянцев, В.Н. Рубановский), Институт проблем управления РАН (С.Н. Васильев), Институт математики РАН (В.В. Козлов), Институт прикладной математики РАН (А.Д. Брюно, В.В. Белецкий), Московский государственный университет (Л.Н. Сретенский, В.Г. Демин), Авиационный институт (В.Г. Веретенников, Ю.Г. Марков), Московское высшее техническое училище им. Н.Э. Баумана (А.П. Крищенко), Университет Дружбы народов (А.С. Галиуллин, Р.Г. Мухарлямов); Санкт-Петербургский государственный университет (Г.А. Леонов); Казань (А.П. Кузьмина); Нижний Новгород (Г.Г. Денисов); Иркутск (В.М. Матросов, С.В. Чайкин); Волгоград – Волгоградский филиал Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ (М.П. Харламов); Таганрогский государственный педагогический институт (А.А. Илюхин).

Армения: Государственный аграрный университет Армении (С.Р. Амбарцумян); Ереванский государственный университет (С.Г. Шагинян).

Польша: Институт математики Польской академии наук (Б. Якубчик), Познаньский технический университет (К. Козловски).

Австрия: Институт механики и мехатроники Венского технического университета (А. Штайндль);

Германия: Технический университет Ильменау, Университет Штутгарта (О. Заводни); Бременский университет (П. Рихтер).

Италия: Центр теоретической физики ЮНЕСКО и МАГАТЭ им. Абдуса Салама, Международная школа высших исследований (А.А. Аграчев).

Франция: Университет Пьера и Мари Кюри (Ж.-М. Корон).

Египет: Мансурский университет (Х.М. Яхья).

Научный журнал и конференции. Со дня основания Института обсуждался вопрос о создании научного журнала, в котором публиковались бы работы, посвященные проблемам динамики твердого тела и систем связанных тел, аналитической механики, задачам устойчивости, управления и стабилизации механических систем. Такой журнал был основан и в 1969 году появился выпуск 1 республиканского межведомственного сборника “Механика твердого тела”. В 2015 г. вышел выпуск 45. В первых тридцати выпусках ответственным редактором был П.В. Харламов, в них опубликовано 609 статей. Начиная с выпуска 31, ответственным редактором сборника является А.М. Ковалев.

С 1969 года Институт прикладной математики и механики проводит конференции по актуальным проблемам динамики твердого тела, теории устойчивости и теории управления.

Тематика этих конференций связана с новейшими исследованиями в области общей механики и прикладной математики: моделирование объектов современной техники системами твердых тел, построение новых математических методов исследования динамики сложных механических систем, разработка эффективных способов управления движущимися объектами, дальнейшее развитие теории устойчивости движения, приложение общих методов к исследованию динамики различных объектов. Число участников каждой из конференций составляло 100–150 человек, что давало возможность детально обсудить рассматриваемые вопросы и установить тесные контакты между научными школами. До последнего времени такие международные конференции регулярно проводились один раз в три года. С 1969 по 2011 год проведено 11 конференций “Устойчивость, управление и динамика твердого тела”.

Научные направления. Результаты фундаментальных научных исследований, выполненных учеными Донецкой школы механики, обобщены в 22 монографиях и более чем в 1000 научных статьях.

Исследования школы привели к решению задач, которые можно сформулировать как новый раздел в аналитической механике. Отметим основные его части.

- Разработка новых форм уравнений движения гиростата.
- Создание метода инвариантных соотношений для автономных систем дифференциальных уравнений и для неавтономных систем дифференциальных уравнений.
- Разработка методов вложения невырожденных многообразий в интегральное многообразие и построение первых интегралов уравнений движения.
- Построение новых решений уравнений динамики тяжелого твердого тела и гиростата.
- Развитие метода годографов истолкования движения гиростата и прямое истолкование движений в частных решениях уравнений динамики.
- Применение теории возмущений и первого метода Ляпунова в исследовании окрестности частных решений уравнений динамики для анализа общих свойств интегральных многообразий.
- Моделирование движений систем связанных твердых тел и упругих элементов на основе новых форм уравнений.

Прикладные исследования. Прикладные исследования по механике выполнялись по хоздоговорам с предприятиями аэрокосмического и военно-промышленного комплекса. Первые крупные разработки начались в 1971 году и были связаны с созданием гироскопических приборов для искусственных спутников Земли (ИСЗ). Эти работы выполнялись для Харьковского предприятия, занимавшегося проектированием и изготовлением систем управления для баллистических ракет и ИСЗ (ныне “Хартрон”).

В середине 80-х годов в СССР приступили к выполнению ряда научных программ по внедрению робототехники в различные отрасли производства, в том числе и в горное дело. Разработчиками отечественного многоцелевого шахтного мобильного манипулятора были поставлены перед сотрудниками ИПММ задачи об

автоматизации конструкторских расчетов в задачах проектирования шахтных манипуляторов и о моделировании динамики при выполнении манипулятором базовых технологических операций. Консультации с учеными Института проблем механики АН СССР (академик АН СССР Ф.Л. Черноусько) и ЛИИ АН СССР (проф. Ф.М. Кулаков) позволили сотрудникам института создать пакет прикладных программ, позволяющих решать прямые и обратные задачи динамики для произвольной системы твердых тел, соединенных одностепенными шарнирами.

Совместно с коллегами из Технического университета Ильменау и Университета Штутгарта (Германия) осуществлен проект по математическому моделированию и стабилизации движения лестницы пожарной машины IVECO Magirus при поддержке фонда Гумбольдта (Германия).

Также, результаты фундаментальных исследований стали основой ряда уникальных прикладных разработок, выполненных для многих отраслей народного хозяйства: угольной, горнодобывающей, медицинской, космической и др. А именно:

- Результаты исследований, связанных с горной тематикой, были использованы при разработке рекомендаций по безопасному ведению горных работ на выбросоопасных угольных платах в струговых и комбайновых лавах. Рекомендации внедрены при отработке выбросоопасного угольного пласта шахты им. Бажанова.
- На основании результатов исследований по одной из ведомственных научно-исследовательских тем предложена трехмерная гемодинамическая модель поведения потоков крови сосудов людей с разными патологиями и методы улучшения, классификации и обработки медицинских изображений, которые используются в исследовательской и лечебной практике Института неотложной и восстановительной хирургии им. В.К.Гусака. Это дало возможность повысить эффективность операционного лечения и уменьшить риск послеоперационных осложнений. Получен соответствующий акт об использовании результатов.
- Перспективным направлением исследований прикладной направленности являются проблемы биомеханики. В ИПММ, совместно с НИИ протезирования, протезостроения и восстановления трудоспособности (г. Харьков) был создан программно-аппаратный комплекс бесконтактной регистрации и последующего анализа движений человека. Особенностью указанной разработки является автоматизированное составление биомеханической модели полного двигательного процесса по данным видеорегистрации движений человека, адаптация параметров модели для конкретного испытуемого, расчет и анализ кинематических, динамических и энергетических характеристик целостного движения. Программно-аппаратные системы бесконтактной регистрации и последующего анализа движений востребованы в различных сферах человеческой деятельности – в лечебной медицине, протезировании спорте и даже – в балете и цирковом искусстве.

Направления дальнейшего развития. Одно из самых перспективных направлений дальнейших исследований связано с развитием методов иерархического управления математическими моделями взаимодействующих мобильных роботов. На уровне описания мехатронных моделей предполагается исследование уравнений движения с учетом электродинамических процессов в сервомоторах и звеньях системы управления. Для решения задачи планирования движения на верхнем уровне управления предполагается распространение аппарата навигационных функций с использованием теории

Морса в среде с препятствиями. Прямой метод Ляпунова будет развит для синтеза функций обратной связи на уровне локального управления ориентацией роботов. В рамках такого подхода предполагается создание оптимальных алгоритмов управления с учетом гибридной динамики системы с переключениями на верхнем уровне и непрерывным движением на нижнем уровне.

Тематика мобильных роботов особенно актуальна сегодня в связи с обращением ракетно-космической промышленности к освоению Луны. В возникающих здесь задачах робототехника объединяется с теорией управляемых движений систем связанных твердых тел. Кроме того, для решения этих задач нашей школе необходимо освоение методов экспериментальных исследований, совместимых с соответствующими теоретическими разработками. Для того, чтобы быть на переднем крае этих работ, потребуется установление контактов с ракетно-космической промышленностью на условиях финансирования с возможной организацией совместного предприятия специального назначения. При активном участии нашей молодежи все это нам посильно и приведет к новым достижениям в фундаментальной и прикладной науке.

Заключение. В заключении следует сказать, что переход к российским стандартам по защитам диссертаций и поддержка учеными России в виде отзывов ведущих организаций предполагает, что целесообразно переходить к дальнейшим мероприятиям по научному сотрудничеству. В частности – на основе дополнительных экспертиз ведущих ученых России предусматривать, в отдельных случаях, выдачу дипломов российского образца для кандидатов и докторов наук, начать проработку процедуры участия наших ученых в качестве соисполнителей в конкурсах РФФИ и др.

УДК 621.73.77

НАНОМАТЕРИАЛЫ – ОСНОВА СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Варюхин В.Н [1,2]
[1] ГУ «Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина» (г. Донецк)
[2] ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет» (г. Донецк)
director@fti.dn.ua

Наноматериалы получают с помощью нанотехнологий. Нанотехнология – междисциплинарная область фундаментальной и прикладной науки и техники, связанная с методами производства и применения продуктов с заданной структурой путём контролируемого манипулирования отдельными атомами и молекулами. Размеры элементов структуры, с которыми данная область науки имеет дело, составляют от 1 до 100 (или немногим более) нанометров, что позволяет существенно улучшить функциональность состоящего из таких объектов материала и открыть множество новых возможностей его применения.

Продукция из наноматериалов активно занимает лидирующие позиции на мировых рынках благодаря широкому спектру уникальных свойств. Спектр применения такой продукции достаточно широк – от протезов для травматологии и стоматологии до деталей газотурбинных двигателей и конструкций ответственного назначения, а также сопла, плунжеры, клапаны нефтепроводов

и многое другое. Развитие собственной индустрии нанотехнологий – важная задача для любого государства. Результатом решения такой задачи является снижение зависимости от импорта и, как следствие, повышение уровня государственной безопасности

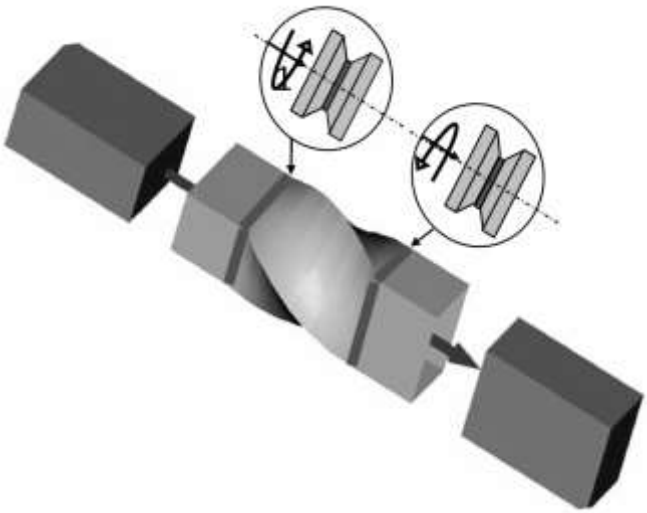
Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина (ДонФТИ) ведет работы в сфере нанотехнологий уже более 10 лет. За это время разработан ряд технологий получения материалов принципиально нового уровня, обладающих наноструктурой. Эти материалы без преувеличения можно назвать технологиями будущего, поскольку их характеристики соответствуют самым новым тенденциям развития в области науки и техники.

Для получения металлических объемных наноматериалов используется метод винтовой экструзии. Винтовая экструзия представляет собой процесс интенсивной пластической деформации, который был предложен и реализован впервые в 1999 г. в ДонФТИ. На данный момент он широко известен как в странах ближнего, так и дальнего зарубежья, и относится к наиболее перспективным процессам своего класса наряду с такими методами, как равноканальное угловое прессование, кручение под высоким давлением, всесторонняя ковка.

Процесс винтовой экструзии состоит в том, что призматический образец продавливают через матрицу с каналом, содержащим два призматических участка, разделённых участком винтовой формы. В ходе обработки при высоком уровне гидростатического давления, материал испытывает интенсивный сдвиг, сохраняя при этом идентичность начального и конечного сечений образца.

Представлены результаты исследований процесса винтовой экструзии и разработок по его осуществлению. Винтовая экструзия имеет значительный коммерческий потенциал благодаря быстрому измельчению зерен и интенсивному массопереносу, приводящему к гомогенизации и перемешиванию материалов. Основное применение метода винтовой экструзии – формирование субмикронных и наноструктур в металлах и сплавах для последующего применения в медицине и авиации; обработка вторичных цветных металлов и сплавов для улучшения их механических свойств, а также производство объемных образцов путем консолидации порошков. Одним из новых направлений исследований по винтовой экструзии является формирование в металлическом материале гибридных структур с целью приобретения им нового комплекса свойств, не характерного для компонентов гибрида (рис. 1).

Для создания керамических наноматериалов в ДонФТИ разработана технология получения оксидных наночастиц на основе химического метода совместного осаждения с применением ряда физических воздействий (ультразвука, СВЧ нагрева, импульсного магнитного поля) и организовали первую в Украине пилотную линию по производству оксидных нанопорошков. Технология исключает образование жестких агломератов и обеспечивает получение монокристаллических частиц заданного размера (например: 6, 12, 18, 24, 32 нм) с узкой дисперсией по размеру. Технология синтеза оксидных нанопорошков создана на основе химического метода соосаждения растворов солей с применением ряда физических воздействий (ультразвука, СВЧ и импульсного магнитного поля) в процессе их получения. Разработанная технология позволяет получать нанопорошки с мягкими, легко разрушающимися агломератами, с заданными размерами наночастиц и узким распределением их по размеру, с контролируемым фазовым и химическим составом.



До винтовой экструзии	После винтовой экструзии
Размер зерна	
100 мкм	100 нм
Предел прочности чистого титана	
430 МПа	840 МПа
Пластичность вторичного алюминия (Al 99.3 %)	
20 %	70 %
Предел усталости алюминиевого сплава Al-Mg-Sc	
180 МПа	330 МПа

Основные эффекты:

- *Интенсивная фрагментация*
- *Большая доля высокоугловых границ*
- *Дробление хрупких включений*
- *Вихревое течение и перемешивание*
- *Интенсивная консолидация порошков*
- *Термостабильность сформированной субмикрокристаллической структуры*

Рис. 1. Винтовая экструзия металлов и сплавов

Получаемые в ДонФТИ нанопорошки находят широкое функциональное применение в качестве сорбентов, катализаторов, пигментов, антибактериальных материалов, фильтров для очистки воздуха, онкологических маркеров, в качестве наполнителей композитов, а также как исходное сырье для керамики технического и медицинского назначения (рис. 2).

Рис. 2. Износостойкая керамика на основе нанопорошков диоксида циркония

Наличие в одном комплексе производства нанопорошков и керамики позволяет проводить взаимосвязанные работы по их получению и выполнять сложные, ориентированные на конечный результат, задачи.

УДК 539.3:534.1

ОДНОРОДНЫЕ РЕШЕНИЯ КРАЕВЫХ ЗАДАЧ О ГАРМОНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЯХ ПОПЕРЕЧНО-НЕОДНОРОДНЫХ ПЛИТ

Алтухов Е.В., Фоменко М.В.
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк
ealtukhov@ukr.net, maxim_fom@mail.ru

Изменение упругих свойств материала по одной из координат характерно для многих тел. Поперечно-неоднородные, в том числе слоистые, пластины широко применяются в качестве составных элементов многих конструкций. Решение конкретных краевых задач теории упругости для функционально-градиентных сред сопряжено с необходимостью учета неоднородности материала. Анализ математических теорий поперечно-неоднородных упругих плит отражен в монографии [3], где отмечается, что актуальным является развитие аналитических методов исследования напряженно-деформированного состояния и волновых полей в поперечно-неоднородных плитах на основе уравнений пространственной теории упругости. Одним из эффективных точных аналитических методов решения трехмерных краевых задач о колебаниях неоднородных, в частности, слоистых плит является метод однородных решений [1, 3], который был впервые предложен А.И. Лурье в работе [2]. В монографии [1] на основе однородных решений изложены аналитические и численно-аналитические методы решения краевых задач трехмерной теории упругости о равновесии и гармонических колебаниях однородных и поперечно-неоднородных изотропных пластин. Для поперечно-неоднородных пластин вихревое и потенциальное решения описаны спектральными задачами для дифференциальных операторов с переменными коэффициентами.

В данном докладе в трехмерной постановке рассматриваются классы задач об упругих гармонических колебаниях поперечно-неоднородных по толщине изотропных плит в случае разнообразных краевых условий на плоских гранях. Торцы плит жестко закреплены, свободны от напряжений, покрыты диафрагмой или находятся в условиях скользящей заделки, а на границе раздела слоев выполняются условия идеального или скользящего контакта. В случае симметричного по толщине строения плит с однородными слоями построены однородные решения уравнений движения для указанных задач и на их основе исследованы волновые характеристики и закономерности волновых полей в трехслойных плитах симметричного строения.

Построение однородных решений задач для трехслойных плит сводится к интегрированию уравнений движения в перемещениях для каждого слоя

$$\lambda^{-2}\partial_3^2 u_{mj} + \left(D^2 + \Omega_m^2/\lambda^2\right)u_{mj} + \nu_{m0}\partial_j\theta_m = 0,$$

$$\lambda^{-2}\partial_3^2 u_{m3} + \left(D^2 + \Omega_m^2/\lambda^2\right)u_{m3} + \lambda^{-1}\nu_{m0}\partial_3\theta_m = 0$$

с учетом одного из четырех граничных условий на торцах плиты

$$u_{1i}(x_1, x_2, 1) = 0; \quad \sigma_{1i3}(x_1, x_2, 1) = 0;$$

$$u_{1j}(x_1, x_2, 1) = 0, \ \sigma_{1j3}(x_1, x_2, 1) = 0; \quad \sigma_{1j3}(x_1, x_2, 1) = 0, \ u_{13}(x_1, x_2, 1) = 0$$

и одного из условий контакта слоев

$$u_{1i}(x_1, x_2, \lambda_2) = u_{2i}(x_1, x_2, \lambda_2), \quad \sigma_{2i3}(x_1, x_2, \lambda_2) = \sigma_{2i3}(x_1, x_2, \lambda_2);$$

$$u_{13}(x_1, x_2, \lambda_2) = u_{23}(x_1, x_2, \lambda_2), \quad \sigma_{133}(x_1, x_2, \lambda_2) = \sigma_{233}(x_1, x_2, \lambda_2),$$

$$\sigma_{mj3}(x_1, x_2, \lambda_2) = 0.$$

Здесь $i = \overline{1,3}; \quad j, m = 1,2$.

На основе полуобратного метода И.И. Воровича получены однородные решения задач в виде суммы вихревого и потенциального состояний

$$\begin{Bmatrix} u_{m1}(x_1, x_2, x_3) \\ u_{m2}(x_1, x_2, x_3) \\ u_{m3}(x_1, x_2, x_3) \end{Bmatrix} = \sum_{k=1}^{\infty} \begin{Bmatrix} p_{mk}(x_3)\,\partial_2 B_k(x_1, x_2) \\ -p_{mk}(x_3)\,\partial_1 B_k(x_1, x_2) \\ 0 \end{Bmatrix} + \sum_{p=1}^{\infty} \begin{Bmatrix} n_{mp}(x_3)\,\partial_1 C_p(x_1, x_2) \\ n_{mp}(x_3)\,\partial_2 C_p(x_1, x_2) \\ q_{mp}(x_3)\,C_p(x_1, x_2) \end{Bmatrix},$$

где $B_k(x_1, x_2)$, $C_p(x_1, x_2)$ – метагармонические функции

$$D^2 B_k(x_1, x_2) = (\delta_k/\lambda)^2 B_k(x_1, x_2), \quad D^2 C_p(x_1, x_2) = (\gamma_p/\lambda)^2 C_p(x_1, x_2),$$

а собственные функции вихревого $p_{mk}(x_3)$ и потенциального $n_{mk}(x_3)$, $q_{mk}(x_3)$ состояний найдены в явном виде и приведены в монографии [1]. Для нахождения счетного множества собственных значений $\delta_k^{\pm}$ и $\gamma_p^{\pm}$ (при фиксированной частоте Ω) получены дисперсионные уравнения в форме, приспособленной для эффективного проведения численно-аналитических исследований

$$V^{\pm}(\delta, \Omega; G, \rho, \lambda_1, \lambda_2) = 0, \quad (1) \qquad P^{\pm}(\gamma, \Omega; G, \rho, \nu_1, \nu_2, \lambda_1, \lambda_2) = 0. \quad (2).$$

В отличие от идеального контакта, собственные значения δ_k в случае скользящего контакта найдены в явном виде.

Дисперсионные уравнения (1), (2) описывают частотные спектры соответственно SH и P-SV волн. Действительные и комплексные корни соответствуют нераспространяющимся модам, а мнимые – распространяющимся модам, переносящим энергию. Проведены численно-аналитические исследования дисперсионных уравнений и на их основе исследованы характеристики волнового процесса в зависимости от вида граничных условий на торцах, условий контакта слоев, изменения упругих и геометрических характеристик материалов слоев, частоты колебаний.

Предельным переходом, раскладывая дисперсионные функции, порождающие уравнения (1) и (2), в ряд Тейлора в окрестности точки $\Omega = 0$, получены трансцендентные уравнения, соответствующие задачам равновесия трехслойной пластины.

Получены трансцендентные уравнения для нахождения частот запирания (при $\gamma = 0$). Во всех задачах частоты запирания можно разделить на две группы: зависящие от коэффициентов С.Д. Пуассона, и которые не зависят от данных величин. На значение частот запирания оказывает влияние вид граничных условий на торцах пластины и условия контакта слоев. Установлено, что при различных граничных условиях существуют одинаковые подмножества частот запирания.

В коротковолновом высокочастотном и длинноволновом низкочастотном диапазонах получены предельные соотношения для фазовых скоростей бегущих волн.

Установлено, что для коротких волн вид граничных условий на торцах пластины не влияет на предельное значение фазовой скорости низшей распространяющейся моды, которое совпадает, в отличие от однородной пластины, со значением фазовой скорости волны Р. Стоунли. Уравнение Р. Стоунли для скользящего контакта слоев отличается от аналогичного в случае идеального контакта. В случае свободных от напряжений торцов асимптотой фазовой скорости первой распространяющейся моды является значение скорости волны Дж. Рэлея. Фазовые скорости высших мод в высокочастотной области имеют предельное значение, равное единице.

В низкочастотном длинноволновом диапазоне в явном виде получены выражения для определения фазовой скорости бегущей моды, выходящей из нуля, если она существует. Соответствующие дисперсные моды оказывается распространяющимися при любой частоте Ω. Установлено, что по сравнению с аналогичными задачами для трехслойной пластины с идеальным контактом слоев в случае скользящего контакта происходят количественные и качественные изменения характеристик волнового процесса. В частности, в случае жестко защемленных торцов для симметричных колебаний первая мнимая мода дисперсионного спектра оказывается распространяющейся при любой частоте и в низкочастотном пределе является бездисперсной. Характерной особенностью дисперсионных спектров в трехслойной пластине со свободными от напряжений торцами и скользящей заделкой торцов является существование двух мнимых ветвей, выходящих из нуля.

Выявлено, что вид граничных условий следует учитывать для малых и средних частот. Для высоких частот граничные условия оказывают незначительное влияние на значение фазовой скорости.

Результаты численных решений дисперсионных уравнений вида (1), (2) представлены в виде спектральных кривых, графиков изменения безразмерных фазовых и групповых скоростей, таблиц значений частот запирания.

1. Алтухов Е.В., Фоменко М.В. Равновесие и установившиеся колебания изотропных пластин. – Донецк: Изд-во ДонНУ, 2014. – 436 с.
2. Лурье А.И. К теории толстых плит // Прикладная математика и механика. – 1942. – Т. 6, № 2-3. – С. 151–168.
3. Устинов Ю.А. Математическая теория поперечно-неоднородных плит. – Ростов н/Д.: ООО ЦВВР, 2006. – 257 с.

УДК 539.3:534.1

ТРАНСФОРМАЦИЯ ПОПЕРЕЧНЫХ ВОЛН В ЗОНЕ ПРЯМОУГОЛЬНОГО ИЗЛОМА ВОЛНОВОДНОГО СЛОЯ С СЕЧЕНИЕМ МЕАНДРОВОЙ СТРУКТУРЫ

Болнокин В.Е.[1], Пачева М.Н.[2], Сторожев В.И.[2]
[1]ФГУП «Научно-исследовательский и экспериментальный институт автомобильной электроники и электрооборудования», г. Москва, Российская Федерация;
[2] ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк
stvi@i.ua

Представлена методика теоретического анализа процесса распространения гармонических упругих волн сдвигового типа по волноводу в виде состыкованных под прямым углом ортотропных полуслоев $V^{(I)} = V_1$ и $V^{(II)} = V_2 \cup V_3$, со свободными внешними гранями, базирующаяся на концепции частичных областей. Для занимающего в прямоугольных координатах $Ox_1x_2x_3$ область

$$V = V_1 \cup V_2 \cup V_3, \quad V_1 = \{x_1 \le -h_2,\, x_2 \in (-\infty,\infty),\, -h_1 \le x_3 \le h_1\},$$
$$V_2 = \{-h_2 \le x_1 \le h_2,\, x_2 \in (-\infty,\infty),\, -h_1 \le x_3 \le h_1\},$$
$$V_3 = \{-h_2 \le x_1 \le h_2,\, x_2 \in (-\infty,\infty),\, x_3 \le -h_1\}$$

составного упругого волновода вводятся в рассмотрение подобласти поперечного сечения $G_j = (V_j)_{x_2=0}$. Полагается, что из глубины $x_1 \to -\infty$ составляющей V_1 вдоль положительного направления оси Ox_1 к зоне излома волновода распространяется нормальная гармоническая волна антиплоской деформации с комплексной функцией колебательных перемещений $u_2^{(1,s)}(x_1,x_3,t) = \varphi_s^{(1)}(x_3)\cdot\exp(-i(\omega t - k_s^{(1)}x_1))$ из моды с номером s объединенного спектра симметричных и антисимметричных нормальных волн антиплоской деформации в свободном ортотропном слое. Поле волновых упругих перемещений, генерируемое в рассматриваемом теле, представляется следующими разложениями по базисным множествам бегущих и стоячих волн в выделенных частичных подобластях сечения с неопределенными постоянными коэффициентами:

$$u_2^{(1)}(x_1,x_3,t) = \varphi_s^{(1)}(x_3)\cdot\exp(-i(\omega t - k_s^{(1)}x_1)) +$$
$$+\sum_{p=1}^{\infty} A_p^{(1)}\varphi_p(x_3)\cdot\exp(-i(\omega t + k_p^{(1)}x_1)) \quad (x_1,x_3)\in G_1;$$

$$u_2^{(2)}(x_1,x_3,t)=(\sum_{q=-\infty}^{\infty}[A_{1q}^{(2)}\varphi_q^{(2)}(x_3)\psi_{1q}^{(2)}(x_1)+A_{2q}^{(2)}\varphi_q^{(2)}(x_3)\psi_{2q}^{(2)}(x_1)]+$$

$$+\sum_{m=-\infty}^{\infty}[A_{3m}^{(2)}\varphi_{1m}^{(2)}(x_3)\psi_m^{(2)}(x_1)+A_{4m}^{(2)}\varphi_{2m}^{(2)}(x_3)\psi_m^{(2)}(x_1)])\exp(-i\omega t)\quad (x_1,x_3)\in G_{21};$$

$$u_2^{(3)}(x_1,x_3,t)=\sum_{n=1}^{\infty}A_n^{(3)}\psi_n^{(3)}(x_1)\cdot\exp(-i(\omega t-k_n^{(3)}x_3))\quad (x_1,x_3)\in G_3;$$

где

$$\varphi_s^{(1)}(x_3)=u_0(\exp(-i\nu_{1s}h_3)\cdot\exp(i\nu_{1s}x_3)+\exp(i\nu_{1s}h_3)\cdot\exp(-i\nu_{1s}x_3)),$$

$$\varphi_p(x_3)=\exp(-i\nu_{1p}h_3)\cdot\exp(i\nu_{1p}x_3)+\exp(i\nu_{1p}h_3)\cdot\exp(-i\nu_{1p}x_3)$$

$$\varphi_q^{(2)}(x_3)=\exp(iq\pi x_3/h_3),\ \ \psi_{1q}^{(2)}(x_1)=\exp(\lambda_q x_1),\ \ \psi_{2q}^{(2)}(x_1)=\exp(-\lambda_q x_1),$$

$$\psi_m^{(2)}(x_1)=\exp(im\pi x_1/h_1),\ \ \varphi_{1m}^{(2)}(x_3)=\exp(\mu_m x_3),\ \ \varphi_{2m}^{(2)}(x_3)=\exp(-\mu_m x_3),$$

$$\psi_n^{(3)}(x_1)=\exp(-i\nu_{3n}h_1)\cdot\exp(i\nu_{3n}x_1)+\exp(i\nu_{3n}h_1)\cdot\exp(-i\nu_{3n}x_1)$$

$$\nu_{1p}=(p-1)\pi/(2h_3),\ \ \lambda_q=i((\Omega_2^2+(q\pi/h_3)c_{44}^{(2)})/c_{66}^{(2)})^{1/2},$$

$$\mu_m=i((\Omega_2^2+(m\pi/h_1)c_{66}^{(2)})/c_{44}^{(2)})^{1/2},\quad \nu_{3n}=(n-1)\pi/(2h_1),$$

$$k_p^{(1)}=((\Omega_1^2-c_{44}^{(1)}\nu_{1p}^2)/c_{66}^{(1)})^{1/2},\ k_n^{(3)}=((\Omega_2^2-c_{44}^{(2)}\nu_{3p}^2)/c_{66}^{(2)})^{1/2},\ \Omega_q^2=\rho_q\omega^2h_*^2/c_*,$$

ρ_q и $c_{ij}^{(q)}$ – плотности и упругие постоянные анизотропного материала для составляющих $V^{(q)}$ волновода; h_* и c_* – нормирующие параметры.

Введенные таким образом представления априори удовлетворяют уравнениям волнового деформирования для составляющих рассматриваемого тела и должны быть подчинены функциональным граничным условиям вида:

$$u_2^{(1)}(-h_1,x_3,t)=u_2^{(2)}(-h_1,x_3,t)\qquad x_3\in[-h_3,h_3];$$

$$(c_{66}^{(1)}\partial_1u_2^{(1)}(x_1,x_3,t))_{x_1=-h_1}=(c_{66}^{(2)}\partial_1u_2^{(2)}(x_1,x_3,t))_{x_1=-h_1}\quad x_3\in[-h_3,h_3];$$

$$(\partial_1u_2^{(2)}(x_1,x_3,t))_{x_1=h_1}=0\quad x_3\in[-h_3,h_3];$$

$$(\partial_3u_2^{(2)}(x_1,x_3,t))_{x_3=h_3}=0\quad x_1\in[-h_1,h_1];$$

$$u_2^{(2)}(x_1,-h_3,t)=u_2^{(3)}(x_1,-h_3,t)\qquad x_1\in[-h_1,h_1];$$

$$(\partial_3u_2^{(2)}(x_1,x_3,t))_{x_3=-h_3}=(\partial_3u_2^{(3)}(x_1,x_3,t))_{x_3=-h_3}\quad x_1\in[-h_1,h_1].$$

При использовании приема алгебраизации данных граничных условий на базе метода ортогональных рядов с основным применяемым соотношением

$$\exp(\alpha z)=\sum_{n=-\infty}^{\infty}\varsigma_n(\alpha,L)\cdot\exp(in\pi z/L)\quad z\in[-L,L],$$

$$\varsigma_n(\alpha,L)=[2L\cdot\sinh(\alpha-in\pi/L)]/[\alpha L-in\pi],$$

рассматриваемая задача сводится к решению бесконечной системы линейных алгебраических уравнений, имеющей следующую структуру:

$$\sum_{p=1}^{\infty} A_p^{(1)}(\exp(-i\nu_{1p}h_3)\cdot\varsigma_n(i\nu_{1p},h_3)+\exp(i\nu_{1p}h_3)\cdot\varsigma_n(-i\nu_{1p},h_3))\cdot\exp(-ik_p^{(1)}h_1))-$$

$$-[A_{1n}^{(2)}\exp(-\lambda_n h_1)+A_{2n}^{(2)}\exp(\lambda_n h_1)]-$$

$$-\sum_{m=-\infty}^{\infty}[A_{3m}^{(2)}\varsigma_n(\mu_m,h_3)\cdot\exp(-im\pi)+A_{4m}^{(2)}\varsigma_n(-\mu_m,h_3)\cdot\exp(-im\pi)]=$$

$$=u_0(\exp(-i\nu_{1s}h_3)\cdot\varsigma_n(i\nu_{1s},h_3)+\exp(i\nu_{1s}h_3)\cdot\varsigma_n(-i\nu_{1s},h_3))\cdot\exp(-ik_s^{(1)}h_1)),$$

$$\sum_{p=1}^{\infty} A_p^{(1)}c_{66}^{(1)}(-ik_p^{(1)})(\exp(-i\nu_{1p}h_3)\cdot\varsigma_n(i\nu_{1p},h_3)+$$

$$+\exp(i\nu_{1p}h_3)\cdot\varsigma_n(-i\nu_{1p},h_3))\cdot\exp(-ik_p^{(1)}h_1))-$$

$$-[A_{1n}^{(2)}c_{66}^{(2)}\lambda_n\exp(-\lambda_n h_1)-A_{2n}^{(2)}c_{66}^{(2)}\lambda_n\exp(\lambda_n h_1)]-$$

$$-\sum_{m=-\infty}^{\infty}[A_{3m}^{(2)}\varsigma_n(\mu_m,h_3)\cdot c_{66}^{(2)}(im\pi/h_1)\exp(-im\pi)+$$

$$+A_{4m}^{(2)}\varsigma_n(-\mu_m,h_3)\cdot c_{66}^{(2)}(im\pi/h_1)\exp(-im\pi)]=$$

$$=u_0c_{66}^{(1)}(ik_s^{(1)})(\exp(-i\nu_{1s}h_3)\varsigma_n(i\nu_{1s},h_3)+\exp(i\nu_{1s}h_3)\varsigma_n(-i\nu_{1s},h_3))\exp(-ik_s^{(1)}h_1)),$$

$$[A_{1n}^{(2)}\lambda_n\exp(\lambda_n h_1)-A_{2n}^{(2)}\lambda_n\exp(-\lambda_n h_1)]+$$

$$+\sum_{m=-\infty}^{\infty}[A_{3m}^{(2)}\varsigma_n(\mu_m,h_3)\cdot(im\pi/h_1)\exp(im\pi)+$$

$$+A_{4m}^{(2)}\varsigma_n(-\mu_m,h_3)\cdot(im\pi/h_1)\exp(im\pi)]=0,$$

$$\sum_{q=-\infty}^{\infty}[A_{1q}^{(2)}(iq\pi/h_3)\cdot\varsigma_n(\lambda_q,h_1)\exp(iq\pi)-A_{2q}^{(2)}(iq\pi/h_3)\cdot\varsigma_n(\lambda_q,h_1)\exp(iq\pi)]+$$

$$+[A_{3n}^{(2)}\mu_n\exp(\mu_n h_3)-A_{4m}^{(2)}\mu_n\exp(-\mu_n h_3)]=0,$$

$$\sum_{p=1}^{\infty} A_p^{(3)}(\exp(-i\nu_{3p}h_1)\cdot\varsigma_n(i\nu_{3p},h_1)+\exp(i\nu_{3p}h_1)\cdot\varsigma_n(-i\nu_{3p},h_1))\cdot\exp(-ik_p^{(3)}h_3))-$$

$$-\sum_{q=-\infty}^{\infty}[A_{1q}^{(2)}\varsigma_n(-\lambda_q,h_1)\exp(-iq\pi)+A_{2q}^{(2)}\varsigma_n(\lambda_q,h_1)\exp(-iq\pi)]-$$

$$-[A_{3n}^{(2)}\exp(\mu_n h_3)+A_{4n}^{(2)}\exp(-\mu_n h_3)]=0,$$

$$\sum_{p=1}^{\infty} A_p^{(3)}(-ik_p^{(3)})(\exp(-i\nu_{3p}h_1)\cdot\varsigma_n(i\nu_{3p},h_1)+$$

$$+\exp(i\nu_{3p}h_1)\cdot\varsigma_n(-i\nu_{3p},h_1))\cdot\exp(-ik_p^{(3)}h_3))-$$

$$-\sum_{q=-\infty}^{\infty}[A_{1q}^{(2)}\varsigma_n(-\lambda_q,h_1)\cdot(iq\pi/h_3)\exp(-iq\pi)+$$

$$+A_{2q}^{(2)}\varsigma_n(\lambda_q,h_1)\cdot(iq\pi/h_3)\exp(-iq\pi)]-$$

$$-[A_{3n}^{(2)}\mu_n\exp(\mu_n h_3)-A_{4n}^{(2)}\mu_n\exp(-\mu_n h_3)]=0\quad(n=-\infty,\infty).$$

После решения редуцированной системы представленного вида реализуется анализ кинематических и энергетических характеристик процесса прохождения волной единичного участка излома в меандровой структуре.

УДК 539.3:534.1

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ЗАДАЧЕ О КОЛЕБАНЯХ СПЛОШНОГО ПРЯМОЛИНЕЙНО-ОРТОТРОПНОГО ЦИЛИНДРА

Житняя В.Г.
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк
kotova.lyudmila.alekseevna@gmail.com

Рассматривается задача о колебаниях сплошного цилиндрического тела из прямолинейно-ортотропного материала длины h. Поперечное сечение данного тела совпадает с конечной областью D_0 в плоскости Ox_1x_2. Границей области D_0 является гладкая кривая Γ_0. Одна из плоскостей симметрии упругих свойств ортогональна цилиндрической поверхности тела. Его длина h значительно больше диаметра области D_0.

Данное тело находится под воздействием динамических поверхностных и объемных усилий, которые приложены перпендикулярно его геометрической оси и не меняются вдоль нее. Тело находится в состоянии плоской деформации в плоскости, параллельной плоскости Ox_1x_2.

Определение указанного состояния приводится к исследованию математической модели (ММ). Последняя содержит уравнения движения, закона Гука, малых деформаций, а также граничные и начальные условия.

Уравнения движения с учетом закона Гука и формул для малых деформаций преобразованы в систему дифференциальных уравнений в перемещениях.

Вектор перемещения представлен формой Ламе [1]. Эта форма включает в себя динамические волновые потенциалы $\Phi = \Phi(x_1, x_2, t)$, $\bar{\Psi} = \Psi(x_1, x_2, t)\bar{e}_3$, где $\bar{e}_3$ - орт оси Ox_3. Аналогичным образом представлено и векторное поле объемных сил.

Введенные в рассмотрение волновые потенциалы принадлежат классам достаточно гладких функций. Как и в статье [2] ММ рассматриваемой задачи преобразована в обобщенные волновые уравнения для волновых потенциалов Φ и $\bar{\Psi}$. Эти уравнения упрощаются, если объемные силы не учитываются.

В случае учета только поверхностных пульсирующих усилий получены обобщенные уравнения для амплитуд $\Phi(x_1, x_2)$, $\bar{\Psi}(x_1, x_2)$ волновых потенциалов $\Phi(x_1, x_2, t)$, $\bar{\Psi}(x_1, x_2, t)$.

Для решения этих уравнений использована теория функций комплексных переменных. Вместо вещественных переменных x_1, x_2 и амплитуд волновых потенциалов в рассмотрении введены комплексные переменные $z = x_1 + ix_2$, $\bar{z} = x_1 - ix_2$ (i – мнимая единица) и комплекснозначные функции. Эти функции представлены рядами, которые содержат голоморфные в описанной вокруг D_0 круговой области функции.

Построен алгоритм определения комплекснозначных функций, таким образом, как и в статье [3]. Указанный алгоритм можно использовать и для проведения численных исследований.

В частном случае, когда рассматриваемое цилиндрическое тело является изотропным, аналитическое представление амплитуд волновых потенциалов совпадает с известными [4] представлениями.

1. Новацкий В. Теория упругости. – М.: Мир, 1975. – 872 с.
2. Житняя В.Г. Построение обобщенных волновых уравнений для ортотропного тела // Труды VII Международной научной конференции «Актуальные проблемы механики деформируемого твердого тела» (Мелекино, 11-14 июня 2013 г.). – Т. 2. – С. 140-143.
3. Житняя В.Г., Космодамианский А.С. Свободные изгибные колебания конечной пластинки с жестко защемленным краем // Теоретическая и прикладная механика. – Киев-Донецк, Головное изд-во: Вища школа. 1984. – Вып. 15. – С. 80-87.
4. Гузь А.Н., Кубенко В.Д., Черевко М.А. Дифракция упругих волн. – К.: Наукова думка, 1978. – 307 с.

УДК 539.3

ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПОЛЯ В ПЬЕЗОПЛАСТИНАХ ПРИ МЕХАНИЧЕСКИХ, ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ И ТЕПЛОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Калоеров С.А.

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк

kaloerov@mail.ru

С использованием уравнения теплопроводности [3, 4] и системы дифференциальных уравнений электромагнитотермоупругости [1, 2, 5] для функций напряжений Эри и функций индукций электрического и магнитного полей даны решения задач для пьезопластинки под действием различных механических, электромагнитных и тепловых полей. Для прямоугольной и бесконечной сплошной пластинок даны точные аналитические решения задач. Во всех задачах получены выражения для основных характеристик (температуры, напряжений, векторов индукций и напряженностей электромагнитного поля). Показано, что в случае действия однородных механического, теплового и электромагнитного полей основные характеристики постоянны во всех точках, потенциалы электрического и магнитного полей являются линейными функциями координат и удовлетворяют условиям потенциальности поля. В случае действия линейного потока тепла потенциалы электрического и магнитного полей становятся квадратичными функциями координат и удовлетворяют условиям потенциальности поля только при соблюдении связей таких связей

$$\frac{t_2^\sigma}{t_1^\sigma}=\frac{m_2^\sigma}{m_1^\sigma}=\frac{k_{11}\sin\alpha-k_{12}\cos\alpha}{k_{22}\cos\alpha-k_{12}\sin\alpha}=\frac{k_{11}tg\alpha-k_{12}}{k_{22}-k_{12}tg\alpha}$$

между тепловыми электрическими пиромодулями t_1^σ, t_2^σ, магнитными пиромодулями m_1^σ, m_2^σ и коэффициентами теплопроводности k_{ij} материала пьезопластинки. Для материала с тепловой ортотропией ($k_{12}=0$) эти соотношения принимают вид

$$\frac{t_2^\sigma}{t_1^\sigma}=\frac{m_2^\sigma}{m_1^\sigma}=\frac{k_{11}}{k_{22}}tg\alpha \text{ или } \frac{t_1^\sigma}{t_2^\sigma}=\frac{m_1^\sigma}{m_2^\sigma}=\frac{k_{22}}{k_{11}}ctg\alpha .$$

Для всех рассмотренных случаев осуществлен переход к потенциалам обобщенных комплексных переменных.

1. Берлинкур Д., Керран Д., Жаффе Г. Пьезоэлектрические и пьезомагнитные материалы и их применение в преобразователях // Физическая акустика. – М.: Мир, 1966.– Т. 1, ч. А.– С. 204–326.
2. Желудев И. С. Физика кристаллических диэлектриков. – М.: Наука, 1968.– 463 с.
3. Карслоу Г., Егер Д. Теплопроводность твердых тел.– М.: Наука, 1964.– 487 с.
4. Космодамианский А. С., Калоеров С. А. Температурные напряжения в многосвязных пластинках. – К., Донецк: Вища шк., 1983.– 160 с.
5. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред. – М.: Наука, 1982.– 621 с.

УДК 539.3

ПРИБЛИЖЕННЫЙ МЕТОД РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ОБ ИЗГИБЕ АНИЗОТРОПНЫХ ПЛИТ С КРИВОЛИНЕЙНЫМИ ОТВЕРСТИЯМИ

Калоеров С.А., Занько А.И.

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк

kaloerov@mail.ru, all53700@mail.ru

Предложен новый приближенный метод определения напряженного состояния тонких плит с криволинейными отверстиями, заключающийся в использовании комплексных потенциалов, аппроксимации контуров отверстий дугами эллипсов и берегами прямолинейных разрезов, в использовании конформных отображений, представлении комплексных потенциалов рядами Лорана и по полиномам Фабера, определении неизвестных коэффициентов рядов обобщенным методом наименьших квадратов.

Для случая, когда основания плиты свободны от внешних усилий, ее внешний контур L_0 и контуры отверстий L_l $\left(l=\overline{1,\mathcal{L}}\right)$ загружены распределенными внешними усилиями и моментами, комплексные потенциалы представлены в виде [1, 2]

$$W_k'(z_k)=\Gamma_k z_k+\sum_{l=1}^{\mathcal{L}}\left(A_{kl}z_k+B_{kl}\right)\ln\left(z_k-z_{kl}\right)+\sum_{l=0}^{\mathcal{L}}\sum_{n=1}^{\infty}\varphi_{kln}a_{kln}\,, \qquad (1)$$

в котором Γ_k – постоянные, равные нулю в случае конечной плиты и определяемые через моменты на бесконечности в случае бесконечной плиты;

A_{kl}, B_{kl} – постоянные, определяемые через главный вектор и главный момент внешних воздействий на каждом из контуров L_l; φ_{k1n} – функции, определяемые из соответствующих конформных отображений; a_{kln} – неизвестные постоянные.

Постоянные a_{kln} определим из граничных условий на контурах плиты обобщенным методом наименьших квадратов. В этом случае граничным условиям удобнее удовлетворять в дифференциальной форме. Выбирая на контурах плиты набор точек $M_{lm}(x_{lm}, y_{lm})$ $\left(m=\overline{1, M_l}\right)$ и удовлетворяя граничным условиям в дифференциальной форме для каждой из этих точек, получаем систему уравнений [1, 2]

$$2\operatorname{Re}\sum_{k=1}^{2}\sum_{l=g}^{\mathcal{L}}\sum_{n=1}^{\infty} g_{kli}\delta_k\varphi'_{kln}(t_{klm})a_{kln}=\frac{df_{li}(t_{lm})}{ds}-2\operatorname{Re}\sum_{k=1}^{2} g_{kli}\delta_k g\Gamma_k \quad \left(i=\overline{1, 2}\right), \tag{2}$$

g_{kli} и δ_k, $f_{li}(t_{lm})$ – известные постоянные и функции, s – дуга контура. После нахождения псевдорешений системы уравнений (2) с использованием сингулярных разложений постоянные a_{kln}, а, следовательно, и функции $W'_k(z_k)$, будут известными и по ним можно вычислять изгибающие моменты в любой точке плиты [3].

Численные исследования были проведены для плиты с треугольным отверстием. Рассматривались плиты из различных материалов со свободным и жестко подкрепленным контуром отверстия. Полученные результаты сравнивались с известными из литературы, которые значительно отличаются от истинных, найденных авторами.

1. Калоеров С.А. Комплексные потенциалы теории изгиба многосвязных анизотропных плит // Теорет. и прикладная механика. – 2012. – № 4 (50). – С. 115–136.
2. Калоеров С. А., Занько А. И., Кошкин А. А. Результаты новых исследований по изгибу многосвязной анизотропной плиты // Теорет. и прикладная механика. – 2014. – № 9 (55). – С. 99–138.
3. Форсайт Дж., Малькольм М., Моулер К. Машинные методы математических вычислений. – М.: Мир, 1980.– 280 с.

УДК 539.3

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ОБ ИЗГИБЕ ПЛИТЫ С ЭЛЛИПТИЧЕСКИМ ИЛИ ЛИНЕЙНЫМ ВКЛЮЧЕНИЕМ

Калоеров С.А., Кошкин А.А.

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк

kaloerov@mail.ru, koshafandk@gmail.com

С использованием обобщенных комплексных потенциалов, разложений функций в ряды Лорана и по полиномам Фабера получено точное аналитическое решение задачи теории изгиба тонких плит для плиты с

эллиптическим или линейным упругим включением. Изотропная плита рассматривается как частный случай анизотропной, линейное включение – как предельный случай эллиптического, когда одна из полуосей равна нулю.

Комплексные потенциалы для плиты-матрицы и включения представлены в виде [1, 3]

$$W_k'(z_k) = \Gamma_k z_k + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{a_{k1n}}{\zeta_{k1}^n}, \quad W_k'^1(z_k^1) = \sum_{n=0}^{\infty} a_{kn}^1 \left(\frac{z_k^1}{R_k^1} \right)^n \tag{3}$$

в котором Γ_k – постоянные, определяемые через моменты на бесконечности; R_k^1 и ζ_{k1} – соответственно постоянные и переменные, определяемые из соответствующих конформных отображений; a_{k1n}, a_{kn}^1 – неизвестные постоянные, для которых из граничных условий на контуре контакта пластинки и включения получаем, что $a_{k1n} = a_{kn}^1 = 0$ при $n \geq 2$, а для определения a_{k11} и a_{k1}^1 имеет место система алгебраических уравнений

$$\begin{gathered}
\sum_{k=1}^{2} \left(a_{k11} - m_k^1 a_{k1}^1 - \bar{a}_{k1}^1 \right) = -\sum_{k=1}^{2} \left[\Gamma_k R_{k1} m_{k1} + \bar{\Gamma}_k \bar{R}_{k1} \right], \\
\sum_{k=1}^{2} \left(\mu_k a_{k11} - \mu_k^1 m_k^1 a_{k1}^1 - \bar{\mu}_k^1 \bar{a}_{k1}^1 \right) = -\sum_{k=1}^{2} \left[\mu_k \Gamma_k R_{k1} m_{k1} + \bar{\mu}_k \bar{\Gamma}_k \bar{R}_{k1} \right], \\
\sum_{k=1}^{2} \left(\frac{p_k}{\mu_k} a_{k11} - \frac{p_k^1}{\mu_k^1} m_k^1 a_{k1}^1 - \frac{\bar{p}_k^1}{\bar{\mu}_k^1} \bar{a}_{k1}^1 \right) = -\sum_{k=1}^{2} \left[\frac{p_k}{\mu_k} \Gamma_k R_{k1} m_{k1} + \frac{\bar{p}_k}{\bar{\mu}_k} \bar{\Gamma}_k \bar{R}_{k1} \right], \\
\sum_{k=1}^{2} \left(q_k a_{k11} - q_k^1 m_k^1 a_{k1}^1 - \bar{q}_k^1 \bar{a}_{k1}^1 \right) = -\sum_{k=1}^{2} \left[q_k \Gamma_k R_{k1} m_{k1} + \bar{q}_k \bar{\Gamma}_k \bar{R}_{k1} \right].
\end{gathered} \tag{4}$$

Следовательно, для комплексных потенциалов получаются выражения

$$W_k'(z_k) = \Gamma_k z_k + \frac{a_{k11}}{\zeta_{k1}}, \quad W_k'(z_k) = a_{k1}^1 \frac{z_k^1}{R_k^1}, \tag{5}$$

а для моментов в плите-матрице и во включении найдем выражения

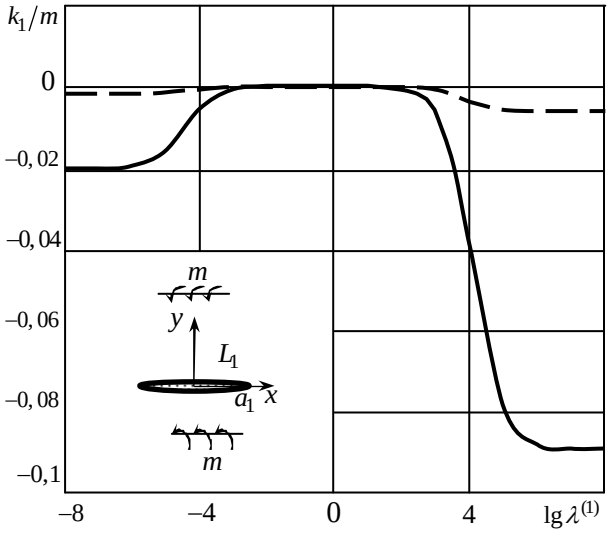
$$\begin{gathered}
\left(M_x, M_y, H_{xy} \right) = -2\,\mathrm{Re} \sum_{k=1}^{2} \left(p_k, q_k, r_k \right) \left(\Gamma_k - \frac{a_{k11}}{R_{k1}\left(\zeta_{k1}^2 - m_{k1} \right)} \right), \\
\left(M_x^1, M_y^1, H_{xy}^1 \right) = -2\,\mathrm{Re} \sum_{k=1}^{2} \left(p_k^1, q_k^1, r_k^1 \right) \frac{a_{k1}^1}{R_k^1}.
\end{gathered} \tag{6}$$

Если отверстие переходит в прямолинейный разрез, (а включение в упругую линию), то значения моментов M_s вблизи его концов резко растут по модулю. В таком случае целесообразнее вычислять коэффициенты интенсивности моментов (КИМ) [2]:

$$\left(k_1, k_2 \right) = \frac{1}{\sqrt{a_1}} 2\,\mathrm{Re} \sum_{k=1}^{2} \left(q_k, r_k \right) a_{k11}. \tag{7}$$

Проведены численные исследования по выявлению влияния характеристик плиты и включения на значения моментов и коэффициентов интенсивности моментов (КИМ) для различных значений параметра

относительной жесткости включения $\lambda^1 = a_{ij} / a_{ij}^1$, где a_{ij} и a_{ij}^1 – коэффициенты деформаций для материалов плиты и включения. Установлено, что концентрация изгибающих моментов в плите около включения растет с уменьшением относительной жесткости включения (с увеличением параметра λ^1). При $\lambda^1 < 10^{-2}$ включение можно считать абсолютно жестким, при $\lambda^1 > 10^2$ – абсолютно гибким (отверстием).



Концентрация моментов в анизотропной плите выше, чем в изотропной. С уменьшением отношения полуосей включения b_1/a_1 значения моментов вблизи концов большой полуоси по модулю резко растут и при $b_1/a_1 < 10^{-3}$ включение можно считать линейным и вычислять для него КИМ. При этом КИМ возникает, если относительная жесткость включения велика или мала. На рисунке изображены графики изменения КИМ $k_1^{\pm}$ в зависимости от жесткости материала включения (параметра λ^1). Видно, что, как и в плоской задаче [4], для линейного упругого включения влияние параметра λ^1 такое же, как и для упругого кругового ядра: $\lambda^1 < 10^{-3}$ включение можно считать абсолютно жестким, при $\lambda^1 > 10^3$ – абсолютно мягким (трещиной). При $10^{-4} < \lambda^1 < 10^4$ значения КИМ весьма малы и ими можно пренебречь. Поэтому говорить о КИМ для линейных упругих включений, когда жесткость материала включения отличается от жесткости материала плиты менее чем 10^3 раз, нет смысла. Естественно, нужно иметь в виду, что для неподкрепленного разреза берега при изгибе контактируют и для корректности задачи нужно прикладывать и растягивающие усилия, как это делают многие авторы.

1. Калоеров С.А. Комплексные потенциалы теории изгиба многосвязных анизотропных плит // Теорет. и прикладная механика. – 2012. – № 4 (50). – С. 115–136.
2. Калоеров С. А. Определение коэффициентов интенсивности напряжений, индукции и напряженности для многосвязных электроупругих многосвязных сред / С.А. Калоеров // Прикладная механика. – 2007. – Т. 43, № 6. – С. 56–62.
3. Калоеров С.А., Занько А.И., Кошкин А. А. Результаты новых исследований по изгибу многосвязной анизотропной плиты // Теорет. и прикладная механика. – 2012. – № 4 (50). – С. 115–136.
4. Калоеров С. А., Авдюшина Е. В., Мироненко А. Б. Концентрация напряжений в многосвязных изотропных пластинках. – Донецк: Изд-во ДонНУ, 2013.– 440 с.

УДК 539.3

УПРУГОПЛАСТИЧЕСКОЕ РАВНОВЕСИЕ ИЗОТРОПНОЙ ПЛОСКОСТИ С ДВУМЯ ОДИНАКОВЫМИ КРУГОВЫМИ ОТВЕРСТИЯМИ

Кодак Н.И., Ложкин В.Н.
ГУ «Институт прикладной математики и механики», г. Донецк
iamm.donetsk@gmail.com

Неограниченная изотропная плоскость с двумя одинаковыми круговыми отверстиями сжимается постоянными усилиями вдоль и поперек линии их центров. Контуры отверстий свободны от внешних воздействий. Интенсивность усилий и расположение отверстий приводят к появлению в плоскости неупругих напряжений. Их области охватывают контуры отверстий и не касаются друг друга. На подлежащей определению границе раздела упругой и неупругих областей напряжения являются непрерывными.

Существующий метод малого параметра, использующий конформное отображение внешности единичной окружности на внешность одной из неупругих областей, дает удовлетворительные результаты в случае, когда отверстия и неупругие области достаточно удалены друг от друга.

Для решения поставленной проблемы предлагается метод последовательных конформных отображений. Исходным приближением берется отображение, построенное методом малого параметра [1–3].

Этот метод в сочетании с методом коллокации позволил определить диапазон сжимающих усилий и наименьшие расстояния между отверстиями, при которых возможен раздельный неупругий охват их контуров, с достаточной точностью удовлетворить условия непрерывности напряжений на границе раздела упругой и неупругих областей, а также, сохраняя приемлемую точность решения, сблизить внешние границы последних до одной десятой радиуса отверстий [1–3].

Возникновение неупругих напряжений в металлах и некоторых пластмассах определяется только сопутствующими сдвиговыми деформациями [1]. Для этого случая определен наилучший выбор точек коллокации. С одной стороны, с расширением неупругих областей необходимо было увеличивать их количество. С другой стороны, такое увеличение не всегда приводило к улучшению результатов. Поэтому при сближении неупругих областей приходилось снижать точность удовлетворения условий непрерывности напряжений на их внешних границах.

Выявлены особенности касания внешних границ неупругих областей. Если сжатие плоскости поперек линий центров является наибольшим, внешние границы неупругих областей сохраняют гладкость вплоть до касания. Численно их можно сблизить до одной сотой радиуса отверстий. В противоположном случае границы неупругих областей при касании имеют

точку возврата, в которой теряется конформность отображений. Численно их сблизить меньше десятой радиуса не удается.

Найдены возможности улучшения сходимости приближений.

В некоторых горных породах возникновение неупругих напряжений обуславливается сдвиговыми и объемными деформациями. Установлено, что влияние последних проявляется при небольших расстояниях между отверстиями. По сравнению с предыдущим вариантом их учет позволил расширить диапазон сжимающих усилий, при которых поставленная задача имеет решение [2].

В отдельных горных породах и особенно грунтах появление неупругих напряжений определяется не только выше названными деформациями, но и внутренним трением сред. Его учет позволил рассмотреть сжимаемые усилия и расстояния между отверстиями, при которых предыдущие варианты не имеют решения, так как в последнем варианте неупругие области имеют более компактную конфигурацию.

Для различных расстояний между отверстиями и значений параметра внутреннего трения численно установлены области, в которых изменяются сжимающие усилия от начального возникновения неупругих областей до касания их внешних границ [3].

Предложенным методом изучено упругопластическое равновесие изотропной плоскости с двумя одинаковыми эллиптическими отверстиями, когда возникновение неупругих напряжений обуславливается сдвиговыми деформациями [4]. Для этого методом малого параметра было построено неупругое решение для плоскости со свободным эллиптическим отверстием, точно удовлетворяющее граничным условиям на его контуре [5].

1. Кодак Н.И, Ложкин В.Н. Упругопластическое состояние изотропной плоскости с двумя круговими вырезами при двустороннем внешнем сжатии // Вісник Донецького університету, серія А. Природничі науки. – 2012. – №1. – С. 73-78.
2. Кодак Н.И., Ложкин В.Н. Изотропная плоскость с двумя круговыми вырезами в случае экспоненциальной пластичности // Вісник Донецького університету, серія А. Природничі науки. – 2013. – № 1. – С. 49-54.
3. Кодак Н.И., Ложкин В.Н. Предельное равновесие изотропной плоскости с двумя круговыми вырезами. // Труды Института прикладной математики и механики НАН Украины. – 2014. – №28. – С. 102-110.
4. Кодак Н.И., Ложкин В.Н. Упругопластическое состояние изотропной плоскости с двумя эллиптическими вырезами // Труды Института прикладной математики и механики НАН Украины. – 2012. – № 24. – С. 147-156.
5. Кодак Н.И., Ложкин В.Н. Распределение пластических напряжений в изотропной плоскости с криволинейным вырезом // Труды VII Международной научной конференции “Актуальные проблемы механики деформируемого твердого тела”.- Донецк-Мелекино, 11-14 июня 2013. – Т. 1. – С. 201-204.

УДК 539.3:534.1

СПЕКТРЫ ПРОДОЛЬНО-СДВИГОВЫХ ВОЛН В ТРАНСВЕРСАЛЬНО ИЗОТРОПНЫХ ПОЛЫХ ЦИЛИНДРАХ С ФУНКЦИОНАЛЬНО-ГРАДИЕНТНОЙ РАДИАЛЬНОЙ НЕОДНОРОДНОСТЬЮ

Моисеенко И.А.
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк
mian@i.ua

Вопросы теоретического и численно-аналитического исследования эффектов влияния фактора радиальной функционально-градиентной неоднородности трансверсально-изотропных материалов цилиндрических волноводов на характеристики дисперсионных спектров нормальных упругих волн в цилиндрах кругового сечения применительно к осесимметричным волнам крутильного и продольно-сдвигового типов рассматривались в работах [1,2], в цилиндрах кольцевого сечения применительно к осесимметричным волнам крутильного типа рассматривались в работе [3]. В данной работе методика построения дисперсионных соотношений для цилиндрических волноводов из функционально-градиентных неоднородных трансверсально-изотропных материалов распространена на случай осесимметричных продольно-сдвиговых волн вдоль протяженных цилиндров кольцевого сечения,

Рассматривается протяженный трансверсально-изотропный полый цилиндр концентрического кольцевого сечения с внутренним радиусом R_1 и внешним радиусом R_2, занимающий в отнесенных к нормирующему параметру $R_* = \left(R_2 + R_1\right)/2$ безразмерных цилиндрических координатах область $V = \left\{r \in \left[1-h, 1+h\right]; 0 \le \theta \le 2\pi, z \in \left(-\infty, \infty\right)\right\}$, где $2h \equiv \left(R_2 - R_1\right)/R_*$ - нормированная толщина цилиндрической оболочки. Задача анализа спектров и свойств нормальных упругих волн вдоль рассматриваемого волновода формулируется с использованием соотношений пространственной линейной математической модели динамического напряженно-деформированного состояния упругих тел с усложненными физико-механическими свойствами в системе нормированных безразмерных цилиндрических координат. В случае осесимметричных продольно-сдвиговых волн данные соотношения формулируются для проекций безразмерного вектора динамических упругих волновых перемещений на оси координат $\left(u_r, u_\theta \equiv 0, u_z\right)$, отнесенных к нормирующему параметру R_*, компонент тензора малых деформаций $\left(\varepsilon_{rr}, \varepsilon_{\theta\theta}, \varepsilon_{zz}, \varepsilon_{\theta z} \equiv 0, \varepsilon_{rz}, \varepsilon_{r\theta} \equiv 0\right)$, а также для безразмерных характеристик напряженно-деформированного состояния рассматриваемого объекта на основных площадках $\left(\sigma_{rr}, \sigma_{\theta\theta}, \sigma_{zz}, \sigma_{\theta z} \equiv 0, \sigma_{rz}, \sigma_{r\theta} \equiv 0\right)$, отнесенных к

нормирующему параметру c_*. Указанные соотношения включаю также альтернативную форму граничных условий на боковых цилиндрических поверхностях волновода

$$u_r\big|_{r=1\pm h} = u_z\big|_{r=1\pm h} = 0,$$

либо

$$\sigma_{rr}\big|_{r=1\pm h} = \sigma_{rz}\big|_{r=1\pm h} = 0.$$

Полагается, что материал волновода является функционально-неоднородным в радиальных направлениях по всем своим физико-механическим свойствам, а его плотность и нормированные модули упругости соответственно описываются представлениями

$$\rho = \tilde{\rho}\exp\left(f_{\lambda,p}(r)\right), \quad c_q = \tilde{c}_q \exp\left(f_{\lambda,p}(r)\right) \quad \left(q \in \{11,12,13,33,44\}\right),$$

$$f_{\lambda,p}(r) = \lambda\left((r-1)/h\right)^p$$

в которых λ $\left(\lambda \in \mathbb{R}\right)$ и p $\left(p \in \{0\} \cup \mathbb{N}\right)$ – параметры функциональной неоднородности.

Для функций отличных от нуля нормированных компонент вектора перемещений и тензора напряжений в исследуемых волнах вдоль полого цилиндра с круговой частотой ω и нормированным параметром R_* продольным волновым числом k вводятся комплексные представления

$$u_r(r,z,t) = \tilde{u}_r(r)\exp\left(-f_{\lambda,p}(r)/2\right)\exp(-i\omega t + ikz),$$

$$u_z(r,z,t) = i\tilde{u}_z(r)\exp\left(-f_{\lambda,p}(r)/2\right)\exp(-i\omega t + ikz),$$

$$\sigma_q(r,z,t) = \tilde{\sigma}_q(r)\exp\left(f_{\lambda,p}(r)/2\right)\exp(-i\omega t + ikz) \quad (q = rr, \theta\theta, zz),$$

$$\sigma_{rz}(r,z,t) = i\tilde{\sigma}_{rz}(r)\exp\left(f_{\lambda,p}/2\right)\exp(-i\omega t + ikz),$$

подстановка которых в соотношения модели рассматриваемых волновых процессов приводит к системе обыкновенных дифференциальных уравнений с переменными коэффициентами относительно амплитудных составляющих функций смещений $(\tilde{u}_r, \tilde{u}_z)$. В качестве метода построения решений указанной системы в данной работе используется подход, основанный на представлениях искомых решений в виде рядов по обобщенной кольцевой координате. Вводится замена переменных $r = hx + 1$ $\left(x \in [-1,1]\right)$ и с учетом физической модели рассматриваемой задачи, а также структуры дифференциальных уравнений системы ее решения строятся в представлении

$$\tilde{u}_r(x) = \sum_{m=0}^{\infty} a_m x^{m+\delta}, \quad \tilde{u}_z(x) = \sum_{m=0}^{\infty} b_m x^{m+\delta} \quad \left(|a_0| + |b_0| \neq 0\right),$$

с допустимыми значениями параметра δ: $\delta \in \{0,1\}$, $\Re(\delta) > 1$. Показано, что условия разрешимости получающейся системы рекуррентных уравнений порождают четыре начальных условия для формирования четырех

независимых базисных решений рассматриваемой задачи, а искомые коэффициенты введенных разложений вычисляются на основе явных рекуррентных соотношений. Показано также, что ряды в представлении базисных решений являются абсолютно и равномерно сходящимися. Полученные базисные решения использованы для построения дисперсионных уравнений, определяющих спектры указанных волн для волноводов с жесткозакрепленными и свободными граничными цилиндрическими поверхностями в рассматриваемых диапазонах значений параметров радиальной неоднородности.

В работе исследованы и проиллюстрированы эффекты влияния параметров неоднородности и механической анизотропии на топологии дисперсионных спектров, распределение фазовых скоростей и кинематических характеристик нормальных бегущих волн различной длины. Областями использования результатов представленного исследования являются прочностные расчеты деталей машин, технологии ультраакустической диагностики, акустоэлектроника.

1. Моисеенко И.А. Спектры нормальных упругих волн кручения в экспоненциально-неоднородных трансверсально-изотропных цилиндрах: [Текст] / И.А. Моисеенко // Теоретическая и прикладная механика. – 2014. – №. 9 (55). – С. 139-145.
2. Моисеенко И.А. Продольные волны в экспоненциально-неоднородных трансверсально-изотропных цилиндрах: [Текст] / И.А. Моисеенко // Вісник Запорізького національного університету. Серія: Фізико-математичні науки. – 2015. – № 3. – С. 179-189.
3. Моисеенко И.А. Волны кручения вдоль полого экспоненциально-неоднородного трансверсально-изотропного цилиндра с закрепленными границами: [Текст] / И.А. Моисеенко // Механика твердого тела. – 2014. – Вып. 44. – С. 132-139.

УДК 539.376

ВЯЗКОУПРУГОЕ ПОВЕДЕНИЕ АНИЗОТРОПНОГО МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД ВБЛИЗИ ПРОТЯЖЕННОЙ ВЫРАБОТКИ

Нескородев Р.Н.
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк
nromn@i.ua

Введение. В работах [1–3] предложена методика решения задач обобщенного плоского напряженного состояния анизотропной пластины. Предложенный подход не требует построения аналитического представления ядер ползучести и релаксации в специальной форме. Метод основан на построении матриц уравнений закона Гука, исходя из интегральных уравнений состояния.

В данной работе предлагается метод решения вязкоупругих задач для случая деформации анизотропного массива горных пород с выработкой. Для определения напряжений и перемещений, возникающих в окрестности

выработки, подверженной ползучести, необходимо располагать замкнутой теорией механического состояния среды.

Основные уравнения вязкоупругости. Рассматриваемая теория включает в себя следующие группы уравнений:

- дифференциальные уравнения равновесия

$$\partial_1 s_1 + \partial_2 s_6 + \partial_3 s_5 + X = 0, \quad \partial_1 s_6 + \partial_2 s_2 + \partial_3 s_4 + Y = 0, \quad \partial_1 s_5 + \partial_2 s_4 + \partial_3 s_3 + Z = 0, \tag{1}$$

- уравнения связи между составляющими деформации и перемещений

$$e_1 = \partial_1 U_1,\ e_2 = \partial_2 U_2,\ e_3 = \partial_3 U_3,\ e_4 = \partial_2 U_3 + \partial_3 U_2,$$
$$e_5 = \partial_1 U_3 + \partial_3 U_1,\ \ e_6 = \partial_1 U_2 + \partial_2 U_1. \tag{2}$$

- уравнения состояния, выражающие связь между напряжениями и деформациями

$$e_m(t) = a_{mk} s_k(t) + \int_0^t \frac{dP_{mk}(t-\tau)}{d(t-\tau)} s_k(\tau)\, d\tau, \tag{3}$$

$$s_m(t) = A_{mk}\, e_k(t) + \int_0^t \frac{dR_{mk}(t-\tau)}{d(t-\tau)} e_k(\tau)\, d\tau \quad \left(m,\ k = \overline{1,6}\right), \tag{4}$$

где используется суммирование по повторяющимся индексам.

Граничные условия, заданные на части поверхности тела Σ_P

$$s_1 n_1 + s_6 n_2 + s_5 n_3 = P_1, \quad s_6 n_1 + s_2 n_2 + s_4 n_3 = P_2, \quad s_5 n_1 + s_4 n_2 + s_3 n_3 = P_3,$$
$$U_i = \tilde{U}_i \quad \left(i = \overline{1,3}\right) \text{ – на части поверхности } \Sigma_U. \tag{5}$$

В соотношениях (1)–(5) введены обозначения: $\boldsymbol{s}(t) = s_m(t) = [s_1, s_2, s_3, s_4, s_5, s_6]$, $\boldsymbol{e}(t) = e_m(t) = [e_1, e_2, e_3, e_4, e_5, e_6]$, $\boldsymbol{U}(t) = U_i(t) = [U_1, U_2, U_3]$ – векторы напряжений, деформаций и смещений в произвольный момент времени t; $\boldsymbol{R} = R_{mk}$ и $\boldsymbol{P} = P_{mk}$ – регулярные части матриц функций релаксации и ползучести. Они характеризуют вязкоупругий материал так же, как их упругие аналоги, то есть модули упругости $\boldsymbol{R}(0) = \boldsymbol{A} = A_{mk}$ и коэффициенты деформации $\boldsymbol{P}(0) = \boldsymbol{a} = a_{mk}$ – характеризуют свойства упругого материала; $\partial_i = \partial / \partial x_i$, $n_i = \cos(n, x_i)$, n – внешняя нормаль к контуру. Заданные объемные X, Y, Z и поверхностные P_1, P_2, P_3 силы, а также перемещения $\tilde{U}_i$ являются известными функциями времени.

Закон Гука для упругой задачи получаем из (3) и (4) в предположении, что $t = 0$. В компактной форме он представляется так:

$$\boldsymbol{\sigma} = \boldsymbol{A}\boldsymbol{\varepsilon} \quad \text{или} \quad \boldsymbol{\varepsilon} = \boldsymbol{a}\boldsymbol{\sigma}, \tag{6}$$

где $\boldsymbol{\sigma} = \sigma_m = s_m(0)$, $\boldsymbol{\varepsilon} = \varepsilon_m = e_m(0)$ – векторы напряжений и деформаций в момент времени $t = 0$.

Соотношения (1)–(5) образуют полную систему дифференциально-алгебраических соотношений, описывающих вязкоупругие процессы в трехмерных анизотропных средах. Полагаем

$$\boldsymbol{R}(t) = R_{mk}(t) = A_{mk} r_{mk}(t), \qquad \boldsymbol{P}(t) = P_{mk}(t) = a_{mk} p_{mk}(t), \tag{7}$$

где $r_{mk}(t)$, $p_{mk}(t)$ – матрицы функций релаксации и ползучести.

Соотношения (3) и (4) представим в форме

$$e_m = \bar{a}_{mk}\, s_k\,, \qquad \bar{a}_{mk} = a_{mk}\left(1 + p^*_{mk}\right) \qquad \left(m,k = \overline{1,6}\right); \tag{8}$$

$$s_m = \bar{A}_{mk}\, e_k\,, \qquad \bar{A}_{mk} = A_{mk}\left(1 - r^*_{mk}\right) \qquad \left(m,k = \overline{1,6}\right). \tag{9}$$

Каждый из временных операторов $\bar{A}_{mk}$ или $\bar{a}_{mk}$ состоит из двух элементов: упругой постоянной матрицы A_{mk} или a_{mk}, а также интегрального оператора $A_{mk} r^*_{mk}$ или $a_{mk} p^*_{mk}$, где

$$r^*_{mk}\, e_k(t) = -\int_0^t \frac{dr_{mk}(t-\tau)}{d(t-\tau)}\, e_k(\tau)\, d\tau\,, \tag{10}$$

$$p^*_{mk}\, s_k(t) = \int_0^t \frac{dp_{mk}(t-\tau)}{d(t-\tau)}\, s_k(\tau)\, d\tau\,. \tag{11}$$

Рассмотрим оператор $\bar{a}_{mk} = a_{mk}\left(1 + p^*_{mk}\right)$. Представляет интерес получения значений операторов p^*_{mk}. Рассмотрение задач установившейся ползучести, осуществляется при нагрузках, постоянных во времени. Если нагрузки постоянны, то напряжения $s_k(\tau)$ в (11) можно принять зависимыми от верхнего предела и вынести из под знака интеграла. Оператор (11) в этом случае будет таким

$$p^*_{mk} \bullet 1 = \int_0^t \frac{dp_{mk}(t-\tau)}{d(t-\tau)} \bullet 1\, d\tau = p_{mk}(t) - 1\,. \tag{12}$$

В опытах на релаксацию мгновенно прикладываются и поддерживаются постоянными деформации. Полагаем их зависимыми от верхнего предела и выносим из под знака интеграла в уравнении (10). Оператор (10) в этом случае будет таким

$$r^*_{mk} \bullet 1 = -\int_0^t \frac{dr_{mk}(t-\tau)}{d(t-\tau)} \bullet 1\, d\tau = 1 - r_{mk}(t)\,. \tag{13}$$

Значения функций ползучести $p_{mk}(t)$ и релаксации $r_{mk}(t)$ находятся из экспериментов. Значения операторов $p^*_{mk}(t)$ и $r^*_{mk}(t)$ определяются через функции ползучести и релаксации по формулам (12) и (13). Это дает возможность строить матрицы упругих коэффициентов уравнений состояния (8)–(9)

$$\bar{a}_{mk} = a_{mk}\left(1 + p^*_{mk}\right) = a_{mk}\, p_{mk}(t)\,, \tag{14}$$

$$\bar{A}_{mk} = A_{mk}\left(1 - r^*_{mk}\right) = A_{mk}\, r_{mk}(t)\,. \tag{15}$$

Уравнения состояния (8) – (9) имеют форму обычных уравнений закона Гука. Компоненты матриц упругих коэффициентов $\bar{a}_{mk}$ и $\bar{A}_{mk}$ вычисляются по формулам (14) и (15) и зависят от времени. Поэтому, систему уравнений (1), (2), (8), (9), (5) следует рассматривать как систему обычной теории упругости, зависящей от времени. Решение этой системы можно осуществлять в любой задаваемый момент времени t.

1. Шевченко В.П. Численно-аналитический метод решения задач линейной теории вязкоупругости / В.П. Шевченко, Р.Н. Нескородев // Прикл. механика. – 2014. – Т. 50, № 3. – С. 42 – 53.
2. Нескородев Р.Н. О новом численно-аналитическом методе решения задач теории вязкоупругости анизотропных сред / Р.Н. Нескородев // Вісник Донецького національного університету. Сер.А: Природн. науки. – 2009. – Вип. 2. – С. 7–15.
3. Шевченко В.П., Нескородев Р.Н. Новый метод решения задач вязкоупругости анизотропных сред / В.П. Шевченко, Р.Н. Нескородев // Доповіді НАН України. – 2010. – № 11. – С. 51–58.

УДК 539.3:534.1

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ АНАЛИЗА КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ О ВТОРЫХ ГАРМОНИКАХ ВОЛН КРУЧЕНИЯ В ТРАНСВЕРСАЛЬНО-ИЗОТРОПНОМ ЦИЛИНДРЕ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ ФИЗИЧЕСКИ-НЕЛИНЕЙНОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ

Сторожев В.И.
ГУ «Институт прикладной математики и механики», г. Донецк
stvi@i.ua

Исследования эффектов генерирования нелинейных вторых гармоник при распространении нормальных волн деформаций в цилиндрических упругих телах на данный момент реализованы по ограниченному кругу актуальных аспектов, включающему случаи анализа ангармонических возмущений для осесимметричных монохроматических нормальных волн крутильного и продольно-сдвигового типа в изотропных цилиндрах, ангармонического нелинейного взаимодействия пар нормальных волн указанных типов. Реализован также анализ ангармонических эффектов для осесимметричных монохроматических нормальных волн крутильного типа в трансверсально-изотропных цилиндрах в рамках модели геометрически нелинейного деформирования.

Результаты данного исследования относятся к открытой проблеме анализа ангармонических возмущений для нормальных волн кручения на основе модели физически-нелинейного динамического деформирования трансверсально-изотропного упругого тела. В них используется представление упругого потенциала с квадратичными и кубическими членами по малым деформациям и коэффициентами, зависящими от пяти независимых упругих постоянных второго порядка и десяти независимых упругих постоянных третьего порядка. Исследование базируется на концепции описания характеристик динамического напряженно-деформированного состояния двумя низшими членами разложений по малому параметру в виде отношения максимальной амплитуды исследуемых волн к радиусу волновода и сведения задачи описания ангармонических возмущений к рекуррентной последовательности краевых задач первого

(линейного) и второго приближения. Этапами численно-аналитического исследования модели являются интегрирование уравнения

$$[((c_{11}-c_{12})/2)(\partial_r + r^{-1}\partial_r - r^{-2}) - c_{44}k^2 + \Omega^2]u_\theta^{(0,l)}(r) = 0, \quad \partial_r = d/dr$$

относительно амплитудной функции $u_\theta^{(0,l)}(r)$ в комплексном представлении функции напряженности линейной волны кручения

$$u_\theta^{(l)}(r,z,t) = u_\theta^{(0,l)}(r)\cdot\exp(-i(\omega t - kz))$$

и определение амплитудных функций для нелинейного ангармонического возмущения из системы обыкновенных дифференциальных уравнений

$$\Delta_{11}^{(1)}u_r^{(0,n)} + \Delta_{12}^{(1)}r^{-2}u_r^{(0,n)} + \Delta_{13}^{(1)}r^{-1}\partial_r u_r^{(0,n)} + \Delta_{14}^{(1)}\partial_r u_z^{(0,n)} + \Delta_{15}^{(1)}\partial_r^2 u_r^{(0,n)} =$$
$$= \Delta_{11}^{(2)}r^{-3}(u_\theta^{(0,l)})^2 + \Delta_{12}^{(2)}r^{-1}(u_\theta^{(0,l)})^2 + \Delta_{13}^{(2)}u_\theta^{(0,l)}(\partial_r u_\theta^{(0,l)}) + \Delta_{14}^{(2)}r^{-2}u_\theta^{(0,l)}(\partial_r u_\theta^{(0,l)}) +$$
$$+ \Delta_{15}^{(2)}r^{-1}(\partial_r u_\theta^{(0,l)})^2 + \Delta_{16}^{(2)}r^{-1}u_\theta^{(0,l)}(\partial_r^2 u_\theta^{(0,l)}) + \Delta_{17}^{(2)}(\partial_r u_\theta^{(0,l)})(\partial_r^2 u_\theta^{(0,l)}),$$

$$\Delta_{21}^{(1)}u_z^{(0,n)} + \Delta_{22}^{(1)}r^{-1}u_r^{(0,n)} + \Delta_{23}^{(1)}r^{-1}\partial_r u_r^{(0,n)} + \Delta_{24}^{(1)}r^{-1}\partial_r u_z^{(0,n)} + \Delta_{25}^{(1)}\partial_r^2 u_z^{(0,n)} =$$
$$= \Delta_{21}^{(2)}(u_\theta^{(0,l)})^2 + \Delta_{22}^{(2)}r^{-2}(u_\theta^{(0,l)})^2 + \Delta_{23}^{(2)}r^{-1}u_\theta^{(0,l)}(\partial_r u_\theta^{(0,l)}) + \Delta_{24}^{(2)}(\partial_r u_\theta^{(0,l)})^2 +$$
$$+ \Delta_{25}^{(2)}u_\theta^{(0,l)}(\partial_r^2 u_\theta^{(0,l)}),$$

$$\Delta_{11}^{(1)} = \Omega^2 - c_{44}k^2,\ \Delta_{12}^{(1)} = -c_{11},\ \Delta_{13}^{(1)} = c_{11},\ \Delta_{14}^{(1)} = ik(c_{13}+c_{44}),\ \Delta_{15}^{(1)} = c_{11};$$
$$\Delta_{11}^{(2)} = (c_{111}-c_{112})/4,\ \Delta_{12}^{(2)} = k^2(c_{114}-c_{115}),\ \Delta_{13}^{(2)} = k^2(c_{114}+c_{115})/2,$$
$$\Delta_{14}^{(2)} = (c_{112}-c_{111})/2,\ \Delta_{15}^{(2)} = (c_{111}-c_{112})/4,\ \Delta_{16}^{(2)} = (c_{111}-c_{112})/4,$$
$$\Delta_{17}^{(2)} = (c_{112}-c_{111})/4;$$

$$\Delta_{21}^{(1)} = \Omega^2 - c_{33}k^2,\ \Delta_{22}^{(1)} = ik(c_{13}+c_{44}),\ \Delta_{23}^{(1)} = ik(c_{13}+c_{44})\ \Delta_{24}^{(1)} = c_{44},\ \Delta_{25}^{(1)} = c_{44};$$
$$\Delta_{21}^{(2)} = ik^3c_{344}/2,\ \Delta_{22}^{(2)} = ik(c_{123}-c_{113})/4,\ \Delta_{23}^{(2)} = ik(c_{113}-c_{123})/2,$$
$$\Delta_{24}^{(2)} = ik(c_{144}-c_{155})/2,\ \Delta_{25}^{(2)} = ik(c_{144}-c_{155})/2.$$

В результате подстановки в выражение $u_\theta^{(0,l)}(r) = u^{(0)}J_1(\alpha r)$, получаемое из уравнения первого приближения, представления

$$J_1(\alpha r) = \sum_{m=0}^{\infty}\frac{(-1)^m}{m!(m+1)!}\left(\frac{\alpha r}{2}\right)^{2m+1},$$

соответствующие уравнения системы относительно амплитудных составляющих ангармонического возмущения принимают вид

$$\Delta_{11}^{(1)}u_r^{(0,n)} + \Delta_{12}^{(1)}r^{-2}u_r^{(0,n)} + \Delta_{13}^{(1)}r^{-1}\partial_r u_r^{(0,n)} + \Delta_{14}^{(1)}\partial_r u_z^{(0,n)} + \Delta_{15}^{(1)}\partial_r^2 u_r^{(0,n)} =$$
$$= (u^{(0)})^2\sum_{p=1}^{\infty}\alpha_p r^p,$$

$$\Delta_{21}^{(1)}u_z^{(0,n)} + \Delta_{22}^{(1)}r^{-1}u_r^{(0,n)} + \Delta_{23}^{(1)}r^{-1}\partial_r u_r^{(0,n)} + \Delta_{24}^{(1)}r^{-1}\partial_r u_z^{(0,n)} + \Delta_{25}^{(1)}\partial_r^2 u_z^{(0,n)} =$$
$$= (u^{(0)})^2\sum_{p=1}^{\infty}\beta_p r^p,$$

и их частные решения определяются в виде рядов вида

$$F_1(r) = \sum_{p=1}^{\infty}a_p r^p,\ \ F_2(r) = \sum_{p=1}^{\infty}b_p r^p,$$

с коэффициентами, определяемыми из рекуррентных формул

$$a_1 = \alpha_1[\Delta_{13}^{(2)}]^{-1},\ b_1 = \beta_1[\Delta_{23}^{(2)}]^{-1},\ a_2 = (\alpha_2 - b_1\Delta_{14}^{(2)})[\Delta_{12}^{(2)} + 2\Delta_{13}^{(2)} + 2\Delta_{15}^{(2)}]^{-1},$$

$$b_2 = (\beta_2 - a_1(\Delta_{22}^{(2)} - \Delta_{24}^{(2)})[2(\Delta_{23}^{(2)} + \Delta_{25}^{(2)})]^{-1},$$

$$a_{p+2} = (\alpha_{p+2} - a_p\Delta_{11}^{(2)} - b_{p+1}(p+1)\Delta_{14}^{(2)})[\Delta_{12}^{(2)} + (p+2)\Delta_{13}^{(2)} + (p+1)(p+2)\Delta_{15}^{(2)}]^{-1},$$

$$b_{p+2} = (\beta_{p+2} - a_{p+1}(\Delta_{22}^{(2)} + (p+1)\Delta_{24}^{(2)}) - b_p\Delta_{21}^{(2)})[(p+2)\Delta_{23}^{(2)} + (p+1)(p+2)\Delta_{25}^{(2)}]^{-1}$$

$$(p = \overline{1,\infty}),$$

а полные решения имеют вид

$$u_r^{(n)} = ((u^{(0)})^2 F_1(r) - E_1\vartheta_1 J_1(\vartheta_1 r) - E_2\vartheta_2 J_1(\vartheta_2 r))\exp(-2i(\omega t - kz)),$$

$$u_z^{(n)} = ((u^{(0)})^2 F_2(r) + E_1\eta_1 J_0(\vartheta_1 r) + E_2\eta_2 J_0(\vartheta_2 r))\exp(-2i(\omega t - kz))$$

где

$$\vartheta_j = ((-\lambda_2 - (-1)^j(\lambda_2^2 - 4\lambda_1\lambda_3)^{1/2})/(2\lambda_1))^{1/2}.$$

$$\eta_j = ik\vartheta_j^2(c_{13} + c_{44})[\Omega^2 - c_{33}k^2 - c_{44}\vartheta_j^2]^{-1} \quad (j = \overline{1,2});$$

$$\lambda_1 = c_{11}c_{44},\ \lambda_2 = -(c_{11} + c_{44})\Omega^2 - (c_{13}^2 + 2c_{13}c_{44} - c_{11}c_{33})k^2,$$

$$\lambda_3 = (\Omega^2 - c_{33}k^2)(\Omega^2 - c_{44}k^2),$$

E_j – произвольные постоянные коэффициенты, подлежащие определению из краевых условиях на боковой поверхности цилиндра.

Таким образом, следствием реализации описываемого алгоритма является качественный вывод о том, что для цилиндров из материалов с данным типом физико-механической симметрии нелинейные вторые гармоники уединенных монохроматических нормальных крутильных волн представляют собой упругие волны продольно-сдвигового типа с удвоенной частотой и удвоенным волновым числом линейной нормальной волны кручения.

УДК 539.3:534.1

НЕЧЕТКИЕ ОЦЕНКИ ДЛЯ ФАЗОВЫХ СКОРОСТЕЙ НОРМАЛЬНЫХ УПРУГИХ ВОЛН В ОРТОТРОПНОМ СЛОЕ С ПРОСКАЛЬЗЫВАЮЩИМИ ЗАКРЕПЛЕНИЯМИ ГРАНЕЙ

Сторожев С.В.[1], Номбре С.Б.[2]

[1] ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк

[2]Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, г. Макеевка

Для многих типов горных пород и промышленных конструкционных материалов характерен весьма существенный разброс в экспериментально определяемых значениях физико-механических постоянных, что выдвигает крайне актуальную задачу детализированного учета факторов неопределенности в значениях экзогенных параметров прикладных

математических моделей волновой механики деформируемого твердого тела. Учет факторов неопределенности в естественнонаучных и инженерных математических моделях осуществляется на базе применения методов теории вероятностей и математической статистики [3], а также методов нечеткой математики [2]. При этом особенности методов теории нечетких множеств заключаются в возможностях непосредственного оперирования с нечеткими параметрами моделей без перехода к их усредненными интегральным характеристикам.

Представленное в данной работе исследование относится к проблеме нечеткого оценивания величин фазовых скоростей нормальных упругих волн в ортотропном слое пространственного геометрического строения, грани которого контактируют с проскальзыванием с жесткими вмещающими телами. В нем используются гипотезы об описании экспериментальных значений модулей упругости материала слоя нормальными трапецеидальными нечеткими интервалами [5] и возможностях использования прикладной схемы реализации эвристического принципа обобщения [4] для расширения областей определения классических функциональных отображений на нечеткие подмножества универсального множества.

С использованием результатов работы [1], представления для фазовых скоростей $v_{fj}^{(n)}$ симметричных и антисимметричных нормальных волн продольно-сдвигового типа с круговой частотой ω из моды спектра с порядковым номером n, распространяющихся вдоль упруго-эквивалентных направлений Ox_j в плоскости занимающего область $V-\{(x_1,x_2)\in R^2,-h\le x_3\le h\}$ ортотропного слоя с рассматриваемым типом краевых условий на плоских гранях $x_3=\pm h$, приводятся к виду

$$v_{f1}^{(n)}=[\frac{1}{2}(c_{13}+c_{55})\delta_n^2(c_{55}\delta_n^2-\rho\omega^2)^{-1}(c_{33}\delta_n^2-\rho\omega^2)^{-1}+$$

$$+((\frac{1}{2}(c_{13}+c_{55})\delta_n^2(c_{55}\delta_n^2-\rho\omega^2)^{-1}(c_{33}\delta_n^2-\rho\omega^2)^{-1})^2-\rho^2\omega^4(c_{11}c_{55})^{-1}\cdot$$

$$\cdot(c_{55}\delta_n^2-\rho\omega^2)^{-1}(c_{33}\delta_n^2-\rho\omega^2)^{-1})^{1/2}]^{1/2}=\varphi_{1n}(\rho,c_{11},c_{33},c_{13},c_{55}),$$

$$v_{f2}^{(n)}=[\frac{1}{2}(c_{23}+c_{44})\delta_n^2(c_{44}\delta_n^2-\rho\omega^2)^{-1}(c_{33}\delta_n^2-\rho\omega^2)^{-1}+$$

$$+((\frac{1}{2}(c_{23}+c_{44})\delta_n^2(c_{44}\delta_n^2-\rho\omega^2)^{-1}(c_{33}\delta_n^2-\rho\omega^2)^{-1})^2-\rho^2\omega^4(c_{22}c_{44})^{-1}\cdot$$

$$\cdot(c_{44}\delta_n^2-\rho\omega^2)^{-1}(c_{33}\delta_n^2-\rho\omega^2)^{-1})^{1/2}]^{1/2}=\varphi_{2n}(\rho,c_{22},c_{33},c_{23},c_{44}),$$

где ρ – постоянная плотности, c_{ij} – упругие постоянные анизотропного материала слоя, δ_n $(n=\overline{1,\infty})$ – параметр, принимающий значение $\delta_n=n\pi/h$ в случае исследования симметричных по толщине пластины волн и значение $\delta_n=(2n-1)\pi/(2h)$ – в случае исследования антисимметричных волн.

При формировании нечетких оценок для характеристик $v_{f1}^{(n)}, v_{f2}^{(n)}$ используется прикладной алгоритм реализации эвристического принципа обобщения, базирующийся на декомпозициях по множествам α - уровня αA_α [4] для нечетко-множественных аргументов функций $\varphi_{1n}(\rho, c_{11}, c_{33}, c_{13}, c_{55})$, $\varphi_{2n}(\rho, c_{22}, c_{33}, c_{23}, c_{44})$, представляющих собой трапецеидальные нечеткие интервалы с кортежам реперных точек $(\rho^{(1)}, \rho^{(2)}, \rho^{(3)}, \rho^{(4)})$, $(c_{ij}^{(1)}, c_{ij}^{(2)}, c_{ij}^{(3)}, c_{ij}^{(4)})$:

$$\rho = \bigcup_{\alpha\in[0,1]} (\underline{\rho_\alpha}, \overline{\rho_\alpha}),\ \ \underline{\rho_\alpha} = (1-\alpha)\rho^{(1)} + \alpha\rho^{(2)},\ \ \overline{\rho_\alpha} = (1-\alpha)\rho^{(4)} + \alpha\rho^{(3)};$$

$$c_{ij} = \bigcup_{\alpha\in[0,1]} (\underline{c_{ij\alpha}}, \overline{c_{ij\alpha}}),\ \ \underline{c_{ij\alpha}} = (1-\alpha)c_{ij}^{(1)} + \alpha c_{ij}^{(2)},\ \ \overline{c_{ij\alpha}} = (1-\alpha)c_{ij}^{(4)} + \alpha c_{ij}^{(3)}.$$

Алгоритм предполагает использование численно-аналитической процедуры анализа знакоопределенности частных производных

$$\partial\varphi_{n1}(\rho, c_{11}, c_{33}, c_{13}, c_{55})/\partial\rho,\ \partial\varphi_{1n}(\rho, c_{11}, c_{33}, c_{13}, c_{55})/\partial c_{ij}\ \ (ij = 11, 33, 13, 55);$$

$$\partial\varphi_{2n}(\rho, c_{22}, c_{33}, c_{23}, c_{44})/\partial\rho,\ \ \partial\varphi_{2n}(\rho, c_{22}, c_{33}, c_{23}, c_{44})/\partial c_{ij}\ \ (ij = 22, 33, 23, 44)$$

в областях

$$(\rho, c_{11}, c_{33}, c_{13}, c_{55}) \in [\rho^{(1)}, \rho^{(4)}] \times [c_{11}^{(1)}, c_{11}^{(4)}] \times [c_{33}^{(1)}, c_{33}^{(4)}] \times [c_{13}^{(1)}, c_{13}^{(4)}] \times [c_{55}^{(1)}, c_{55}^{(4)}],$$

$$(\rho, c_{22}, c_{33}, c_{23}, c_{44}) \in [\rho^{(1)}, \rho^{(4)}] \times [c_{22}^{(1)}, c_{22}^{(4)}] \times [c_{33}^{(1)}, c_{33}^{(4)}] \times [c_{23}^{(1)}, c_{23}^{(4)}] \times [c_{44}^{(1)}, c_{44}^{(4)}]$$

В дальнейшей разветвленной схеме анализа разграничиваются случаи знакоопределенности функций $\partial\varphi_{pn}(\rho, c_{ql})/\partial\rho$, $\partial\varphi_{pn}(\rho, c_{ql})/\partial c_{ij}$ в полных областях определения, и случаи наличия подобластей их знакоопределенности как подмножеств указанных полных областей. В частности, при выполнении условий $\partial\varphi_{pn}(\rho, c_{ql})/\partial\rho \le 0$, $\partial\varphi_{pn}(\rho, c_{ql})/\partial c_{ij} \ge 0$, $\partial\varphi_{pn}(\rho, c_{ql})/\partial c_{ms} \le 0$ $(ij \ne ms)$ во всех областях определения для анализируемых характеристик фазовых скоростей нормальных упругих волн справедливы представления нечеткими множествами с интервальными разложениями

$$v_{fp}^{(n)} = \bigcup_{\alpha\in[0,1]} (\varphi_{pn}(\overline{\rho_\alpha}, \overline{c_{ms\alpha}}, \underline{c_{ij\alpha}}), \varphi_{pn}(\underline{\rho_\alpha}, \underline{c_{ms\alpha}}, \overline{c_{ij\alpha}})).$$

Аналогичной в концептуальном плане, но более разветвленной по описанию, является процедура получения интервальных разложений для нечетких характеристик фазовых скоростей нормальных упругих волн в случаях выделения подобластей знакоопределенности частных производных $\partial\varphi_{pn}(\rho, c_{ql})/\partial\rho$ и $\partial\varphi_{pn}(\rho, c_{ql})/\partial c_{ij}$ в полных областях изменения аргументов.

1. Бутко С.Б. Нормальные волны в ортотропных пластинах и призматических телах с тонкими нерастяжимыми покрытиями граней / С.Б. Бутко, Т.В. Волобуева, В.И. Сторожев // Теорет. и прикл. механика. – 1995. – Вып. 25. – С. 90–97.
2. Дилигенский Н.В. Нечеткое моделирование и многокритериальная оптимизация производственных систем в условиях неопределенности: технология, экономика,

экология / Н.В. Дилигенский, Л.Г. Дымова, П.В. Севастьянов. – М.: Издательство Машиностроение-1, 2004. – 397 с.
3. Ломакин В.А. Статистические задачи механики твердых деформируемых тел. – М.: Наука, 1970. – 139 с.
4. Ротштейн А.П. Моделирования и оптимизация надежности многомерных алгоритмических процессов / А.П. Ротштейн, С.Д. Штовба, А.Н. Козачко. – Винница: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2007. – 215 с.
5. Хапатхаева Н.Б. Введение в теорию нечётких множеств. Часть 1 / Н.Б. Хапатхаева, С.В. Дамбаева, Н.Н. Аюшеева. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2004. – 68 с.

УДК 539.3

О ПРОБЛЕМЕ КОНЦЕНТРАЦИИ НАПРЯЖЕНИЙ НАНОРАЗМЕРНЫХ СТРУКТУР

Шалдырван В.А.
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк
matphysics@mail.ru

Широкое распространение наноматериалов и внедрение в современную промышленность различных наноразмерных механизмов требует анализа прочности, устойчивости и долговечности. Если оставаться в рамках механики твердого тела, то придется учесть специфические особенности последних. А именно, аномальные физические свойства многих наноматериалов, которые не вкладываются в рамки обычных материалов. Одно из объяснений этого состоит в наличии поверхностных эффектов. Как отмечается в обзоре [1], роль может быть чрезвычайно велика, по сравнению с классической механикой. В работах [2, 3] показано, что при учете поверхностных напряжений существенно изменяются жесткости пластины. А это соответствует результатам теоретических исследований и экспериментальным данным (см. обзор [1]).

Таким образом, возникло направление: *теория упругости с поверхностными напряжениями*, которое учитывает поверхностные напряжения. В ней кроме традиционного тензора напряжений $\boldsymbol{\sigma}$, определяемом в объеме тела $\boldsymbol{v}$ и на его поверхности $\mathbf{S}$, на части границы тела действуют дополнительно поверхностные напряжения $\boldsymbol{\tau}$. По существу тензор $\boldsymbol{\tau}$ – это принятое в гидромеханике скалярное поверхностное натяжение жидкости. Следует отметить, что исследование поверхностных натяжений и напряжений в твердых телах производились в работах Лапласа, Юнга, Гиббса (см., напр., обзор [2]).

Влияние поверхностных эффектов на упругие характеристики наноматериалов может быть реализовано введением эффективной жесткости рассматриваемого круглого стержня радиуса R с n парами радиуса r, согласно [3], эффективный модуль упругости, с учетом поверхностных напряжений, выглядит так

$$E_3^* = E(1-\varphi) + E_s \frac{2\pi r n}{F},$$

где $S = \pi r^2 n,\ \varphi = \frac{S}{F}$ – пористость, $F = \pi R^2$ – площадь сечения стержня, включая площадь под, $E_s = \frac{\sigma_{zz}}{}$, – продольные компоненты напряжений и поверхностной деформации.

Рассмотрена также задача Кирша. Приведенное позволяет рассмотреть ряд прикладных задач:

1) плоская задача для пластины с двумя отверстиями;
2) циклическая задача;
3) периодическая задача.

Возможно, сформулировать пространственную задачу Кирша.

1. Duan H.L., Wang I., Karihaloo B.L. Theory of elasticity at the nanjscale. // Adv. In Appe/ Vtch. – 2008. – V. 42. – P. 1-68.
2. Альтенбах Х., Еремеев В.А., Морозов Н.Ф. Об уравнениях теории оболочек при учете поверхностных напряжений. // Изв. РАН. МГТ. – 2010. – №3.
3. Еремеев В.А., Морозов Н.Ф. Об эффективности жесткости нанопористого стержня // ДАН. –2010. – Т. 432, №4.

УДК 532.591

ЗАДАЧА О ВДВИГАНИИ ПЛОСКОГО ПОРШНЯ В СЖИМАЕМУЮ ЖИДКОСТЬ

Шарый В.А., Пайков В.И.

Конакрийский университет им. Гамаля Абделя Насера, Республика Гвинея

vpaykov@mail.ru

В работе исследуется адиабатическое движение сжимающейся жидкости под действием плоского поршня, перемещающегося в цилиндрической трубе с заданной скоростью. Аналогичная задача была изучена Риманом и К.П. Станюковичем [1], где предполагалось, что начальная скорость движения поршня при $t = 0$ равна нулю. В этом случае Риманом было получено точное решение одномерных не стационарных уравнений газовой динамики, которые применимо в области прилегающей к поршню на интервале времени $o \le t < t^*$, где t^* момент возникновения в течении ударной волны, которая появляется если поршень движется с положительным ускорением.

В настоящей работе рассматривается случай вдвигания поршня в сжимаемую жидкость, когда начальная скорость поршня отлична от нуля и затем в последующие моменты времени поршень движется с отрицательным ускорением. В этом случае в момент $t = 0$ на поршне возникает ударная волна, которая при последующем движении некоторым образом взаимодействует с волной разряжения в области между поршнем и ударной

волной. В работе получено уравнение движения фронта ударной волны и для больших значений t показано, что давление на фронте волны затухает по закону Л.Д. Ландау [2].

Как было отмечено выше, движение среды перед поршнем описывается одномерной системой уравнений газовой динамики (адиабатический случай):

$$\begin{cases} \dfrac{\partial M}{\partial t} + a_0 M \dfrac{\partial M}{\partial x} + \dfrac{2a_0}{\kappa - 1}(1+\alpha)\dfrac{\partial \alpha}{\partial x} = 0; & (1) \\ \dfrac{\partial\left(\dfrac{2\alpha}{\kappa-1}\right)}{\partial t} + a_0 M \dfrac{\partial\left(\dfrac{2\alpha}{\kappa-1}\right)}{\partial x} + a_0(1+\alpha)\dfrac{\partial M}{\partial x} = 0. & (2) \end{cases}$$

Здесь

$$M = \frac{v}{a_0},$$

где $v(x,t)$ – скорость движения частиц жидкости, $a = a_0(1+\alpha(x,t))$ – скорость звука в сжимаемой жидкости.

Причём

$$a^2 = \frac{dp}{d\rho},$$

где давление в жидкости p и её плотность ρ связаны уравнением адиабаты $\dfrac{p}{p_0} = \left(\dfrac{\rho}{\rho_0}\right)^{\kappa}$ (для воздуха $\kappa = 1,4$, для воды $\kappa = 7,15$).

Уравнение (2) выражает закон сохранения массы жидкости. Уравнение (1) – это известное уравнение Эйлера движения частиц жидкости, выражающее второй закон Ньютона. Отметим, что в задаче присутствует малый параметр $\varepsilon = \dfrac{p_1 - p_0}{\kappa p_0}$, $0 < \varepsilon \ll 1$, p_1 – давление на фронте ударной волны в момент $t = 0$.

В данной работе ищется решение задачи, при начальном условии:

$$M(x,t) = 0, \quad \alpha(x,t) = 0, \quad (3)$$

при $t = 0, \quad x \geq 0$ и граничном условии на поршне:

$$M(x_p(t),t) = f(t). \quad (4)$$

Здесь $M(x_p(t),t)$ – скорость частиц газа на поршне $x_p(t)$, $f(t)$ – заданная скорость движения поршня и $x_p'(t) = \varepsilon \cdot a_0 \cdot f(t)$. В работе рассматривается случай, когда $f(0) = b, \quad b > 0, \quad f(t) > 0, \quad f'(t) < 0$ при $t > 0$

В области, прилегающей к поршню для $x_p(t) < x < a_0 \cdot t, \quad t = O(1)$, где искомые функции $M(x,t), \quad \alpha(x,t)$ и их частные производные имеют порядок $O(\varepsilon)$, строится линейное решение задачи системы (1), (2) в виде асимптотических разложений:

$$M(x,t,\varepsilon) = \varepsilon M_1(x,t) + \varepsilon^2 M_2(x,t) + \ldots, \quad (5)$$

$$\alpha(x,t,\varepsilon)=\varepsilon\alpha_1(x,t)+\varepsilon^2\alpha_2(x,t)+\ldots \quad (6)$$

Первые члены разложений удовлетворяют волновому уравнению, например:

$$\frac{\partial^2 M_1}{\partial t^2}=a_0^2\frac{\partial^2 M_1}{\partial x^2}. \quad (7)$$

Уравнение (7) при условиях (3) и (4) имеет решение

$$M_1(x,t)=f\left(t-\frac{x}{a_0}\right). \quad (8)$$

В области, прилегающей к ударной волне, определяемой соотношением

$$\varepsilon\cdot\delta=a_0t-x,$$

где $\delta=O(1)$.

Искомые функции $M(x,t)$ и $\alpha(x,t)$ имеют тот же порядок $O(\varepsilon)$, но их частные производные имеют порядок $O(1)$.

В рассматриваемой области, для первых членов разложений (5) и (6) получаем

$$\begin{cases} M_1=\dfrac{2\alpha_1}{\kappa-1}, & (9)\\ \dfrac{\partial M_1}{\partial t}-a_0\dfrac{\kappa+1}{2}M_1\dfrac{\partial M_1}{\partial\delta}=0. & (10)\end{cases}$$

Уравнение (9) совпадает с известным соотношением уравнений теории коротких волн [3]. В работе полечено решение системы (9), (10), удовлетворяющее условиям на фронте ударной волны и которое сопрягается с построенным выше линейным решением (8) по методу Ван Дайка [4].

Это решение имеет вид:

$$M_1(x,t)=f\left(t\left(1+\frac{\kappa+1}{2}M_1\cdot\varepsilon\right)-\frac{x}{a_0}\right). \quad (11)$$

В работе исследуется случай линейной функции

$$f(\tau)=\frac{k\cdot\tau}{t_0}+b,$$

где $k<0$, а $t_0>0$ – некоторый характерный, заданный момент времени.

Нелинейное решение (11) при заданной функции $f(\tau)$ имеет вид:

$$M_1(x,t)=-\frac{k}{t_0}\left(\frac{x-a_0t-\dfrac{a_0\cdot t_0\cdot b}{k}}{a_0\left(1-\dfrac{(\kappa+1)k\cdot t}{2t_0}\right)}\right). \quad (12)$$

Используя полученное соотношение, в работе определяется закон движения фронта ударной волны, дифференциальное уравнение, которой имеет вид:

$$\frac{d\left(x-a_0t\right)}{dt}=\frac{\kappa+1}{4}a_0\varepsilon M_1. \quad (13)$$

Интегрируя уравнение (13), где $M_1\left(x,t\right)$ определяется по (12), получаем закон движения ударной волны:

$$x=a_0\left(t+t_0\frac{b}{k}\right)+C\sqrt{1-\frac{\left(\kappa+1\right)k\cdot\varepsilon\cdot t}{2t_0}}, \quad (14)$$

где константа интегрирования C определяется из начальных условий.

Из соотношений (12) и (14) получаем закон затухания скорости $M_1\left(x,t\right)$ на фронте ударной волны, аналогичный известному закону затухания давления плоской ударной волны Ландау в виде:

$$M_1\left(x,t\right)\sim\frac{C_1}{\sqrt{x}},$$

где C_1 – некоторая положительная константа, а x абсцисса фронта ударной волны для больших значений t.

1. Станюкович, К.П. Неустановившиеся движения сплошной среды: монография / К.П. Станюкович. – М.: Наука, 1971. – 856 с.
2. Ландау, Л.Д. Теоретическая физика. Т. 6. Гидродинамика: учебное пособие / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – М.: Физматлит, 2015. – 728 с.
3. Гриб, А.А. Теория коротких волн / А.А. Гриб, О.С. Рыжов, С.А. Христианович // Журнал прикладной механики и технической физики. – 1960. – № 1. – С. 63-74.
4. Ван Дайк, М. Методы возмущений в механике жидкости: монография / М. Ван Дайк; пер. с англ. В.А. Смирнова; под ред. А.А. Никольского. – М.: Мир, 1967. – 310 с.

УДК 539.3

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ УСЛОВИЙ ТЕПЛООБМЕНА В ЗАДАЧАХ ТЕРМОМЕХАНИКИ РАЗРУШЕНИЯ ИЗОТРОПНЫХ ПЛАСТИН НА БАЗЕ ОБОБЩЁННОЙ ТЕОРИИ

Бондаренко Н.С., Гольцев А.С.
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк
Bondarenko.Natalya.Sergeevna@gmail.com

В последнее время стало актуальным решение задач теплопроводности и термоупругости для пластин и оболочек на базе уточнённых теорий. Это связано с широким применением композитных материалов в технике. Обобщённая теория пластин и оболочек в варианте {1,0}-аппроксимации является наиболее приемлемой для использования в качестве уточнённой теории, поскольку она не основана на каких-либо гипотезах, а использует метод И.Н. Векуа разложения искомых функций в ряды Фурье по полиномам Лежандра P_k [3]. Данная теория позволяет непосредственно находить коэффициенты интенсивности термоупругих напряжений и уйти от понятия коэффициентов интенсивности термоупругих усилий и моментов, которые использовались в задачах подобного типа до настоящего времени.

Рассмотрим изотропную пластину толщины $2h$ с теплоизолированным разрезом L в прямоугольной декартовой системе координат $Oxyz$. На лицевых поверхностях пластины происходит конвективный теплообмен по закону Ньютона с внешней средой нулевой температуры.

В рамках {1,0}–аппроксимации (обобщённой теории С. П. Тимошенко) компоненты вектора перемещений имеют вид [3]:

$$u_x = uP_0 + \gamma_x hP_1;\ u_y = vP_0 + \gamma_y hP_1;\ u_z = w_0 P_0,$$

где $u,\ v,\ w_0,\ \gamma_x,\ \gamma_y$ – обобщённые перемещения.

Ненулевые компоненты тензора напряжений определяются так [3]:

$$\sigma_x = \frac{N_x}{2h}P_0 + \frac{3M_x}{2h^2}P_1;\ \tau_{xz} = \frac{Q_{x0}}{2h}\left(P_0 - P_2\right)\ \left(x \to y\right);\ \tau_{xy} = \frac{S}{2h}P_0 + \frac{3H}{2h^2}P_1,$$

где $N_x,\ N_y, S,\ M_x,\ M_y, H,\ Q_{x0},\ Q_{y0}$ – обобщённые усилия и моменты.

Температура имеет представление: $T = T_0P_0 + T_1P_1$, где T_0 – средняя температура, T_1 – температурный момент.

В качестве разрешающей взята система уравнений термоупругости {1,0}–аппроксимации [3]. Граничные условия на линии теплоизолированного разреза L сформулированы в предположении свободных берегов разреза и отсутствия контакта между ними [1]. Используется постановка задач термомеханики разрушения, описанная в [5].

Решение задачи термоупругости для изотропной пластины с теплоизолированным разрезом получено с помощью двумерного интегрального преобразования Фурье с учётом разрывного характера искомых функций на линии разреза L. Методика обращения основана на использовании специальной *G*-функции [4].

Для прямолинейного теплоизолированного разреза длины $2lh$, расположенного вдоль оси абсцисс симметрично начала координат

$$L = \left\{ (x, y) \in R^2 : |x| \le lh,\ y = 0 \right\} \tag{1}$$

построены интегральные представления компонент термоупругого состояния и разрешающие системы сингулярных интегральных уравнений (СИУ). Разностные ядра систем СИУ представляют собой линейные комбинации специальной *G*-функции и её первообразной и зависят от критерия Био $Bi^{\pm}$ на лицевых поверхностях пластины $z = \pm h$.

Решение системы СИУ для безмоментного термоупругого состояния получено аналитически в классе функций, неограниченных на концах отрезка $[-1; 1]$. Случай термоупругого изгиба описывает система СИУ типа Коши первого рода, которая решена методом механических квадратур [2].

Особый интерес представляет термоупругое состояние в окрестностях концов разреза. Оно имеет сингулярный характер с особенностью вида $r^{-1/2}$ [2]. Такое поведение внутренних силовых факторов обусловлено наличием ядер Коши в интегральных представлениях внутренних силовых факторов.

Максимальные по модулю значения коэффициентов интенсивности напряжений (КИН) для поперечного и продольного сдвига равны

$$K_{II}^{\max} = \frac{\sqrt{\pi hl}E}{4} \left\{ \left| \lim_{s \to 1} \left[\psi_1^0(s) \sqrt{1 - s^2} \right] \right| + \left| \lim_{s \to 1} \left[\psi_1^1(s) \sqrt{1 - s^2} \right] \right| \right\};$$

$$K_{III}^{\max} = \frac{3\sqrt{\pi hl}E\Lambda_0}{8} \left| \lim_{s \to 1} \left[\psi_3^1(s) \sqrt{1 - s^2} \right] \right|; \tag{2}$$

$$\Lambda_0 = \frac{5}{6(1+\nu)};\ \psi_1^0 = \frac{d[u]}{ds};\ \psi_1^1 = \frac{d[\gamma_1]}{ds};\ \psi_3^1 = \frac{d[w_0]}{ds},$$

где E и ν – модуль Юнга и коэффициент Пуассона соответственно; s – длина дуги кривой L.

Были проведены численные исследования влияния интенсивности и характера теплообмена на КИН для поперечного и продольного сдвига (2), обусловленные наличием возмущённого температурного поля в изотропной пластине $(\nu = 0{,}3)$. Результаты расчётов для максимальных по модулю значений КИН представлены на рис. 1, 2. При этом предполагалось отсутствие внутренних силовых факторов основного термоупругого состояния.

На рис. 1, 2 представлены такие случаи теплообмена с внешней средой на лицевых поверхностях пластины: верхний односторонний теплообмен ($Bi^{+} = Bi$, $Bi^{-} = 0$ – кривые 1); несимметричный теплообмен ($Bi^{+} = Bi$,

$Bi^- = 0,25Bi$ – кривые 2; $Bi^+ = Bi$, $Bi^- = 0,5Bi$ – кривые 3; $Bi^+ = Bi$, $Bi^- = 0,75Bi$ – кривые 4); симметричный теплообмен ($Bi^+ = Bi^- = Bi$ – кривая 5 на рис. 1). Заметим, что в случае симметричного теплообмена с внешней средой $K_{III}^{\max} = 0$.

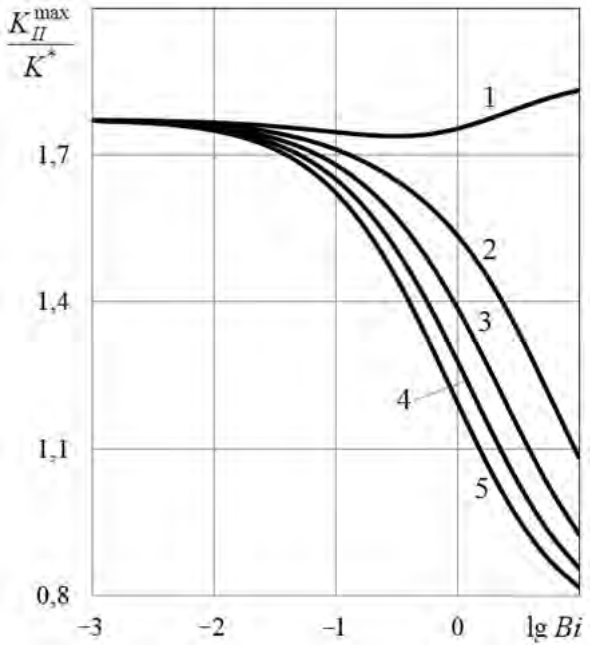


Рис. 1

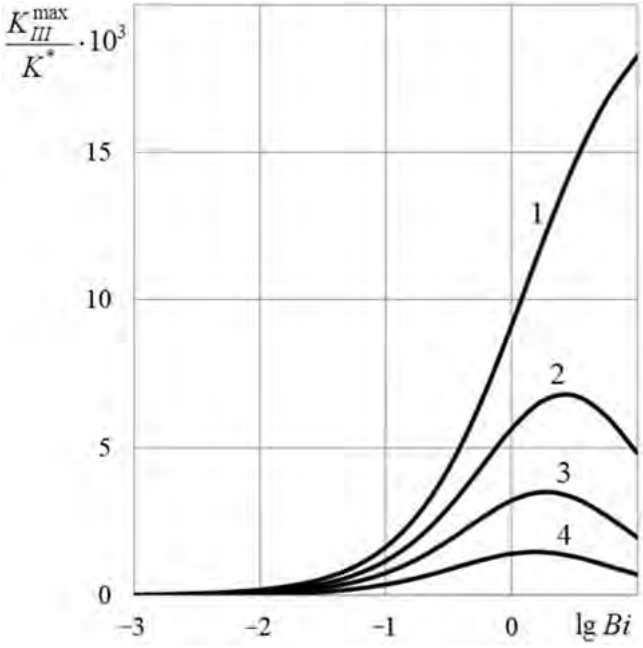


Рис. 2

На линии разреза (1) длины $2h$ $(l = 1)$ основное температурное поле предполагалось таким, что действует лишь однородный тепловой поток, т. е.

$$\left.\frac{\partial T_0^o}{\partial x_2}\right|_{x_2=0} = q = \text{const} \neq 0, \quad \left.\frac{\partial T_1^o}{\partial x_2}\right|_{x_2=0} = 0 \quad (|x_1| \leq 1).$$

Значения КИН на рис. 1, 2 даны в отношении к величине $K^* = 0,25\,\alpha q l \sqrt{l} E \sqrt{h}$, где α – температурный коэффициент линейного расширения.

Из рис. 1, 2 видно, что при действии однородного потока тепла с увеличением параметра теплообмена Bi^- при постоянном Bi^+ максимальные по модулю значения КИН для поперечного и продольного сдвига убывают.

1. Кит Г. С. Плоские задачи термоупругости для тел с трещинами / Г. С. Кит, М. Г. Кривцун. – К. : Наук. думка, 1984. – 280 с.
2. Панасюк В. В. Распределение напряжений около трещин в пластинах и оболочках / В. В. Панасюк, М. П. Саврук, А. П. Дацышин. – К. : Наук. думка, 1976. – 444 с.
3. Пелех Б. Л. Слоистые анизотропные пластины и оболочки с концентраторами напряжений / Б. Л. Пелех, В. А. Лазько. – К. : Наук. думка, 1982. – 296 с.
4. Хижняк В. К. Смешанные задачи теории пластин и оболочек : учеб. пособие // В. К. Хижняк, В. П. Шевченко. – Донецк : ДонГУ, 1980. – 128 с.
5. Шевченко В. П. Задачи термоупругости тонких оболочек с разрезами : учеб. пособие / В. П. Шевченко, А. С. Гольцев. – К. : УМК ВО, 1988. – 84 с.

УДК 539.3

НАПРЯЖЕНИЯ В ТРАНСВЕРСАЛЬНО-ИЗОТРОПНОЙ СФЕРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКЕ С ЖЁСТКИМ КРУГОВЫМ ВКЛЮЧЕНИЕМ, НАГРУЖЕННЫМ УСИЛИЯМИ ИЛИ МОМЕНТОМ

Закора С.В.[1], Чехов В.Н.[2]
[1] ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк,
[2]Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского
zakora41@yandex.ua

Рассмотрим пологую трансверсально-изотропную сферическую оболочку с круговым недеформируемым включением. Предполагаем, что жёсткая шайба может быть нагружена поперечным усилием, составляющая главного вектора которого F_Z, или сдвигающим усилием F_X, или моментом, компонента главного момента которого B_Y.

Для решения задачи применялась система однородных разрешающих дифференциальных уравнений технической теории, учитывающей деформации поперечного сдвига [1, 2]:

$$\nabla^2\nabla^2 U - \nabla^2 w = 0; \quad \nabla^2\nabla^2 w + \nabla^2 U = 0; \quad (1-\nu)\delta\nabla^2\chi - \chi = 0. \quad (1)$$

Здесь U, w, χ – искомые функции усилий, прогиба и поперечного сдвига; ν – коэффициент Пуассона, ∇^2 – оператор Лапласа, где $\rho = \frac{r}{\sqrt{cR}}$ – безразмерный радиус – вектор, $r \cdot e^{i\theta} = x + iy$; $\delta = \frac{Ehc}{2KR}$ – относительный безразмерный параметр податливости поперечным сдвигам, где $K = \mu G_1 h$, $c = h\big/\sqrt{12(1-\nu^2)}$, E – модуль Юнга, G_1 – модуль трансверсального сдвига, $\mu = 5/6$ – коэффициент сдвига, R – радиус срединной поверхности оболочки, h – толщина оболочки.

Решения системы дифференциальных уравнений (1) определим с помощью цилиндрической, полигармонической и аналитической частей:

$$U = U_c + i\frac{R}{2}U_a \qquad w = w_c + \frac{R}{2}w_p.$$

Аналитическая часть U_a согласно [1] имеет вид:

$$U_a(r,\theta) = (\alpha_1 + \bar{\alpha}_2)\left[(1+2\ln r)r\cos\theta - 2r\sin\theta\right] + (\beta_1 + \bar{\beta}_2)(1+\ln r) + (\gamma_1 + \bar{\gamma}_2)\frac{1}{r}\cos\theta.$$

При этом согласно [1] необходимо выполнить условия однозначности комплексных смещений:

$$\alpha_1 = -\alpha_2, \quad \beta_1 = -\beta_2, \quad \gamma_1 + \gamma_2 = 4icR(1+\nu)\bar{\alpha}_1 \quad \gamma_1 + \gamma_2 = -4icR(1+\nu)\bar{\alpha}_1. \quad (2)$$

Главный вектор и главный момент внешних усилий, приложенных к жёсткой шайбе, определяются согласно [1]:

$$F_X = 2\pi EhcR\,\mathrm{Im}(\alpha_1 - \alpha_2), \quad F_Y = 2\pi EhcR\,\mathrm{Re}(\alpha_1 - \alpha_2),$$
$$F_Z = \pi Ehc\,\mathrm{Im}(\beta_1 - \beta_2), \quad (3)$$

$$B_Z = -\pi EhcR\,\mathrm{Re}(\beta_1 - \beta_2)\,,\;\; B_X = \pi Ehc\,\mathrm{Re}\left[\left(\gamma_1 - \gamma_2\right) + 2icR\left(1-\nu\right)(\alpha_1 + \alpha_2)\right],\quad (4)$$

$$B_Y = \pi Ehc\,\mathrm{Im}\left[\left(\gamma_1 - \gamma_2\right) - 2icR\left(1-\nu\right)(\alpha_1 + \alpha_2)\right],\quad (5)$$

Комплексные неизвестные постоянные α_j, β_j, γ_j $(j=\overline{1,2})$ определяются из системы уравнений (2)–(5) при заданных значениях соответствующих компонент.

Цилиндрические части решения, убывающие по абсолютной величине при удалении от Γ_1 запишем в виде:

$$U_c = iaK_n(\sigma\rho)\cos\left(n\theta\right),\quad w_c = iU_c;\quad \chi = M\cdot K_n(\lambda\rho)\sin\left(n\theta\right)\quad .$$

Полигармоническую часть запишем в виде

$$w_p = nF\cos\left(n\theta\right)/r\,.$$

Здесь $K_n(z)$ – цилиндрические функции Макдональда; $\sigma = \sqrt{i}$, $n=\overline{0,1}$ – номер гармоники, $\lambda = 1\Big/\sqrt{\left(1-\nu\right)\delta}$; $a = A + iB$, где $A,\ B$, M, F – вещественные постоянные.

Для варианта нагружения усилием F_z $n=0$. На границе Γ_1 ставились краевые условия

$$\varepsilon_{\tau\tau}\Big|_{\Gamma_1} = 0,\;\; \kappa_{\tau\tau}\Big|_{\Gamma_1} = 0\,.\quad (6)$$

Для вариантов нагружения усилием F_X или моментом B_Y $n=1$. На границе Γ_1 ставились краевые условия

$$\varepsilon_{\tau\tau}\Big|_{\Gamma_1} = 0,\;\; \kappa_{\tau\tau}\Big|_{\Gamma_1} = 0\;,\qquad \kappa_{n\tau}\Big|_{\Gamma_1} = 0,\;\kappa_{\tau\nu}\Big|_{\Gamma_1} = 0\,.\quad (7)$$

Выражения для деформационных краевых величин имеют вид [3]:

$$Eh\varepsilon_{\tau\tau} = T_\theta - \nu T_\rho;,\qquad \frac{Eh^2}{2}\kappa_{\tau\tau} = \frac{6}{h}\left(G_\theta - \nu G_\rho\right) - \frac{\delta\sqrt{3-3\nu^2}}{\rho}\sqrt{\frac{R}{c}}Q_\rho,\quad (8)$$

$$\frac{Eh^2}{2}\kappa_{\tau\nu} = \frac{6\left(1+\nu\right)}{h}H_{r\theta} - \delta\sqrt{3-3\nu^2}\sqrt{\frac{R}{c}}\frac{dQ_\theta}{d\rho},\quad Eh\kappa_{n\tau} = \frac{dT}{dr} - \left(1+\nu\right)\frac{1}{r}\frac{dS_{\rho\theta}}{d\theta} - \delta\sqrt{\frac{R}{c}}Q_\rho\,.$$

Выражения для усилий и моментов, вошедших в (8),по аналогии с [3] имеют вид:

$$T_\theta = \frac{Eh}{R}\mathrm{Re}\frac{\partial^2 U}{\partial\rho^2}\;,\;\; T_r = \frac{Eh}{R}\mathrm{Re}\,\nabla^2 U - T_\theta,\;\; Q_r = \frac{Eh}{R}\sqrt{\frac{c}{R}}\mathrm{Re}\left(\frac{1}{\rho}\frac{\partial\chi}{\partial\theta} - \frac{\partial}{\partial\rho}\nabla^2 g\right),$$

$$T = T_r + T_\theta;\quad G_r = \frac{Eh}{R}c\,\mathrm{Re}\left[\frac{2}{\lambda^2}\frac{\partial}{\partial\rho}\left(\frac{1}{\rho}\frac{\partial\chi}{\partial\theta}\right) - \frac{\partial^2 g}{\partial\rho^2} - \nu\left(\frac{1}{\rho}\frac{\partial g}{\partial\rho} + \frac{1}{\rho^2}\frac{\partial^2 g}{\partial\theta^2}\right)\right],$$

$$G_\theta = -\frac{Eh}{R}\left(1+\nu\right)c\,\mathrm{Re}\,\nabla^2 g - G_r\,,\quad S_{r\theta} = -\frac{Eh}{R}\mathrm{Re}\frac{\partial}{\partial\rho}\left(\frac{1}{\rho}\frac{\partial U}{\partial\theta}\right),$$

$$H_{r\theta} = \frac{Eh}{R}\left(1-\nu\right)c\,\mathrm{Re}\left[\delta\left(\nabla^2\chi - 2\frac{\partial^2\chi}{\partial\rho^2}\right) - \frac{\partial}{\partial\rho}\left(\frac{1}{\rho}\frac{\partial g}{\partial\theta}\right)\right],\quad (9)$$

где $g = w + 2\delta\nabla^2 w - 4\delta^2\nabla^2 U$.

Подставляя усилия и моменты (9) с учётом (8) в краевые условия (6) или (7) и приравнивая члены при одинаковых гармониках, получаем систему

линейных алгебраических уравнений относительно неизвестных вещественных постоянных A, B, F, M.

После решения системы были найдены безразмерные коэффициенты концентрации мембранных, изгибных и касательных напряжений, а затем вычислены относительные эквивалентные напряжения по энергетической теории прочности [1,3] на наружной поверхности оболочки k_{eq}^{Ext} и на внутренней k_{eq}^{Int}

Численные исследования были проведены для трансверсально - изотропной сферической оболочки с коэффициентом Пуассона $\nu = 0.3$ при различных значениях радиуса жёсткой шайбы ρ_0 в зависимости от параметра сдвига δ для вариантов нагружения усилиями F_Z, F_X или моментом B_Y.

На рис. 1, 2 для варианта нагружения $F_Z = -F_Z^0$ и $F_X = F_X^0$ приведены графики напряжений k_{eq}^{Ext} и k_{eq}^{Int}, отнесенных к $d = \dfrac{F_Z^0}{\pi c \cdot 10}$ и $d = \dfrac{F_X^0}{\pi\sqrt{Rc}\cdot 10}$.

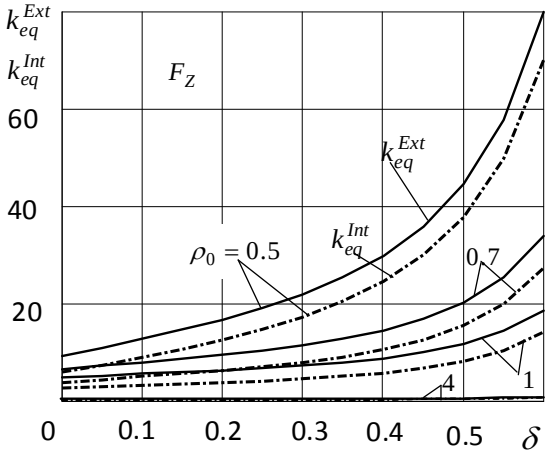


Рис. 1

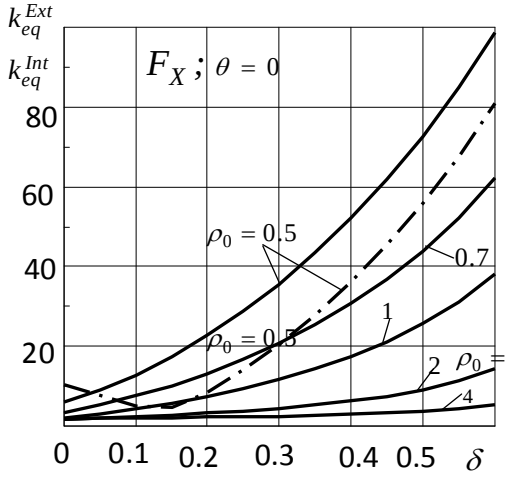


Рис. 2

В результате численных исследований выявлено значительное увеличение напряжений в оболочке при увеличении параметра поперечного сдвига материала оболочки δ и уменьшении радиуса жёсткой шайбы ρ_0.

1. *Гузь А.Н., Чернышенко И.С., Чехов Вал.Н., Чехов Вик.Н., Шнеренко К.И.* Теория тонких оболочек, ослабленных отверстиями. – К.: Наук. думка, 1980. – 636 с. – (Методы расчета оболочек: в 5 т.; Т. 1.)
2. *Пелех Б.Л.* Теория оболочек с конечной сдвиговой жёсткостью.– К.: Наук. думка, 1973. – 248 с.
3. *Chekhov V.N., Zakora S.V.* Stress concentration in a transversely isotropic spherical shell with two circular rigid inclusions // Int. Appl. Mech. – 2011. – Vol. 47, № 4 – P. 441-448.

УДК 539.3

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЙ ДИНАМИКИ ТОНКИХ ПЛАСТИН И ОБОЛОЧЕК И ИХ ПРИЛОЖЕНИЯ

Нагорная Р.М., Цванг В.А.
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк
vatsvang@gmail.com

Фундаментальные решения служат аппаратом для решения начально-краевых задач теории тонких пластин и оболочек, а также представляют самостоятельный интерес как решения задач о действии локальных нагрузок на них.

Разработка эффективных методов построения фундаментальных решений уравнений динамики тонких пластин и оболочек и решение на этой основе класса задач о действии локальных динамических нагрузок на тонкие пластины и пологие оболочки обусловлены созданием новых элементов конструкций, работающих в сложных динамических режимах, а также необходимостью совершенствования методов расчета таких конструкций. Проблема построения фундаментальных решений в форме, приемлемой для дальнейшего использования в начально-краевых задачах, исследована недостаточно. Математические трудности их построения связаны с высоким порядком соответствующих дифференциальных уравнений и сложностью их структуры. В имеющихся на настоящее время работах решения представлены в виде кратных интегралов, а результаты относятся к оболочкам частного вида.

Данная работа посвящена разработке аналитического метода построения фундаментальных решений динамической теории тонких пластин и пологих изотропных оболочек произвольной неотрицательной гауссовой кривизны на основе метода интегральных преобразований Фурье и Лапласа.

В качестве исходных используются уравнения классической линейной теории тонких оболочек, основанной на гипотезах Кирхгофа-Лява. В работе рассматриваются задачи о локальных напряженно-деформированных состояниях пластин и оболочек, существенных лишь в некоторой малой зоне и быстро убывающих по мере удаления от нее, для малых моментов времени, а также при условии удаленности границ оболочки от зоны приложения нагрузки.

Разработана оригинальная методика обращения интегральных преобразований Фурье и Лапласа, позволяющая получать фундаментальные решения в замкнутом виде и основанная на введении новой специальной функции гипергеометрического типа $G^{\gamma}_{\nu,\mu}(z)$.

Дано определение и изучены свойства вновь введенной специальной функции $G^{\gamma}_{\nu,\mu}(z)$, показана ее связь с известными гипергеометрическими

функциями и функцией Мейера. Выведен ряд формул для функции $G^{\gamma}_{\nu,\mu}(z)$, в частности: интегральное представление и представление в виде ряда, дающие возможность ее вычисления, формулы дифференцирования и квадратурные формулы, дающие аппарат для действий с ней. Вычислена асимптотика этой функции на бесконечности.

Фундаментальные решения представлены в виде рядов по вновь введенной специальной функции. Знание свойств функции $G^{\gamma}_{\nu,\mu}(z)$ позволяет вычислить асимптотики фундаментальных решений для начальных моментов времени, в начале координат и на бесконечности.

Полученные формулы для компонент тензора фундаментальных решений, а также их асимптотические представления использованы для проведения численного исследования начальной реакции тонкой пластины и пологой изотропной оболочки произвольной неотрицательной гауссовой кривизны на действие сосредоточенных динамических нагрузок.

Аналитические и численные исследования показали, что для задач о сосредоточенных воздействиях характерна локальность напряженно-деформированного состояния и несимметрия его относительно точки приложения нагрузки. Отмечено влияние параметра отношения кривизн оболочки, как на величину, так и на характер концентрирования напряжений для каждого момента времени вблизи точки нагружения и несущественность его с удалением от точки приложения нагрузки. Напротив, в начальные моменты времени влияние параметра отношения кривизн несущественно, а с течением времени "эффект" кривизны усиливается, и влияние параметра принимает сложный характер.

Указаны интервалы возможного применения для инженерных расчетов асимптотических формул первого приближения.

Важнейшим приложением фундаментальных решений является их использование в задачах о действии нагрузок, распределенных по областям произвольного вида. Полученные фундаментальные решения представлены в форме, удобной для использования в таких задачах. В качестве примера получено в замкнутом виде решение задачи о действии на тонкую пластину и оболочку динамической нагрузки степенного вида, распределенной по малой круговой площадке. Проведены численные исследования для этой задачи.

Полученные фундаментальные решения представлены в виде, удобном для интегрирования по временной координате, что делает возможным построение решения задачи о действии на тонкую пластину и оболочку импульсной динамической нагрузки. Проведены численные исследования для этой задачи.

Сравнение полученных численных результатов с известными для частных случаев демонстрирует эффективность предлагаемых алгоритмов и возможность их применения в инженерной практике.

УДК 519.21

О ВЕРОЯТНОСТИ РАЗОРЕНИЯ В МОДЕЛИ СТРАХОВАНИЯ С УЧЕТОМ ИНВЕСТИРОВАНИЯ КАПИТАЛА В РИСКОВЫЕ И БЕЗРИСКОВЫЕ АКТИВЫ

Бондарев Б.В.[1], Жмыхова Т.В.[2]
[1] ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк,
[2]Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, г. Макеевка
bondarev.mart@gmail.com

Пусть задан финансовый (B,S)-рынок, цена рискового актива (S) удовлетворяет уравнению:

$$\Delta S_n = \rho_n S_{n-1}, S_0 > 0, \tag{1}$$

здесь $\{\rho_n\}_{n\le N}$ – бернуллиевская последовательность независимых одинаково распределенных случайных величин (п.н.о.р.с.в.), таких что

$$\rho_n = \begin{cases} b, \text{ с вероятностью } p, \\ a, \text{с вероятностью} 1-p. \end{cases}$$

Цена безрискового актива B удовлетворяет уравнению:

$$\Delta B_n = rB_{n-1}, B_0 > 0. \tag{2}$$

Причем потребуем выполнения условия, обеспечивающего положительность цены акции $-1 < a < r < b.$

Вопросам оценки риска разорения СК посвящено большое количество работ. Однако особый интерес вызывают работы, в которых оценивается риск разорения СК, выбирающей стратегию инвестирования свободного капитала на финансовый рынок, поскольку именно таким образом СК имеет возможность увеличить свой капитал, который станет достаточным для ведения основной деятельности, компенсируя в случае необходимости недостаточность собираемых премий.

В рассмотренных ранее моделях с дискретным временем были решены задачи: а именно в [1] вероятность разорения на бесконечном интервале времени рассматривалась как предел вероятностей на конечных интервалах, связанных между собой рекуррентным интегральным соотношением и вычисление этого предела производилось достаточно громоздким способом. В [2] задача нахождения вероятности разорения СК на бесконечном интервале времени в предположении, что резерв хранится только на банковском счету при фиксированной процентной ставке, была сведена к сингулярной задаче Коши (ЗК) для обыкновенного дифференциального уравнения (ОДУ) с отклоняющимся аргументом, в случае экспоненциально распределенных размеров исков. В [3] рассмотрена аналогичная модель однако в предположении, что размеры исков имеют гамма-распределение

с параметрами $n(n \in N)$ и $\beta(\beta > 0)$, и задача была сведена к решению ОДУ с отклоняющимся аргументом, причем решение было найдено в явном виде.

В данной работе рассмотрена модель функционирования страховой компании (СК), работающей на финансовом (B,S)-рынке, цены на котором удовлетворяют (1) и (2) и выбирающая стратегию инвестиций с постоянной долей рискового актива (α), процесс изменения капитала СК для этой модели имеет вид [1, с. 69.]:

$$X_{n+1} = X_n(1 + r + \alpha(\rho_{n+1} - r)) + c - Z_{n+1}, \tag{3}$$

где c – суммарная страховая сумма, Z_{n+1} – страховая выплата, производимая СК в момент времени $n+1$, $\{Z_i\}_{i=1,2..}$ – п.н.о.р.н.с.в., причем $F_z(y) = P\{Z_i \le y\}$.

Если процесс изменения капитала СК имеет вид (3), то в случае бесконечного времени интегральное уравнение для вероятности разорения СК имеет вид:

$$\begin{aligned}\psi(x) &= 1 - pF_z(xd_1 + c) - qF_z(xd_2 + c) + \\ &+ p\int_0^{xd_1+c} \psi(xd_1 + c - y)dF_z(y) + q\int_0^{xd_2+c} \psi(xd_2 + c - y)dF_z(y),\end{aligned} \tag{4}$$

здесь и далее $d_1 = 1 + r + \alpha(b - r), d_2 = 1 + r + \alpha(a - r)$.

Замечание. Уравнение (4) было выведено из рекуррентного соотношения из [1, с.69.].

Теорема. Пусть размеры исков имеют экспоненциальное распределение с параметром $\beta(\beta > 0)$, процесс изменения капитала СК имеет вид (3), тогда вероятность разорения страховой компании в случае бесконечного времени является решением уравнения:

$$\begin{aligned}\psi''(x) &= p\beta d_1^2\psi'(xd_1 + c) + q\beta d_2^2\psi'(xd_2 + c) - \beta(d_1 + d_2)\psi'(x) + \\ &+ p\beta^2 d_1 d_2\psi(xd_1 + c) + q\beta^2 d_1 d_2\psi(xd_2 + c) - \beta^2 d_1 d_2\psi(x).\end{aligned} \tag{5}$$

1. *Мельников А.В.* Риск-менеджмент. Стохастический анализ рисков в экономике финансов и страхования. – М.:АНКИЛ, 2003.
2. *Белкина Т.А., Конюхова Н.Б.* О вероятности разорения в модели страхования с учетом инвестирования капитала в безрисковый актив // Анализ и моделирование экономических процессов. Сборник статей под ред. В.З.Беленького. – 2010. – Вып. 7. – С. 113-122.
3. *Бондарев Б.В., Жмыхова Т.В.* Нахождение вероятности разорения для одной модели страховой компании. — Український математичний журнал. – 2007. – Т. 59, № 4. – С. 447- 457.

УДК 519.21

НЕКОТОРЫЕ ЗАДАЧИ ДЛЯ СЛУЧАЙНЫХ ПОЛЕЙ

Бондарев Б.В., Курилина Ю.О.

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк

netakayainesamaya@gmail.com

Обобщением понятия винеровского процесса на случай двумерной области определения является винеровское поле, которое представляет собой

гауссовское центрированное случайное поле с корреляционной функцией

$$K(s_1,s_2,t_1,t_2)=\min(s_1,s_2)\min(t_1,t_2),\ (s,t)\in\mathbb{R}_+^2.$$

Винеровское поле обладает следующими свойствами:

а) $W(0,t)=W(0,t)=W(s,0)\equiv 0;$

б) $\forall(s,t)\in\mathbb{R}_+^2,\forall(\Delta s,\Delta t)\in\mathbb{R}_+^2$ приращения винеровского поля $\Delta W=W(s+\Delta s,t+\Delta t)-W(s+\Delta s,t)-W(s,t+\Delta t)+W(s,t)$ по непересекающимся прямоугольникам со сторонами, параллельными координатным осям – случайные величины, независимые в совокупности;

в) приращения винеровского поля ΔW имеют нормальное распределение с параметрами $(0,\Delta s\Delta t)$.

Требуется построить оценку

$$P\left\{\frac{1}{TS}\int_0^T\int_0^S w^2(u,v)dudv\le\varepsilon\right\}\le F(\varepsilon)\to 0,\varepsilon\to 0.$$

Оценки такого вида используются при построении доверительных интервалов для неизвестных параметров, входящих в снос стохастического дифференциального уравнения.

Далее получено разложение

$$\int_0^T\int_0^S \min(t.u)\min(s.v)\cdot\varphi_{l,j}^{T.S}(u,v)dudv=\lambda_{l,j}^{T,S}\cdot\varphi_{l,j}^{T.S}(t,s),\varphi_{l,j}^{T,S}(t,s),$$

которое является ортонормированной системой функций такой, что

$$\int_0^T\int_0^S \varphi_{k,j}^{T,S}(t,s)\varphi_{l,i}^{T,S}(t,s)\,dtds=\begin{cases}1,k=l,\ j=i;\\ 0,k\ne l,\ j=i,k=l,\ j\ne i,k\ne l,\ j\ne i.\end{cases}$$

Собственные числа $\lambda_{i,j}^{T,S}$ и собственные функции $\varphi_{i,j}^{T.S}(t,s)$ найдены в явном виде. Тогда

$$w(t,s)=\sum_{k=0}^{+\infty}\sum_{n=0}^{+\infty}\varphi_{k,n}^{T,S}(t,s)\sqrt{\lambda_{k,n}}\xi_{k,n},\xi_{k,n}\sim N(0,1),$$

$$M\xi_{k,n}\xi_{i,j}=\begin{cases}1,k=i,n=j;\\ 0,k\ne i,n=j;k=i,n\ne j;k\ne i,n\ne j.\end{cases}$$

$$P\left\{\frac{1}{TS}\int_0^T\int_0^S w^2(u,v)dudv\le\varepsilon\right\}=P\left\{\int_0^T\int_0^S w^2(u,v)dudv\le\varepsilon TS\right\}=$$

$$=P\left\{\sum_{k=1}^{+\infty}\sum_{j=1}^{+\infty}\lambda_{k,j}\xi_{k,j}^2\le\varepsilon TS\right\}.$$

Дальнейшие действия проводятся по аналогии с работами [4–9].

1. Гихман И.И. Двупараметрические мартингалы / И.И. Гихман // Успехи математических наук. – 1982. – Т. 37, №6 (228). – С. 3-28.
2. Кнопов П.С., Дериева Е.Н. Стохастические многопараметрические дифференциальные уравнения. Задачи оценивания и управления. – Киев, 2007. – 222 с.

3. Кравченко А.В. Об оценке неизвестных параметров в процессе Орнштейна-Уленбека со скачками / Кравченко А.В. // Прикладна статистика. Актуарна та фінансова математика. – 2009. – Вип. № 1-2. – С. 93-103.
4. Пусев Р.С. Асимптотика вероятностей малых уклонений гауссовских процессов в гильбертовой норме: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. физ.-мат. наук (01.01.05) / Р.С. Пусев. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет, 2011. – 16 с.
5. Сытая Г.Н. К вопросу об асимптотике винеровской меры малых сфер в равномерной метрике / Г.Н. Сытая // Теория вероятностей и ее применение. – 1981. – Т. 26, № 3. – С. 630-639.
6. Сытая Г.Н. О допустимых сдвигах взвешенных гауссовских мер / Г.Н. Сытая // Теория вероятностей и ее применение. – 1969. – Т. 15, № 3. – С. 527-531.
7. Сытая Г.Н. О некоторых асимптотических представлениях для гауссовской меры в гильбертовом пространстве / Г.Н. Сытая // Теория случайных процессов. – 1974. – № 2. – С. 93-104.
8. Фаталов В.Р. Константы в асимптотиках вероятностей малых уклонений для гауссовских процессов и полей / В.Р. Фаталов // Успехи математических наук. – 2003. – № 4 (352). – С. 101-108.
9. Фаталов В.Р. Метод Лапласа для малых уклонений гауссовских процессов типа винеровского / В.Р. Фаталов // Математический сборник. – 2005. – Т. 196, № 4. – С. 135–160.

УДК 519.21

УСРЕДНЕНИЯ ПРИ БЫСТРЫХ ОСЦИЛЛЯЦИЯХ

Бондарев Б.В., Майорова С.А.
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк
svetlana_mayorova@mail.ua

Во многих областях современной техники широко применяются материалы, имеющие периодическую структуру. Процессы, протекающие в таких материалах, как правило, описываются уравнениями с быстроосциллирующими коэффициентами. Такие задачи возникают в теории упругости и гидродинамике, в теории гетерогенных сред и композитных материалов и других задачах физики и механики.

Данная работа посвящена нахождению экспоненциальных оценок для нормированных флуктуаций решения исходных стохастических задач относительно решений соответствующих детерминированных усредненных задач. Поставлены 2 краевых задачи.

$$\frac{d}{dx}\left(K\left(\frac{x}{\varepsilon}\right)\frac{dU_\varepsilon}{dx}\right)=f(x)+\frac{1}{\sqrt{\varepsilon}}\eta\left(\frac{x}{\varepsilon}\right),\ \mathrm{U}_\varepsilon(0)=U_\varepsilon(1)=0;$$

здесь стационарный в узком смысле процесс $\eta(t)$ такой, что $\frac{1}{\sqrt{\varepsilon}}\eta\left(\frac{x}{\varepsilon}\right)$ является «физическим» белым шумом, а коэффициенты неслучайных операторов – это быстроосциллирующие периодические функции.

$$\frac{d}{dx}\left(K\left(\xi\left(\frac{x}{\varepsilon}\right)\right)\frac{dU_\varepsilon}{dx}\right)=f(x)+\frac{1}{\sqrt{\varepsilon}}\eta\left(\frac{x}{\varepsilon}\right),\ \mathrm{U}_\varepsilon(0)=U_\varepsilon(1)=0;$$

здесь $K(x)$ – случайная функция, стационарный в узком смысле случайный процесс $\eta(t), t\geq 0$ – стационарный процесс Орнштейна-Уленбека, такой, что $\frac{1}{\sqrt{\varepsilon}}\eta\left(\frac{x}{\varepsilon}\right)$ является «физическим» белым шумом, $\xi(t)$ – решение стохастического уравнения с периодическими коэффициентами

$$d\xi(t)=a(\xi(t))dt+\sigma(\xi(t))dW(t),\ \xi(0)=\xi_0.$$

В обеих задачах внешнее воздействие – случайная функция, сложенная с быстроосциллирующим случайным воздействием.

Наряду с данными краевыми задачами рассмотрены на $[0,1]$ соответствующие «усредненные» краевые задачи.

$$\bar{k}\frac{d^2U_0}{dx^2}=f(x),\ U_0(0)=U_0(1)=0,$$

где

$$\bar{k}=\left(\int_0^1\frac{dt}{K(t)}\right)^{-1}.$$

Соответствующей «усредненной» задачей для второй краевой задачи является следующая задача:

$$\bar{k}\frac{d^2U_0}{dx^2}=f(x), U_0(0)=U_0(1)=0,$$

где

$$\bar{k}=\left(\int_0^1\frac{\rho(x)}{K(x)}dx\right)^{-1}.$$

Коэффициенты в «усредненных» задачах рассчитываются при помощи коэффициентов в исходных краевых задачах.

Показано, что при выполнении некоторых условий классическое решение первой краевой задачи $U_\varepsilon(x)$ близко к

$$U_\varepsilon^2(x)=U_0(x)+\varepsilon N\left(\frac{x}{\varepsilon}\right)\frac{dU_0}{dx}+\frac{1}{\bar{k}}\int_0^x W_\varepsilon(t)dt,$$

где

$$N(x)=\int_0^x\left(\frac{\bar{k}}{K(y)}-1\right)dy,$$

а $U_0(x)$ – классическое решение соответствующей «усредненной» задачи, которое определяется формулой:

$$U_0(x)=\frac{x}{\bar{k}}\int_0^x(1-y)f(y)dy+\frac{1-x}{\bar{k}}\int_x^1(1-y)f(y)dy.$$

Также показано, что при выполнении некоторых условий классическое решение второй краевой задачи $U_\varepsilon(x)$ близко к

$$U_\varepsilon^2(x) = U_0(x) + \varepsilon N\left(\frac{x}{\varepsilon}\right)\left[\frac{dU_0}{dx} - \frac{1}{\bar{k}}\int_0^1 (1-y)\, f(y)\, dy\right] + D\int_0^x W_\varepsilon(t)dt,$$

где

$$N(x) = \int_0^x \left(\frac{\bar{k}}{K(\xi(t))} - 1\right) dt,$$

а $U_0(x)$ – классическое решение соответствующей «усредненной» задачи, которое определяется формулой:

$$U_0(x) = \frac{x}{\bar{k}}\int_0^x (1-y)\, f(y)\, dy + \frac{1-x}{\bar{k}}\int_x^1 (1-y)\, f(y)\, dy.$$

1. Bensoussan A. Asymptotic analysis of periodic structures / A. Bensoussan, J.-L. Lions, G. Papanicolaou. – North-Holland Publishing Company. – 1978. – 700 p.
2. Бахвалов Н.С., Панасенко Г.П. Усреднение процессов в периодических средах / Н.С. Бахвалов, Г.П. Панасенко. – М.: Наука, 1984. – 352 с.
3. Бондарев Б.В. Об усреднении в периодических средах при слабозависимых случайных взаимодействиях. I // Теория вероятностей и мат. статистика. – 1991. – № 45. – С. 12-20.
4. Хасьминский Р.З. Устойчивость систем дифференциальных уравнений при случайных возмущениях их параметров / Р.З. Хасьминский. – М.: Наука, 1969. – 367 с.
5. Гихман И.И. Стохастические дифференциальные уравнения и их приложения / И.И. Гихман, А.В. Скороход. – К.: Наукова Думка. – 1982. – 612 с.
6. Бондарев Б.В. Об усреднении стохастических систем при слабо зависимых возмущениях / Б.В. Бондарев // Укр. мат. журнал. – 1990 – Т. 42, № 5. – С. 593-600.
7. Бондарев Б.В. К вопросу о скорости сходимости в принципе усреднения / Б.В. Бондарев // Теория случайных процессов. – 1980. – Вып. 8. – С. 35-41.
8. Бондарев Б.В. Оценка скорости сходимости решения СДУ с периодическими коэффициентами к эргодическому распределению / Б.В. Бондарев, О.С. Сенаторов, Д.И. Романов // Прикладна статистика. Актуарна та фінансовая математика. – 2013. – № 1-2. – С. 75-88.
9. Бродский Я.С. Флуктуации в схеме усреднения для дифференциальных уравнений со случайной правой частью / Я.С. Бродский, Б.Я. Лукачер // Теория случайных процессов. – 1984. – Вып. 12 – С. 8-17.
10. Веретенников А.Ю. Исследование принципа усреднения, скорости перемешивания и больших уклонений для решений стохастических дифференциальных уравнений. Автореферат дисс. док. физ-мат. наук, 01.01.05 / А.Ю. Веретенников – МИ АН СССР им. В.А.Стеклова, 1989. – 25 с.
11. Фрейдлин М.И. Задача Дирихле для уравнения с периодическими коэффициентами, зависящими от малого параметра / М.И. Фрейдлин // Теория вероятностей и её применения. – 1964. – Т. 9, № 1. – С. 133-139.

УДК 519.21

О НЕКОТОРЫХ СТАТИСТИЧЕСКИХ КРИТЕРИЯХ

Бондарев Б.В., Пола А.В.
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк
naisy93@mail.ru

Работа посвящена проверке гипотез относительно распределения выплат страховой компании, работающей на (B, S)-рынке. Предполагается, что выплаты происходят в случайные моменты времени, промежутки между выплатами независимы и описываются показательным законом распределения с параметром λ, т. е. суммарное число выплат описывается процессом Пуассона. Рассматривается 3 случая:

1) Гипотеза относительно $F(x)$ полностью определена, т. е. отсутствуют неизвестные параметры. По случайному числу $Z(T)$ случайных наблюдений $\eta_1, \eta_2, \ldots, \eta_{Z(T)}$, где η_i – величины выплат, $i = 1, \ldots, Z(T)$, проверяется гипотеза о том, что функция распределения выплаты совпадает с функцией $F(x)$.

2) Функция распределения выплат принадлежит некоторому параметрическому множеству $F(x, \theta_0), \theta_0 \in Q$ (семейству распределений, где есть неизвестный параметр). По наблюдениям $\eta_1, \eta_2, \ldots, \eta_{2n}$, $2n \le T$, проверяется гипотеза о том, что распределение выплаты принадлежит некоторому параметрическому семейству. Для решения этой задачи мы используем метод Дурбина, согласно которому, неизвестный параметр θ_0 оценивается по половине выборки, т. е. получим оценку максимального правдоподобия θ_n, а эмпирическая функция распределения строится по всей выборке.

3) Функция распределения выплат $F(x, \theta_0), \theta_0 \in Q$ принадлежит семейству распределений, где есть неизвестный параметр, число наблюдений ν_n – пуассоновская случайная величина с параметром λ. Требуется проверить, что предельное распределение не будет зависеть от параметра и будет совпадать с классическим. Пользуемся аналогом метода Дурбина, т.е. строим оценку максимального правдоподобия $\hat{\theta}_{\nu_n/2}$, полученную по половинке выборки. Требуется показать, что в пределе останется классическая статистика Каца. Предполагается найти оценку скорости сходимости в задаче Дж. Дурбина, а также решить аналогичную задачу для статистики Каца.

Для проверки гипотезы относительно распределения выплат страховой компании использована статистика Каца: $K(T) = \sup\limits_{0 \le t \le 1} \left| \dfrac{Z(Tt) - t\lambda T}{\sqrt{\lambda T}} \right|$. Для распределения модуля статистики Каца получены оценки сверху и снизу.

1. Борисов И.С. О скорости сходимости в «условном» принципе инвариантности / И.С. Борисов // Теория вероятностей и её применения. – 1978. – Т.23. – Вып. 1. – С. 67-79.
2. Ибрагимов И.А., Хасьминский Р.З. Асимптотическая теория оценивания / И.А. Ибрагимов, Р.З. Хасьминский – М.: Наука. – Главная редакция физико-математической литературы. – 1979. – 528 с.
3. Королюк В.С., Боровских Ю.В. Аналитические проблемы асимптотики вероятностных распределений. / В.С. Королюк, Ю.В. Боровских – Киев: Наукова думка. – 1981. – 240 с.
4. Саханенко А.И. О точности нормальной аппроксимации в принципе инвариантности. / А.И. Саханенко // Труды. Ин-та математики СО АН СССР. – 1989. – Т.13. – С. 40-66.
5. Саханенко А.И. Оценки в принципе инвариантности. / А.И.Саханенко // Труды. Ин-та математики СО АН СССР. – 1985. – Т.5. – С. 27-44.
6. Саханенко А.И. Скорость сходимости в принципе инвариантности для разнораспределённых величин с экспоненциальными моментами. / А.И. Саханенко // Труды. Ин-та математики СО АН СССР. – 1984. – Т.3. – С. 4-49.
7. Такач Л. Комбинаторные методы в теории случайных процессов. / Л. Такач – М.: Мир. – 1971. – 273 с.
8. Durbin J. Distribution Theory for Tests based on the Sample Distribution Function. / J. Durbin. – Philadelphia: Society of Industrial and Applied Mathematics. – 1973b. – 290 p.
9. Durbin J. // Kolmogorov-Smirnov tests when parameters are estimated with applications to tests of exponentiality and tests on spacings. Biometrika. – 1965b. – P. 5-22.
10. Durbin J. Weak convergence of the sample distribution function when parameters are estimated / J. Durbin. //Ann. Statist. – 1973a. – P. 279-290.
11. Kac M. On the distributions of certain Wiener functionals / M. Kac –1949. – P. 1-13.

УДК 519.21

О РАБОТЕ СТРАХОВЫХ КОМПАНИЙ НА (B, S)-РЫНКЕ

Бондарев Б.В., Хмелина М.И.
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк
grad_mariya@mail.ru

Рассмотрим популярную модель Самуэльсона [8]

$$S(t) = S(0)\exp\left\{\left(\mu - \frac{\sigma^2}{2}\right)t + \sigma W(t)\right\}, \qquad (1)$$

которая описывает эволюцию цены рискового актива. В модели (1) «основным» процессом является стандартный винеровский процесс, приращения которого имеют нормальное распределение. Вместе с тем [5] замечено, что на интервалах времени сравнительно до 2–3 недель приращения отличны от нормальных. Первые работы, в которых отмечено это явление, появились ещё в 1915 году. Результаты очень серьёзного статистического анализа, подтверждающего отличие упомянутых распределений от нормального, были опубликованы М. Кендаллом в 1953 году в [7]. Отмеченная ненормальность приращений проявлялась в том, что [5] в действительности наблюдалось заметно больше очень больших и очень маленьких по абсолютной величине приращений, нежели их должно быть в соответствии с нормальным распределением. Стоит отметить, что

подобными свойствами обладают распределения, эксцесс которых положителен.

П. Кларк [6] вместо «основного» винеровского процесса в рисковом активе, описываемым моделью П.Самуэльсона, предложил для описания биржевых цен взять подчиненный винеровский процесс $W\left(Z(t)\right)$, где $W(t)$ – стандартный винеровский процесс, а $Z(t)$ – процесс с неубывающими траекториями, начинающимися в нуле. Если в качестве $Z(t)$ взять процесс Пуассона с параметром λ, независящий от $W(t)$, то величина $W\left(Z(t)\right)$ будет иметь положительный эксцесс. Действительно, γ_2 – коэффициент эксцесса будет равен $\gamma_2 = \dfrac{MW^4\left(Z(t)\right)}{\left[MW^2\left(Z(t)\right)\right]^2} - 3 = \dfrac{3}{\lambda t} > 0$, что означает большую, чем у нормального «островершинность» распределения. Из этого, в частности, следует, что с ростом времени коэффициент эксцесса убывает, а наибольшая «островершинность» наблюдается при малых $t > 0$. Таким образом, предложенная П. Кларком [6] модель эволюции цены рискового актива больше соответствует реальным данным [5], чем модель П. Самуэльсона.

В статьях [2, 3] в качестве модели, описывающей цену акции взята модель

$$\bar{S}(t) = S(0)\exp\left\{\left(\mu - \lambda\left[\sqrt{e} - 1\right]\right)t + W\left(Z(t)\right)\right\}. \qquad (2)$$

Как показано в [2, 3] модель (2) отличается от модели П. Кларка тем, что параметр $\mu > 0$, как и в модели (1), имеет смысл локальной доходности. Вместе с тем и в модели (2) есть одно важное свойство: до некоторого показательно распределённого момента первого скачка в модели (2) отсутствуют случайности, что конечно же не согласуется с действительностью.

В данной работе в качестве математической модели эволюции цены акции будет использована модифицированная модель П. Кларка, а именно, в качестве цены рискового актива рассмотрена видоизмененная модель П. Кларка с добавленной диффузионной частью:

$$P(t) = P(0)\exp\left\{\left(\mu - \lambda\left[\sqrt{e} - 1\right]\right)t + W\left(Z(t)\right) - \frac{\sigma^2}{2}t + \sigma W_1(t)\right\}, \qquad (3)$$

где $P(0)$ – цена акции в нулевой момент времени, $W(t)$ и $W_1(t)$ – винеровские процессы, независимые между собой и от $Z(t)$ (процесса Пуассона с параметром λ). Параметр $\mu > 0$, как и в модели П. Самуэльсона, имеет смысл локальной доходности.

Целью данной работы является изложение нового способа выведения уравнений для вероятности неразорения страховой компании на конечном и бесконечном интервалах времени в случае поступления премий с постоянной скоростью.

Установлено, что эксцесс в модели (3) является положительной величиной: $\gamma_2 = \dfrac{3\lambda}{(\lambda+1)^2 t} \geq 0$, что означает большую, чем у нормального

«островершинность» распределения, а это означает, что больше очень больших и очень маленьких по абсолютной величине приращений, нежели их должно быть в соответствии с нормальным распределением. Последний факт и наблюдается в действительности.

Безарбитражность модели (3) установлена.

Сформулируем теоремы.

Теорема 1. Пусть $f(0)=f'(0)=0,\ f''(x)$ – непрерывна, тогда на конечном промежутке времени $[0,t]$ функционирования страховой компании с эволюцией капитала, заданного уравнением

$$d\xi_x(t)=\xi_x(t)(u\mu-ur+r-u\lambda[\sqrt{e}-1])dt+u\sigma\xi_x(t)dW_1(t)+cdt-$$
$$-\int_0^{+\infty}\alpha\nu_1(d\alpha,dt)+u\xi_x(t)\int_{-\infty}^{+\infty}(e^y-1)\nu(dy,dt), \qquad (4)$$

$\varphi(x,t)$ – вероятность неразорения страховой компании имеет производные $\varphi'_x(x,t)$ и $\varphi''_{xx}(x,t)$ и удовлетворяет интегро-дифференциальному уравнению:

$$(\lambda+\lambda_1)\varphi(x,t)+\frac{\partial\varphi(x,t)}{\partial t}=\frac{1}{2}u^2\sigma^2x^2\frac{\partial^2\varphi(x,t)}{\partial x^2}+[(\mu u+(1-u)r-u\lambda_1[\sqrt{e}-1])x+c]\frac{\partial\varphi(x,t)}{\partial x}+$$
$$+\lambda\int_0^x\varphi(x-y,t)dF(y)+\lambda_1\int_{-\infty}^{+\infty}\varphi(((1-u)+ue^y)z,t)\ 1\big/\sqrt{2\pi}e^{-y^2/2}dy.$$

Теорема 2. Пусть $f(0)=f'(0)=0,\ f''(x)$ – непрерывна, тогда на бесконечном промежутке времени $[0,\infty)$ функционирования страховой компании с эволюцией капитала, заданного уравнением (4), $\varphi(x)$ – вероятность неразорения страховой компании за бесконечное время, имеет производные $\varphi'(x)$ и $\varphi''(x)$ и удовлетворяет интегро-дифференциальному уравнению

$$(\lambda_1+\lambda_2)\varphi(x)=$$
$$=\frac{1}{2}u^2\sigma^2x^2\varphi''(x)+[\left(\mu u+(1-u)r-u\lambda_2\left[\sqrt{e}-1\right]\right)x+c]\varphi'(x)+$$
$$+\lambda_1\int_0^x\varphi(x-y)dF(y)+\lambda_2\int_{-\infty}^{+\infty}\varphi\left(\left((1-u)+ue^y\right)z\right)\frac{1}{\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{y^2}{2}}dy.$$

Выводы. Таким образом, для модели страховой компании с премиями $ct, c>0$ функционирующей на (B,S)-рынке, был предложен метод выведения интегро-дифференциальные уравнения как на конечном, так и на бесконечном интервалах времени.

Особенностью такого способа получения уравнений для вероятности неразорения является то, что на примерах он показывает существование производных вплоть до второго порядка у функции вероятности неразорения.

1. Бондарев Б.В. Стохастическое исчисление в задачах финансовой и актуарной математики. Оценка рисков в страховании: монография / Б.В. Бондарев, О.Е. Сосницкий. – Донецк: ДонНУ, 2013. – 227 с.
2. Бондарев Б.В. Некоторые задачи для модели Кларка. I. Оценка вероятности неразорения страховой компании / Бондарев Б.В., Сосницкий О.Е. // Кибернетика и системный анализ. – 2013. – № 2. – С. 139-149.

3. Бондарев Б.В. Некоторые задачи для модели Кларка. II. Оценка вероятности неразорения страховой компании / Бондарев Б.В., Сосницкий О.Е. // Кибернетика и системный анализ. – 2013. – №5. – С. 99-111
4. Бондарев Б. В. Вывод уравнения для вероятности неразорения страховой компании, работающей на (B,S)-рынке / Б. В. Бондарев, В. О. Болдырева // Кибернетика и системный анализ. – 2014. – Т. 50. – № 5. – С. 113–121.
5. Королев В.Ю. Построение моделей распределений биржевых цен при помощи методов асимптотической теории случайного суммирования. // Обозрение прикладной и промышленной математики. – Т. 4, вып. 1. – 1997. – С. 86-100.
6. Clarc P.K. A Subordinated Stochastic Process Model of Cotton Futures Prices. / P.K. Clarc. – Ph. D. Thesis. Cambridge, Ma.: Harvard University, 1970.
7. Kendal M.G. The analysis of economic time-series. Part 1. Prices / M.G. Kendal // Journal of the Royal Statistical Society. – 1953. – V. 96. – P. 11-25.
8. Samuelson P.A. Rational theory of warrant pricing / P.A. Samuelson // Industrial Management Review. – 1965. – V. 6. – P. 13-31.

УДК 519.21

НЕКОТОРЫЕ МОДЕЛИ РИСКОВЫХ АКТИВОВ

Бондарев Б.В., Щепетнёва А.В.
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк
sasha27021993@yandex.ua

Данная работа посвящена решению задачи об оценке вероятности разорении страховой компании, действующей на (B,S)-рынке $[1,2]$. Цена пакета из b акций (рисковый актив) описывается моделью П.Самуэльсона с параметром:

$$S(\mathrm{t},b)=S(0,b)\exp\left\{\left(\mu b-\frac{b}{2}\right)t+W(\mathrm{t},b)\right\},\ \mu>0, b>0.$$

Задача состоит в нахождении параметрического управления $0<\alpha<1$ (α – доля капитала, который вкладывается в рисковый актив, остаток отправляется на банковский счёт под процентную ставку $0<r<\mu$ такого, при котором можно было бы построить наименьшую оценку сверху для вероятности разорения на интервале $[0,+\infty)$ страховой компании, капитал которой описывается балансовым уравнением :

$$dX_x(t)=(ub\mu+(1-u)r)X_x(t)dt+uX_x(t)dW(t,b)+\int_0^{+\infty}\beta v\ (d\beta,dt)-\int_0^{+\infty}\alpha v_1(d\alpha,dt).$$

Такие значения оптимальной доли вложения в рисковый актив найдены.Оценка сверху строится на основании неравенств для стохастического интеграла по центрированной пуассоновской мере.

В результате получено решение задачи Р. Мертона для соответствующей модели рискового актива, а также были получены неравенства сверху для вероятности разорении страховой компании, работающей на так называемом (B,S)-рынке, то есть тогда, когда страховая

компания имеет возможность вкладывать свободные средства как в безрисковые так и в рисковые активы.

1. Бондарев Б.В. Анализ рисков в страховании / Б.В. Бондарев, В.О. Болдырева. – Донецк: ООО «Східний видавничій дім». – 2014.– С.98-127.
2. Белкина Т.А., Куркина А.О. Динамические модели страхования: различные инвестиционные стратегии и вероятность неразорения / Т.А. Белкина, А.О. Куркина // Сборник докладов участников Российского экономического конгресса. М.: ИЭ РАН. – 2009. – С. 6-22.

УДК 330.43

ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ С ПОМОЩЬЮ ЭКОНОМЕТРИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Гатун А.П., Михненко Е.С.
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк
helen_130494@mail.ru

Теория прогнозирования и планирования отраслевых экономик, таких, как экономика промышленности, транспорта, строительства и др., тесно связана со статистическими методами анализа соответствующих процессов.

Построение экономического прогноза связано с построением качественной эконометрической модели. Многообразие и сложность экономических процессов значительно усложняет процесс построения модели. Основной проблемой построения модели является спецификация.

Данная работа посвящена построению экономического прогноза себестоимости продукции, в качестве данных взяты экономические показатели производственного процесса ООО «Стирол ПАК» по производству полистирола.

При выборе спецификации модели следует в первую очередь руководствоваться экономическим анализом. Модель должна быть максимально простой. Модель может быть признана качественной, если полученные на её основе прогнозы подтверждаются реальностью.

К проблемам спецификации традиционно относят два типа задач. Первый – это выбор структуры уравнения модели. Второй – определение набора объясняющих переменных. Если в уравнении регрессии имеется одна или несколько несущественных переменных, то их можно обнаружить с помощью низкой t-статистики. В дальнейшем, строят новое уравнение, исключая поочередно эти переменные. Затем с помощью F-статистики сравниваем коэффициенты детерминации R_1^2 и R_2^2, а также к скорректированным координатам детерминации очень важно правильно подобрать функциональную форму модели.

По результатам данных затрат на производство полистирова ООО «Стирол ПАК» в течение 25 месяцев была построена эконометрическая модель себестоимости производства полистирола и сделан прогноз на 4 месяца. Все данные представлены в гривнах. Расходы на производство 1 м^3 полистирола рассчитывалось по формуле:

$$\text{Расходы на производство 1 м}^3 = \frac{\text{Факст. расходы}}{\text{количество}}$$

Себестоимость продукции – это выражение в денежной форме затрат на подготовку к производству, изготовлению и сбыту. После тщательного анализа качества эконометрической модели себестоимости производства полистирола было получено уравнение вида:

$$y = -24{,}94 + 0{,}003z_1 + 24{,}468z_3 + 80{,}408z_4 + 4{,}839z_7\ ,$$

где $z_1 = x_1^2$; $z_3 = x_3^{0{,}213}$; $z_4 = x_4^{0{,}137}$; $z_7 = \ln x_7$.

При этом: y – себестоимость продукции; x_1 – расходы на сырьё; x_3 – расходы на теплоэнергию; x_4 – затраты на оплату труда; x_7 – прочие операционные расходы.

На основании коэффициента детерминации можно сделать вывод, что значение себестоимости продукции на 99,25% зависят от расходов на сырьё, теплоэнергию, на оплату труда и прочие операционные расходы. С целью прогнозирования себестоимости полистирола был включен фактор времени t в эконометрическую модель.

Окончательно уравнение регрессии имеет вид:

$$y = -24{,}94 - 0б636t + 0{,}003z_1 + 24{,}47z_3 + 86{,}838z_4 + 6{,}8z_7\ .$$

На основе данной модели был сделан прогноз на 4 месяца двумя методами: точечным и методом экспоненциального сглаживания. Были рассчитаны ошибки прогноза: $U_1 = 0{,}414$ для точечного прогноза и $U_2 = 0{,}217$ для экспоненциального сглаживания. Можно сделать вывод, что прогноз, полученный методом экспоненциального сглаживания более точный, т.к. коэффициент Тейла $U \approx 0$, что свидетельствует о хорошей точности прогноза.

1. Колемаев В.А. Экономико-математические моделирование. Моделирование макроэкономических процессов и систем: учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности 061800 «Математические методы в экономике» / В.А. Колемаев. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2005. – 295 с.
2. Бородич, С. А. Вводный курс эконометрики: Учебное пособие / С.А. Бородич. − Мн.: БГУ, 2000. − 354 с.
3. Доугерти К. Введение в эконометрику: учеб. для экономических специальностей вузов: Пер. с англ. / К. Доугерти. – М.: ИНФРА-М, 2004. – 419 с.
4. Бутакова М.М. Экономическое прогнозирование. Методы и приемы практических расчетов: учебное пособие / М.М. Бутакова. – М.: КНОРУС, 2010. – 168 с.

УДК 519.21

УСРЕДНЕНИЕ СЛУЧАЙНЫХ ФУНКЦИОНАЛОВ ОТ РЕШЕНИЙ СТОХАСТИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ

Грановский Я.И.
ГУ «Институт прикладной математики и механики», г. Донецк
yarvodoley@mail.ru

Рассмотрим функционал, зависящий от малого параметра ε,

$$F^{\varepsilon}(t,\theta,\omega)=\frac{1}{\sqrt{\varepsilon}}\int_0^t c\left(\frac{\xi^{\varepsilon}(s,\omega)}{\varepsilon},\theta\right)ds.$$

Здесь $c(x,\theta)$ – стационарный процесс с перемешиванием, $\xi^{\varepsilon}(s,\omega)$ – решение одномерного стохастического уравнения Ито, заданные на разных вероятностных пространствах. Исследуем сходимость функционала в смысле распределений при стремлении малого параметра к нулю. Выбор такого функционала для исследования обусловлен тем, что через такой функционал выражаются решения задачи Коши и первой граничной задачи для одномерных линейных параболических уравнений в частных производных второго порядка недивергентного вида, коэффициенты которых зависят от малого параметра, и с сингулярно возмущённым случайным коэффициентом при слагаемом нулевого порядка производной неизвестной функции:

$$\frac{\partial u^{\varepsilon}(t,x)}{\partial t}=\frac{a^{\varepsilon}(x)}{2}\frac{\partial^2 u^{\varepsilon}(t,x)}{\partial x^2}+b^{\varepsilon}(x)\frac{\partial u^{\varepsilon}(t,x)}{\partial x}+\frac{1}{\sqrt{\varepsilon}}c\left(\frac{x}{\varepsilon},\theta\right)u^{\varepsilon}(t,x).$$

Аналогичная проблема рассматривалась в работах [1, 2], но методы исследования существенно подстроены под уравнения, в которых оператор, содержащий частные производные, является самосопряжённым в соответствующем функциональном пространстве, т.е. $b^{\varepsilon}(x)=\frac{1}{2}\frac{\partial a^{\varepsilon}(x)}{\partial x}$.

В следующей лемме собраны известные оценки.

Лемма 1. *1. [3]. Для стационарного процесса р.с.п. при* $h>0$,

$$|\mathbb{E}c(x)c(x+h)|\le 2\varphi^{\frac{1}{2}}(h)\mathbb{E}c^2(0).$$

2. [4]. Если для стационарного процесса с.п. при некоторой постоянной $K, |c(x)|\le K$, *то для* $h>0$,

$$|\mathbb{E}c(x)c(x+h)|\le 6K^2\alpha^{\frac{1}{2}}(h).$$

3. [4]. Если для стационарного процесса с.п. при некотором $\delta>0$, $\mathbb{E}|c(0)|^{2+\delta}<\infty$, *то для* $h>0$,

$$|\mathbb{E}c(x)c(x+h)|\le 12\alpha^{\frac{\delta}{2+\delta}}(h)\left[\mathbb{E}c^{2+\delta}(0)\right]^{\frac{2}{2+\delta}}.$$

Пусть процесс $\xi^{\varepsilon}(t)$ является решением стохастического уравнения

$$\xi^{\varepsilon}(t)=x+\int_0^t b^{\varepsilon}\left(\xi^{\varepsilon}(s)\right)ds+\int_0^t \sigma^{\varepsilon}\left(\xi^{\varepsilon}(s)\right)dB^{\varepsilon}(s)\,, x\in\mathbb{R}, t\ge 0.$$

Относительно коэффициентов этого уравнения сделаем следующие предположения, полагая $a^{\varepsilon}(x)=\left(\sigma^{\varepsilon}(x)\right)^2$:

(A1) Существует постоянная $\lambda\ge 1$ такая, что для $x\in\mathbb{R}$,

$$|b^\varepsilon(x)| + a^\varepsilon(x) \le \lambda, \;\; a^\varepsilon(x) \ge \frac{1}{\lambda}.$$

(A2) Существует функция $a(x)$ такая, что для любого $N < \infty$,

$$\lim_{\varepsilon\to 0} \sup_{x\in[-N,N]} |a^\varepsilon(x) - a(x)| = 0.$$

(A3) Существует функция $b(x)$ такая, что для любого $x \in \mathbb{R}$,

$$\lim_{\varepsilon\to 0} \int_0^x b^\varepsilon(y)dy = \int_0^x b(y)dy.$$

(A4) Функция $b(x)$ непрерывна, а функция $a(x)$ имеет ограниченную производную.

Теорема 1. *Пусть выполнено одно из условий леммы 1 и условия* **(A1) -- (A4)**. *Тогда меры, порождённые на пространстве* $\mathbb{C}[0,T]$ *функционалом* $F^\varepsilon(t,\theta,\omega)$, *слабо сходятся к мере, порождённой функционалом*

$$F(t,\theta,\omega) = \frac{c}{2}\int_{-\infty}^{+\infty} \frac{L(t,y)}{a(y)} dW(y).$$

В рассматриваемых ниже примерах обыкновенных линейных дифференциальных уравнений первого порядка, записанных в интегральной форме, предполагаются выполненными условия теоремы.

1. Рассмотрим уравнение с мультипликативным неограниченным случайным возмущением

$$x^\varepsilon(t) = x + \frac{1}{\sqrt{\varepsilon}}\int_0^t x^\varepsilon(s) c\left(\frac{\xi^\varepsilon(s)}{\varepsilon}\right) ds.$$

В условиях теоремы $x^\varepsilon(t) \Rightarrow x$:

$$x(t) = x\exp\left\{\frac{c}{2}\int_{-\infty}^{\infty} \frac{L(t,y)}{a(y)} dW(y)\right\}.$$

Поэтому можем рассматривать процесс $x(t)$ как решение стохастического интегро-дифференциального уравнения

$$x(t) = x + \frac{c}{2}\int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{a(y)} \int_0^t x(s) L(ds,y) dW(y).$$

2. Рассмотрим уравнение с аддитивным неограниченным случайным возмущением

$$x^\varepsilon(t) = x + \int_0^t \lambda^\varepsilon(s) x^\varepsilon(s) ds + \frac{1}{\sqrt{\varepsilon}}\int_0^t h^\varepsilon\big(\xi^\varepsilon(s)\big) \int_0^s c\left(\frac{\xi^\varepsilon(v)}{\varepsilon}\right) dv ds.$$

Предположим, что существует функция $\lambda(t)$ такая, что $\int_0^t \lambda^\varepsilon(s)ds \to \int_0^t \lambda(s)ds$ для любого $t \in [0,T]$ при $\varepsilon \to 0$, функции $h^\varepsilon(x)$ ограничены постоянной Λ и равномерно на компактах сходятся к непрерывной функции $h(x)$. Заметим, что $h^\varepsilon\big(\xi^\varepsilon(s)\big) \Rightarrow h\big(\xi(t)\big)$. Следовательно, процесс $x(t)$ является решением уравнения

$$x(t) = x + \int_0^t \lambda(s) x(s) ds + \frac{c}{2}\int_0^t h\big(\xi(s)\big) \int_{-\infty}^{\infty} \frac{L(t,y)}{a(y)} dW(y) ds.$$

1. E. Pardoux, A. Piatnitski. Homogenization of a singular random one-dimensional PDE // Math. Sci. Appl. – 2005. – **24.**– P. 292 – 302.
2. B. Iftimie, E. Pardoux, A. Piatnitski. Homogenization of a singular random one-dimensional PDE // Annals de l'Institut H. Poincare, 2008. – **44**, No. 3. – P. 512 – 543.
3. И. А. Ибрагимов, Ю. В. Линник. Независимые и стационарно связанные величины. – М.: Наука, 1965.
4. Ю.А. Давыдов. О сходимости распределений, порождённых стационарными случайными процессами // Теория вероятностей и её применения. – 1968. – **13**, No. 4. – P. 730–737.

УДК 519.21

ОБ ОЦЕНКЕ НЕИЗВЕСТНОГО ПАРАМЕТРА В СИСТЕМАХ СО СЛАБЫМ СИГНАЛОМ II

Золотая А.В.
Донецкий национальный университет
aelita.z@mail.ru

Пусть $U^{\varepsilon}(\theta_0, x)$ решение уравнения Пуассона:

$$LU^{\varepsilon}(\theta_0, x) = f(x) - \bar{f}\,, \tag{1}$$

где $f(x)$ ограничена,

$$\lim_{x\to+\infty} f(x) = \bar{f}. \tag{2}$$

Обозначим через $\psi^{\varepsilon}(\theta_0, x) = \dfrac{dU^{\varepsilon}(\theta_0, x)}{dx}$. Тогда (2) перепишется в виде

$$\frac{d\psi^{\varepsilon}(\theta_0, x)}{dx} + \frac{2\varepsilon\alpha(\theta_0, x)}{\beta^2(x)}\psi^{\varepsilon}(\theta_0, x) = \frac{f(x) - \bar{f}}{\beta^2(x)} \tag{3}$$

Непосредственной проверкой убеждаемся в том, что решением задачи (3) будет функция

$$\psi^{\varepsilon}(\theta_0, x) = \exp\left\{-\int_0^x \frac{2\varepsilon\alpha(\theta_0, z)}{\beta^2(z)}dz\right\}\int_0^x \exp\left\{\int_0^y \frac{2\varepsilon\alpha(\theta_0, z)}{\beta^2(z)}dz\right\}\frac{\left[f(y) - \bar{f}\right]}{\beta^2(y)}dy \tag{4}$$

Очевидно также, что

$$\lim_{x\to+\infty}\psi^{\varepsilon}(\theta_0, x) = \lim_{x\to+\infty}\frac{\int_0^x \exp\left\{\int_0^y \frac{2\varepsilon\alpha(\theta_0, z)}{\beta^2(z)}dz\right\}\frac{\left[f(y) - \bar{f}\right]}{\beta^2(y)}dy}{\exp\left\{\int_0^x \frac{2\varepsilon\alpha(\theta_0, z)}{\beta^2(z)}dz\right\}} =$$

$$= \lim_{x\to+\infty}\frac{\exp\left\{\int_0^x \frac{2\varepsilon\alpha(\theta_0, z)}{\beta^2(z)}dz\right\}\frac{\left[f(x) - \bar{f}\right]}{\beta^2(x)}}{\exp\left\{\int_0^x \frac{2\varepsilon\alpha(\theta_0, z)}{\beta^2(z)}dz\right\}\frac{2\varepsilon\alpha(\theta_0, x)}{\beta^2(x)}} = \lim_{x\to+\infty}\frac{f(x) - \bar{f}}{2\varepsilon\alpha(x, \theta_0)} = \lim_{x\to+\infty}\frac{f(x) - \bar{f}}{2\varepsilon\bar{\alpha}(\theta_0)} = 0 \tag{5}$$

Из (4) с учётом условия $P\left\{\inf_{t>0}\xi_{\varepsilon}^{\theta}(t) > -\infty\right\} = 1$ и (5) следует: существует постоянная $\bar{C} > 0$, такая, что

$$\left|\psi^{\varepsilon}(\theta_0, x)\right| \le \bar{C} < +\infty \tag{6}$$

(следует отметить, что в (6) постоянная $\bar{C} > 0$ уже контролируемая!).

Из (6) имеем

$$\left|U^{\varepsilon}(\theta_0, x) - U^{\varepsilon}(\theta_0, y)\right| \le \bar{C}\left|x - y\right| \tag{7}$$

Теорема 1. Пусть существует ограниченная сверху L_{ε}^{θ}- гармоническая функция $\varphi_{\varepsilon}^{\theta}(x)$, для которой $\lim_{x\to-\infty}\varphi_{\varepsilon}^{\theta}(x) = -\infty$, для любых фиксированных $\varepsilon > 0, \theta_0 \in Q$, если дополнительно предположить, что

$$\lim_{x\to+\infty}\alpha(\theta,x)=\bar{\alpha}(\theta)>0,$$
$$0<\alpha(\theta,x)\le K<+\infty,\left|\alpha(\theta,x)-\alpha(\theta,y)\right|\le K\left|x-y\right|,$$
$$\left|\beta(x)-\beta(y)\right|\le K\left|x-y\right|,0<\beta^2(x)\le K^2<+\infty,$$
$$\lim_{x\to+\infty}\beta^2(x)=\bar{\beta}^2>0,$$

тогда справедлива оценка

$$\sup_{0\le t\le T}M\left|\varepsilon\xi_{\theta_0}^{\varepsilon}\left(t/\varepsilon^2\right)-\eta_{\theta_0}^{\varepsilon}(t)\right|\le\varepsilon\bar{C}\left(KT+2K\sqrt{T}\right)+\sqrt{\varepsilon}\sqrt{\bar{C}\left(KT+2K\sqrt{T}\right)}=C(\varepsilon)\quad(8)$$

1. Бондарев Б.В. Об оценке неизвестного параметра в сносе простейшего дифференциального уравнения / Б.В. Бондарев // Теория случайных процессов. – Вып. 13. – 1985. – ИПММ АН УССР. – С. 10-13.
2. Бондарев Б.В. Об оценке неизвестного параметра коэффициента сноса уравнения, возмущенного гауссовским шумом / Б.В. Бондарев // Теория вероятностей и математическая статистика. – 1990. – Вып.42. – С. 3-13.
3. Бондарев Б.В. Оценка параметра нелинейности в начально-краевых задачах с гауссовскими возмущениями / Б.В. Бондарев // Теория вероятностей и ее применение.- 1991. – Т.36, Вып.3. – С. 553-550.
4. Бондарев Б.В. Оценка неизвестного параметра в системах со слабым сигналом / Б.В. Бондарев, С.М. Козырь // Кибернетика и системный анализ – 2011. – №3. – С. 109-117.
5. Бондарев Б.В. Неравенства больших уклонений для оценок неизвестных параметров в стохастических системах / Б.В. Бондарев, А.А. Симогин // Кибернетика и системный анализ. – 1994. – №2. – С. 95-111.
6. Гихман И.И. Стохастические дифференциальные уравнения / И.И. Гихман, А.В. Скороход. – Киев: Наукова думка, 1968. – 554 с.
7. Дороговцев А.Я. Теория оценок параметров случайных процессов. / А.Я. Дороговцев - Киев: Вища школа.– 1982. – 192 с.
8. Золотая А.В. Оценка неизвестного параметра в системах со слабым сигналом / А.В.Золотая // Прикладна статистика. Актуарна та фінансова математика. – 2014. – № 1. – С. 80–89.

УДК 519.865

МАРТИНГАЛЬНЫЕ МЕРЫ В ДВУМЕРНОЙ МОДЕЛИ СКАЧКООБРАЗНОЙ ДИФФУЗИИ

Симогин А.А.

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк

anatolsimsim@gmail.com

Пусть на полном вероятностном пространстве (Ω,F,P), заданы стандартные винеровские процессы $W_1(t)$ и $W_2(t)$, такие что $\mathrm{E}\left[W_1(t)W_2(t)\right]=\rho t$, независимые от них и независимые между собой пуассоновские процессы $N_1(t)$, $N_2(t)$ с постоянными интенсивностями λ_1 и λ_2 соответственно, а также последовательности случайных величин ξ_{ji}

независимые в совокупности и от процессов $W_j(t)$, $N_j(t)$, $j=\overline{1,2}$. Оснастим вероятностное пространство (Ω, F, P) возрастающей непрерывной справа фильтрацией $\mathcal{F}_t = \sigma\left(W_i(s), N_i(s), s \le t, \{\xi_{ij}\}; i=1,2\right)$.

На фильтрованном пространстве $(\Omega, F, \mathcal{F}_t, P)$ рассмотрим финансовый (B,S)-рынок с непрерывным временем, который состоит из банковского счета B (нерисковый актив) и двух акций S_1, S_2 (рисковые активы). Относительно банковского счета B будем предполагать, что $B = \{B_t, t \ge 0\}$ – детерминированная функция, которая подчиняется дифференциальному уравнению

$$dB_t = rB_t dt,$$

с начальным условием $B_0 = 1$, т.е. $B_t = e^{rt}$, $r \ge 0$, здесь r – краткосрочная процентная ставка. Эволюции стоимостей акций $S_i = \{S_i(t), t \ge 0\}$, $i = 1,2$ описываются решениями стохастических дифференциальных уравнений скачкообразной диффузии

$$\begin{aligned} \frac{dS_1(t)}{S_1(t-)} &= \mu_1 dt + \sigma_1 dW_1(t) + d\sum_{j=1}^{N_1(t)} \left(\xi_{1j} - 1\right), \\ \frac{dS_2(t)}{S_2(t-)} &= \mu_2 dt + \sigma_2 dW_2(t) + d\sum_{j=1}^{N_2(t)} \left(\xi_{2j} - 1\right). \end{aligned} \tag{1}$$

здесь случайные величины каждой из последовательностей ξ_{1j}, ξ_{2j} имеют одинаковые плотности распределения вероятностей $f_1(x)$ и $f_2(x)$ соответственно, и определяют магнитуды скачков цен акций, μ_i (параметры дрейфа) и $\sigma_i > 0$ (волатильности диффузии) – некоторые константы.

Согласно формуле Ито для процесса скачкообразной диффузии [1], решения уравнений (1), описывающих динамику цен рисковых активов, имеют вид

$$S(t) = S_{i0} \exp\left\{\left(\mu_i - \frac{\sigma_i^2}{2}\right)t + \sigma_i W_i(t)\right\} \prod_{j=1}^{N_i(t)} \xi_j .$$

Одним из условий нахождения справедливой стоимости опциона является безарбитражность рассматриваемого финансового (B,S)-рынка. Для этого необходимо существование мартингальной меры Q эквивалентной исходной мере P, т. е. меры, относительно которой дисконтированные процессы, описывающие стоимости акций, являлись мартингалами.

Обозначим $\alpha_1 = \mathrm{E}[\xi_{11} - 1]$ и $\alpha_2 = \mathrm{E}[\xi_{21} - 1]$, тогда согласно [2, 3] семейство плотностей Радона-Никодима эквивалентной мартингальной меры относительно исходной меры P имеет вид

$$\frac{dQ}{qP} = e\left(-\left(\varphi_1 W_1(t) + \psi_1\left[\sum_{j=1}^{N_1(t)} \left(\xi_{1j} - 1\right) - \lambda_1 \alpha_1\right]\right)\right) -$$

$$-\left(\varphi_2 W_2(t)+\psi_2\left[\sum_{j=1}^{N_2(t)}\left(\xi_{2j}-1\right)-\lambda_2\alpha_2\right]\right)\Bigg),$$

здесь $\varepsilon(\cdot)$ – экспонента Долеан, а φ_i и ψ_i, $i=\overline{1,2}$, удовлетворяют системе уравнений

$$\begin{cases}\mu_1-r=\varphi_1\sigma_1-(\psi_1+1)\lambda_1\alpha_1,\\ \mu_2-r=\varphi_2\sigma_2-(\psi_2+1)\lambda_2\alpha_2.\end{cases}$$

В общем случае данная система имеет бесконечно много решений. Следовательно, мартингальная мера не единственна, и как следствие, предложенный финансовый рынок не является полным. И здесь возникает проблема выбора оптимальной в том или ином смысле мартингальной меры. Предложены различные способы нахождения оптимальной мартингальной меры: минимизация дисперсии плотности, использование функций полезности различных видов и др.

1. Cont R., Tankov P. Financial modelling with jump processes. Chapman & Hall/CRC Press, 2004. – 606 с.
2. Мельников А.В. Волков С.Н., Нечаев А.В. Математика финансовых обязательств. – М.: ГУ ВШЭ, 2001. – 260 с.
3. Ширяев А.Н. Основы стохастической финансовой математики. Том 2. Теория. – М.: Фазис, 1998. – 544 с.

УДК 519.21

ОБ ОДНОЙ СТОХАСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЭКОНОМИКИ

Шурко Г.К., Шурко И.Л.

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк

gennady.shurko@mail.ru

Одним из основных постулатов современной политической экономии и математической экономики является общая теория экономического равновесия, основанная на утверждении Ж.-Б. Сэя (XIX в.) о том, что рыночные отношения автоматически приводят к состоянию равновесия, т. е. равновесие является глобально устойчивым. Реальная экономическая система никогда не находится ни в состоянии статического равновесия, ни в состоянии сбалансированного роста, о чём свидетельствуют экономические кризисы, регулярно возникающие в последнее время в различных странах мира.

Поэтому актуальным является мнение А. А. Петрова, И. Г. Поспелова и А.А. Шананина, состоящее в том, что в любой экономической системе у людей достаточно свободы, чтобы действия всех вместе выглядели хаотическими… Экономика серьёзно подвержена влиянию случайных факторов — многие события, влияющие на макроэкономическую динамику, являются случайными: экономическая конъюнктура, производственная

неопределённость, сбор большого или малого урожая, научные открытия и др. Поэтому стохастические математические модели являются наиболее адекватным отражением экономической реальности.

Модель Р. Солоу является односекторной моделью экономического роста. Данная модель была предложена Нобелевским лауреатом 1987 г. Р. Солоу в [2]. В этой модели экономическая система рассматривается как единое целое. Согласно модели, в замкнутой односекторной экономической системе производится один универсальный продукт, который может как потребляться, так и инвестироваться. Модель довольно адекватно отображает важнейшие макроэкономические аспекты процесса воспроизводства. Отметим, что экспортно-импортная возможность не учитывается.

Основные предположения модели Солоу:

1) темпы прироста числа занятых являются постоянными;
2) износ основных производственных фондов является постоянным;
3) норма накопления является постоянной;
4) отсутствует временной лаг, т.е., иными словами, предполагается, что та часть универсального продукта, которая инвестируется в производство, моментально участвует в производстве нового универсального продукта.

Состояние экономики в момент времени t определяется следующими показателями:

1) валовым внутренним продуктом $X(t)$;
2) основными производственными фондами $K(t)$;
3) числом занятых в производственной сфере $L(t)$;
4) инвестициями $I(t)$;
5) фондом непроизводственного потребления $C(t)$.

В работе предлагается стохастическая модель односекторной замкнутой экономики, обобщающая как классическую детерминированную модель Р. Солоу, так и стохастическую модель [3], а именно, модель вида

$$\frac{dK(t)}{K(t)} = \left(-\mu + \rho \cdot F\left(1; \frac{L(t)}{K(t)}\right)\right) dt + \sigma \cdot dw(t) + \gamma \cdot dZ(t), \qquad (1)$$

где $Z(t)$ – сложный процесс Пуассона, а $F\big(K(t), L(t)\big)$ неоклассическая производственная функция.

Отметим, что слагаемые $\sigma \cdot dw(t)$и $\gamma dZ(t)$ характеризуют влияние экзогенных случайных факторов на макроэкономическую динамику, при этом процессы $Z(t)$ и $w(t)$ – независимы.

Сложный процесс Пуассона представляет собой сумму случайного числа случайных слагаемых:

$$Z(t) = \sum_{k=1}^{\nu(t)} \eta_k, \qquad (2)$$

где$\nu(t)$ – процесс Пуассона со средним $\mathrm{M}\,\nu(t) = \lambda \cdot t,\ \lambda = const$, $\eta_1 \dots \eta_k \dots \eta_{\nu(t)}$ – последовательность независимых, одинаково распределенных случайных величин с известной функцией распределения $F(x)$.

Известно [1], что сложный процесс Пуассона представим в виде стохастического интеграла по пуассоновской мере:

$$\begin{cases} Z(t) = \int_0^t \int_{-\infty}^{+\infty} \theta \cdot \nu(d\theta, ds), \\ \mathrm{M}\, \nu(d\theta, ds) = \theta \cdot F(d\theta) \cdot \lambda \cdot ds \end{cases} \quad (3)$$

Введем в рассмотрение центрированную пуассоновскую меру $\tilde{\nu}(d\theta, ds)$:

$$\tilde{\nu}(d\theta, ds) = \nu(d\theta, ds) - \mathrm{M}\, \nu(d\theta, ds) = \\ = \nu(d\theta, ds) - \theta \cdot F(d\theta) \cdot \lambda \cdot ds$$

Тогда процесс $Z(t)$ можно представить в виде:

$$Z(t) = \int_0^t \int_{-\infty}^{+\infty} \theta \cdot \tilde{\nu}(d\theta, ds) + \lambda \int_0^t \int_{-\infty}^{+\infty} \theta \cdot F(d\theta) \cdot ds \quad (4)$$

Обозначим через a величину $\int_{-\infty}^{+\infty} \theta \cdot F(d\theta)$, предполагая $a < +\infty$. Тогда (4) перепишется в виде:

$$Z(t) = \lambda \cdot a \cdot t + \int_0^t \int_{-\infty}^{+\infty} \theta \cdot \tilde{\nu}(d\theta, ds) \quad (5)$$

а уравнение (1) примет вид:

$$\frac{dK(t)}{K(t)} = \left(-\mu + \rho \cdot F\left(1; \frac{L(t)}{K(t)}\right) + \lambda \cdot a \cdot \gamma)\right) dt + \sigma \cdot dw(t) + \\ + \gamma \int_{-\infty}^{+\infty} \theta \cdot \tilde{\nu}(d\theta, dt) \quad (6)$$

или, воспользовавшись однородностью неоклассической производственной функции $F(d\theta, ds)$, получим:

$$dK(t) = \Big(-\mu \cdot K(t) + \rho \cdot F\big(K(t), L(t)\big) + \lambda \cdot a \cdot \gamma \cdot K(t)\Big) dt + \\ + \sigma \cdot K(t) dw(t) + \gamma \cdot K(t) \cdot \int_{-\infty}^{+\infty} \theta \cdot \tilde{\nu}(d\theta, dt) \quad (7)$$

Переходя теперь к относительному показателю – фондовооруженности $k(t) = \frac{K(t)}{L(t)}$, можно получить:

$$dk(t) = \big(-(\mu + \nu - \lambda \cdot a \cdot \gamma) \cdot k(t) + \rho \cdot F(k(t), 1)\big) dt + \\ + \sigma \cdot k(t)\, dw(t) + \gamma \cdot k(t) \cdot \int_{-\infty}^{+\infty} \theta \cdot \tilde{\nu}(d\theta, dt) \quad (8)$$

Положим $\lambda_1 = \mu + \nu - \lambda \cdot a \cdot \gamma$ и обозначим через $f\big(k(t)\big) = F(k(t), 1)$. Тогда:

$$dk(t) = \Big(-\lambda_1 \cdot k(t) + \rho \cdot f\big(k(t)\big)\Big) dt + \sigma \cdot k(t) \cdot dw(t) + \\ + \gamma \cdot k(t) \int_{-\infty}^{+\infty} \theta \cdot \tilde{\nu}(d\theta, dt) \quad (9)$$

Таким образом, получено следующее утверждение:

Теорема. Поведение замкнутой односекторной экономической системы, удовлетворяющей предположениям модели Р. Солоу и подверженной воздействию случайных факторов, включающую в себя как диффузионную составляющую с коэффициентом σ, отражающую непрерывную изменчивость прироста фондов, так и пуассоновскую составляющую, отражающую дискретную (скачкообразную) изменчивость производственных фондов, описывается следующей системой уравнений:

$$\begin{cases} dk(t) = \left(-\lambda_1 \cdot k(t) + \rho \cdot f\big(k(t)\big)\right) dt + \sigma \cdot k(t) \cdot dw(t) + \\ \qquad +\gamma \cdot k(t) \cdot \int_{-\infty}^{+\infty} \theta \cdot \tilde{\nu}(d\theta, dt); \\ \qquad k_0 = k(0) = \frac{K(0)}{L(0)}; \\ \qquad \lambda_1 = \mu + \nu - \lambda \cdot a \cdot \gamma; \\ \qquad x(t) = f\big(k(t)\big); \\ \qquad i(t) = \rho \cdot f\big(k(t)\big); \\ \qquad c(t) = (1-\rho) \cdot f\big(k(t)\big). \end{cases} \tag{10}$$

где $k(t) = \frac{K(t)}{L(t)}, x(t) = \frac{X(t)}{L(t)}$, $i(t) = \frac{I(t)}{L(t)}$, $c(t) = \frac{C(t)}{L(t)}$ – относительные показатели фондовооруженности, производительности труда, удельных инвестиций на одного занятого, среднедушевого потребления.

1. Бондарев Б.В. Стохастические дифференциальные уравнения и их применение в финансовой математике и математической экономике / Б.В.Бондарев, Т.В.Жмыхова. – Донецк: Норд-пресс, 2005. – 175с.
2. Solow R.M.: Contribution to the theory of economic growth./ Solow R.M // Quarterly Journal of Economics. – 1956. – V.70. – P. 65-94.
3. Соловьев В.И. Стохастические модели математической экономики и финансовой математики./ В.И.Соловьев. – М.: Наука, 2001. – 92 с.

УДК 517.927.25

О ПОЛНОТЕ МНОЖЕСТВА КОРНЕВЫХ ФУНКЦИЙ ДЛЯ 2×2 СИСТЕМ ПЕРВОГО ПОРЯДКА

Агибалова А.В.
ГУ «Институт прикладной математики и механики», г Донецк
agannette@rambler.ru

Спектральная теория несамосопряжённых граничных задач для обыкновенных дифференциальных уравнений n-го порядка на конечном интервале восходит к классическим работам Биркгофа [6] и Тамаркина [4]. Они ввели понятие регулярных граничных условий и доказали полноту соответствующей системы собственных и присоединённых функций (ССПФ). Заметим однако, что многие естественные и важные граничные условия нерегулярны. Полнота ССПФ таких задач была анонсирована М. В. Келдышем в известной работе [1], а доказана А. А. Шкаликовым [5].

Системы вида (1) образуют более широкий класс, чем обыкновенные дифференциальные уравнения, и представляют интерес в некоторых практических и теоретических вопросах. В случае самосопряжённой матрицы коэффициентов $B=\operatorname{diag}(b_1^{-1},b_2^{-1})=B^*$ более общие граничные задачи, включая нерегулярные и даже вырожденные граничные условия, были исследованы в работах [3] и [7]. Дальнейшие работы были вдохновлены результатами из [2] о полноте ССПФ граничных задач для оператора Штурма-Лиувилля с вырожденными граничными условиями.

В пространстве $L^2([0,1];C^2)$ рассмотрим систему обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка

$$-iBy'+Q(x)y=\lambda y,\qquad y=\operatorname{col}(y_1,y_2),\qquad x\in[0,1], \tag{1}$$

с

$$B=\begin{pmatrix}1&0\\0&b^{-1}\end{pmatrix},\quad b\in\mathbb{C}\setminus\mathbb{R},\quad Q=\begin{pmatrix}0&Q_{12}\\Q_{21}&0\end{pmatrix},\quad Q_{12}(\cdot),Q_{21}(\cdot)\in L^2[0,1], \tag{2}$$

в предположении, что функции $Q_{12}(\cdot)$ и $Q_{21}(\cdot)$ допускают аналитическое продолжение в круг $\mathbb{D}_R$ (сокращённо $Q(\cdot)\in A(\mathbb{D}_R)\otimes\mathbb{C}^{2\times 2}$) при некотором достаточно большом R. К уравнению (1) присоединим граничные условия вида

$$\begin{cases}U_1(y):=a_{11}y_1(0)+a_{12}y_2(0)+a_{13}y_1(1)+a_{14}y_2(1)=0,\\ U_2(y):=a_{21}y_1(0)+a_{22}y_2(0)+a_{23}y_1(1)+a_{24}y_2(1)=0,\end{cases} \tag{3}$$

и положим $A_{jk}:=\begin{pmatrix}a_{1j}&a_{1k}\\a_{2j}&a_{2k}\end{pmatrix}$ и $J_{jk}:=\det A_{jk}$, $j,k\in\{1,2,3,4\}$. Отметим, что

граничные условия (3) можно записать в виде

$$Cy(0)+Dy(1)=0, \qquad C=(c_{jk}),\ D=(d_{jk})\in C^{2\times 2}. \tag{4}$$

Обозначим через $L_{C,D}:=L_{C,D}(Q)$ оператор в $L^2([0,1];\mathbb{C}^2)$, порождённый граничной задачей (1), (2), (4). В работе М.М. Маламуда и Л.Л. Оридороги [7] получены достаточные условия полноты системы собственных и присоединённых функций (ССПФ) граничной задачи (1), (3) в случае так называемых слабо регулярных граничных условий. Из определения этих условий следует, что граничные условия (3) слабо регулярны тогда и только тогда, когда выполнено хотя бы одно из следующих условий:

$$(i)\quad J_{14}J_{23}\neq 0 \quad \text{или} \quad (ii)\quad J_{12}J_{34}\neq 0. \tag{5}$$

Если условия (5) нарушены, то граничные условия (3) эквивалентны условиям

$$\begin{cases} U_1(y):=y_1(0)=0, \\ U_2(y):=a_{22}y_2(0)+a_{23}y_1(1)+a_{24}y_2(1)=0 \end{cases} \tag{6}$$

или условиям

$$\begin{cases} y_1(0)+\tilde{a}_{12}y_2(0)=0, \\ y_1(1)+\tilde{a}_{22}y_2(0)=0, \end{cases} \tag{7}$$

где $\tilde{a}_{12}\tilde{a}_{22}\neq 0$. Несмотря на то, что условия (7) не являются слабо регулярными, ССПФ соответствующей граничной задачи (1), (7) полна и минимальна в $L^2([0,1];C^2)$ (см. [7]).

Таким образом, для исследования полноты ССПФ дифференциального уравнения (1), (2) с произвольными граничными условиями (3) остаётся исследовать полноту системы корневых функций граничной задачи (1), (2), (6).

Для граничной задачи (1), (2), (6) найдены в терминах потенциальной матрицы $Q(\cdot)$ и коэффициентов граничных условий (6) достаточные условия полноты и минимальности системы корневых векторов. Приведём один из полученных результатов.

Следующая теорема в терминах коэффициентов граничных условий и потенциальной матрицы даёт достаточное условие полноты и минимальности ССПФ задачи (1)-(3).

Теорема *Пусть* $a_{23}\neq 0, a_{24}=0$ *и* $Q_{21}(0)Q_{21}(1)\neq 0$. *Тогда системы корневых векторов оператора* $L_{C,D}(Q)$ *и его сопряжённого* $L_{C,D}(Q)^*$ *полны и минимальны в* $L^2\big([0,1];C^2\big)$.

1. Келдыш М. В. О собственных значениях и собственных функциях некоторых классов несамосопряжённых уравнений // Доклады АН СССР. – 1951. – Т. 77. № 1. – С. 11-14.
2. Маламуд М. М. О полноте системы корневых векторов оператора Штурма-Лиувилля с общими граничными условиями // Функциональный анализ и его приложения. – 2008. – Т. 42. Вып. 3. – С. 45-52.
3. Маламуд М. М., Оридорога Л. Л. О полноте системы корневых векторов для систем первого порядка // ДАН. – 2010. – Т. 435. № 3. – С. 1-6.

4. Тамаркин Я. Д. О некоторых задачах теории обыкновенных линейных дифференциальных уравнений и о разложении произвольных функций в ряды. – Петроград, 1917. – 152 с.
5. Шкаликов А. А. О полноте собственных и присоединенных функций обыкновенного дифференциального оператора с нерегулярными распадающимися краевыми условиями // Функциональный анализ и его приложения. – 1976. – Т. 10. № 4. – С. 69-80.
6. Birkhoff G. D. On the asymptotic character of the solutions of certain linear differential equations containing a papameter // Trans. Amer. Math. Soc. – 1908. – V. 9. – P. 219-231.
7. Malamud M. M., Oridoroga L. L. On the completeness of the system of root vectors for first-order systems // Journal of Functional Analysys. – 2012. – V. 263. № 7. – P. 1939-1980.

УДК 517.984.4

СПЕКТРАЛЬНАЯ ТЕОРИЯ ОПЕРАТОРА БЕССЕЛЯ НА КОНЕЧНОМ ИНТЕРВАЛЕ И ПОЛУОСИ

Ананьева А.Ю., Будыка В.С.
ГУ «Институт прикладной математики и механики», г. Донецк
budyka.vik@gmail.com

Рассмотрим однопараметрическое семейство дифференциальных выражений Бесселя

$$\tau_\nu = -\frac{d^2}{dx^2} + \frac{\nu^2 - \frac{1}{4}}{x^2}, \qquad \nu \in [0,1)\backslash\{1/2\}. \tag{1}$$

Спектральному анализу граничных задач для выражения (1) посвящено много работ (см. [1, с. 535] – [7] и литературу в них). Особо отметим работы Кальфа и Эверита [6], [3], в которых найдена явная форма m–коэффициента Вейля–Титчмарша выражения τ_ν в $L^2(\mathbb{R}_+)$.

В [2, 3, 6] описаны области определения фридрихсова расширения минимального оператора $A_{\nu,\infty}$ ассоциированного с выражением (1) в $L^2(\mathbb{R}_+)$, а в [3] все самосопряженные расширения оператора $A_{\nu,\infty}$. Кроме того, в [2] описаны области определения соответствующих квадратичных форм. Однако, это описание аппелирует к области определения максимального оператора $A^*_{\nu,\infty}$, явное выражение для которой отсутствует в литературе.

В настоящей работе изучаются минимальный оператор Бесселя и его расширения на конечном интервале и полуоси.

Пусть $S_{\nu.b} := S_{\nu,b,min}$ и $S_{\nu,b,max}$ – минимальный и максимальный операторы Бесселя, соответственно, порожденные выражением (1) в $L^2(0,b)$; $b < 1$ (см. [1, с. 535]). В дальнейшем $span\{F\}$ обозначает линейную оболочку множества F.

Теорема 1. Пусть $\nu \in [0,1)$. Справедливы следующие утверждения:

(i) оператор $S_{\nu.b}$ является неотрицательным и его индексы дефекта $n_\pm(S_{\nu.b}) = 2$;

(ii) область определения оператора $S_{\nu.b}$ задается соотношением

$$dom(S_{\nu.b}) = H_0^2[0,b] := \{f \in H^2[0,b]: f(0) = f(b) = f'(0) = f'(b) = 0\};$$

(iii) $S_{\nu,b,max} = S^*_{\nu,b}$ и

$$dom\left(S^*_{\nu,b}\right) = \begin{cases} \widetilde{H}^2_0[0,b] \dot{+} span\{x^{1/2+\nu}, x^{1/2-\nu}\}, & \nu \neq 0, \\ \widetilde{H}^2_0[0,b] \dot{+} span\{x^{1/2}, x^{1/2}\, ln(x)\}, & \nu = 0, \end{cases}$$

где $\widetilde{H}^2_0[0,b] := \{f \in H^2[0,b]: f(0) = f'(0) = 0\}$.

В дальнейшем важную роль играет специальное расширение оператора Бесселя $A_{\nu,b}$ задаваемое дифференциальным выражением (1) в $L^2(0,b)$ на области

$$dom\left(A_{\nu,b}\right) = \{f \in S^*_{\nu,b}: f(0) = f'(0) = f(b) = 0\}, \quad \nu \in [0,1) \qquad (2)$$

Предложение 1. Пусть $\nu \in [0,1)$. Справедливы следующие утверждения:

(i) оператор $A_{\nu,b}$ имеет равные индексы дефекта $n_\pm(A_{\nu.b}) = 1$;

(ii) $dom\left(A_{\nu,b}\right) = \{f \in H^2[0,b]: f(0) = f'(0) = f(b) = 0\}$,

(iii) $dom\left(A^*_{\nu,b}\right) = \{f \in dom\left(S^*_{\nu,b}\right): f(b) = 0\}$.

Пусть $A_{\nu,\infty} := A_{\nu,\infty,min}$ и $A_{\nu,\infty,max}$ – минимальный и максимальный операторы Бесселя, порожденные выражением (1) в $L^2(\mathbb{R}_+)$.

Теорема 2. Пусть $\nu \in [0,1)$. Справедливы следующие утверждения:

(i) оператор $A_{\nu,\infty}$ имеет равные индексы дефекта $n_\pm(A_{\nu.\infty}) = 1$;

(ii) область определения оператора $A_{\nu,\infty}$ имеет вид:

$$dom\left(A_{\nu,\infty}\right) = H^2_0(\mathbb{R}_+) = \{f \in H^2(\mathbb{R}_+): f(0) = f'(0) = 0\};$$

(iii) $A_{\nu,\infty,max} = A^*_{\nu,\infty}$ и

$$dom\left(A^*_{\nu,\infty}\right) = \begin{cases} H^2_0(\mathbb{R}_+) \dot{+} span\{x^{1/2+\nu}\xi(x), x^{1/2-\nu}\xi(x)\}, & \nu \neq 0, \\ H^2_0(\mathbb{R}_+) \dot{+} span\{x^{1/2}\xi(x), x^{1/2}\, ln(x)\,\xi(x)\}, & \nu = 0, \end{cases} \qquad (3)$$

где $\xi(x) \in C^1_0(\mathbb{R}_+)$ некоторая функция такая, что $\xi(x) = 1$ при $x \in [0,1]$.

Предложение 2. Пусть $\nu \in [0,1)$. Тогда:

(i) граничную тройку оператора $A^*_{\nu,\infty}$ можно выбрать в виде

$$\mathcal{H} = \mathbb{C}, \qquad \Gamma^{\nu,\infty}_0 f = \left[f, x^{1/2+\nu}\right]_0,$$

$$\Gamma^{\nu,\infty}_1 f = \begin{cases} -(2\nu)^{-1}\left[f, x^{1/2+\nu}\right]_0, & \nu \in (0,1), \\ \left[f, x^{1/2}\ln(x)\right]_0, & \nu = 0; \end{cases} \qquad (4)$$

(ii) соответствующая функция Вейля $M_{\nu,\infty}(\cdot)$ имеет вид:

$$M_{\nu,\infty}(z) = \begin{cases} e^{i(1-\nu)\pi}\dfrac{\Gamma(1-\nu)}{2\nu 4^\nu \Gamma(1+\nu)} z^\nu, & \nu \in (0,1), \\ -\ln\left(\dfrac{\sqrt{z}}{2}\right) + \dfrac{i\pi}{2} - \gamma, & \nu = 0, \end{cases} \qquad z \in \mathbb{C}\backslash\mathbb{R},$$

где γ – константа Эйлера.

Это позволило получить явное описание фридрихсова и крейновского расширений и соответствующих квадратичных форм.

Предложение 3. Пусть $\nu \in [0,1)$ и $\Pi_{\nu,\infty} = \{\mathcal{H}, \Gamma^{\nu,\infty}_0, \Gamma^{\nu,\infty}_1\}$ – граничная тройка вида (4) для оператора $A_{\nu,\infty}$. Тогда:

(i) область определения фридрихсова расширения $A_{\nu,\infty,_F}$ оператора $A_{\nu,\infty}$ имеет вид:

$$dom\left(A_{\nu,\infty,_F}\right) = \ker(\Gamma_0^{\nu,\infty}) = \{f \in dom\left(A_{\nu,\infty}^*\right): \left[f, x^{1/2+\nu}\right]_0 = 0\};$$

(ii) область определения крейновского расширения $A_{\nu,\infty,_K}$ оператора $A_{\nu,\infty}$ имеет вид:

$$dom\left(A_{\nu,\infty,_K}\right) = \{f \in dom\left(A_{\nu,\infty}^*\right): \left[f, x^{1/2-\nu}\right]_0 = 0\}.$$

Теорема 3. Пусть $\nu \in [0,1)$ и $A_{\nu,\infty,_F}$ фридрихсово расширение оператора $A_{\nu,\infty}$. Пусть также функция $\xi(x) \in C_0^1(\mathbb{R}_+)$ такова, что $\xi(x) = \begin{cases} 1, & x \in (0,1/2), \\ 0, & x \geq 3/4. \end{cases}$ Тогда:

(i) при $\nu \in (0,1)$ квадратичная форма $\mathfrak{a}_{\nu,\infty}$ ассоциированная с фридрихсовым расширением $A_{\nu,\infty,_F}$ имеет вид:

$$\mathfrak{a}_{\nu,\infty}[u] = \int_0^\infty |u'(x)|^2 dx + \left(\nu^2 - \frac{1}{4}\right) \int_0^\infty \frac{|u(x)|^2}{x^2} dx,$$

$$dom\left(\mathfrak{a}_{\nu,\infty}\right) = H_0^1(\mathbb{R}_+);$$

(ii) при $\nu = 0$ квадратичная форма $\mathfrak{a}_{0,\infty}$ ассоциированная с фридрихсовым расширением $A_{0,\infty,_F}$ имеет вид:

$$\mathfrak{a}_{0,\infty}[u] = \int_0^\infty \left| u'(x) - \frac{u(x)}{2x} \right|^2 dx\,, \;\; dom\left(\mathfrak{a}_{0,\infty}\right) \supset H_0^1(\mathbb{R}_+) \dot{+} span\{u_\alpha(x)\},$$

где $u_\alpha(x) := x^{\frac{1}{2}} |\ln(x)|^{-\alpha} \xi(x)$, $0 < \alpha \leq \frac{1}{2}$. Функции $u_\alpha(x)$ являются линейно независимыми. При этом $dim \dim\left(dom\left(\mathfrak{a}_{0,\infty}/H_0^1(\mathbb{R}_+)\right)\right) = \infty$;

(iii) при $\nu \in [0,1)$ фридрихсово расширение $A_{\nu,\infty,_F}$ *имеет вид:*

$$dom\left(A_{\nu,\infty,_F}\right) = H_0^2(\mathbb{R}_+) \dot{+} span\{x^{1/2+\nu} \xi(x)\}.$$

Теорема 3 усиливает и дополняет результаты работ [6] и [2]. Например, при $\nu \in (0,1)$ в [2] показано лишь, что $dom\left(A_{\nu,\infty,_F}\right)$ плотна в $H_0^1(\mathbb{R}_+)$.

1. Ахиезер Н.И., Глазман И.М. Теория линейных операторов в гильбертовом пространстве. – М.: Наука, 1966. 544 с.
2. Bruneau L., Derezirnski J., Georgescu V. Homogeneous Schrodinger Operators on Half-Line. Ann. Henri Poincare. – 2011. – V. 12. – P. 547–590.
3. Everitt W.N., Kalf H. The Bessel differential equation and the Hankel transform // J. of Comput. and App. Math. – 2007. – V. 208. – P. 3–19.
4. Fulton C. Titchmarsh–Weyl m–functions for second–order Sturm–Liouville problems with two singular endpoints. Math. Nachr. – 2008. – V. 281. N 10. – P. 1418–1475.
5. Fulton C., Langer H. Sturm–Liouville operators with singularities and generalized Nevanlinna functions. Comp. Anal. and Opera. Th. – 2010. – V. 4. N 2. – P. 179–243.
6. Kalf H. A Characterization of the Friedrichs Extension of Sturm-Liouville Operators // J. London Math. Soc. – 1978. – V. 17. N 2. – P. 511–521.
7. Kostenko A., Teschl G. On the singular Weyl–Titchmarsh function of perturbed spherical Schrodinger operators. J. Diff. Eqs. – 2011. – V. 250. – P. 3701–3739.

УДК 517.968

ОДНОМЕРНЫЙ ОПЕРАТОР ШРЁДИНГЕРА С НЕОГРАНИЧЕННЫМ ПОТЕНЦИАЛОМ И ТОЧЕЧНЫМИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯМИ

Ананьева А.Ю.
ГУ «Институт прикладной математики и механики», г. Донецк
ananeva89@gmail.com

Пусть $\mathbb{R}_+ = (0, +\infty)$, $X = \{x_n\}_{n=1}^{\infty} \subset \mathbb{R}_+$ – строго возрастающая последовательность, причем $x_n \uparrow +\infty$. Обозначим $x_0 := 0$, $d_n := x_n - x_{n-1}$, $n \in \mathbb{N}$, и

$$d_* := \inf_{n\in\mathbb{N}} d_n = \inf_{n\in\mathbb{N}} (x_n - x_{n-1}), \quad d^* := \sup_{n\in\mathbb{N}} d_n = \sup_{n\in\mathbb{N}} (x_n - x_{n-1}).$$

Рассмотрим дифференциальное выражение

$$\ell_{X,\alpha,q} := -\frac{d^2}{dx^2} + q(x) + \sum_{x_n\in X} \alpha_n \delta(x - x_n), \quad \alpha_n \in \mathbb{R}, \quad x \geq 0, \tag{1}$$

и минимальный симметрический оператор $H_{X,\alpha,q}$, ассоциированный с (1) в $L^2(\mathbb{R}_+)$ Этот оператор интерпретируют как гамильтониан δ взаимодействий интенсивностей $\alpha_n \in \mathbb{R}$ в центрах $x = x_n$.

В последние годы оператор $H_{X,\alpha,q}$ активно изучался разными методами в [1–12] (см. также обзор литературы в [13]). Так, например, самосопряженность оператора $H_{X,\alpha,q}$ была исследована в [3, 4, 10]; полуограниченность снизу изучалась в [2, 3, 5 и 12]. В этих же работах [2, 5, 12] найдены условия дискретности спектра оператора $H_{X,\alpha,q}$.

В работе [12] спектральные свойства (самосопряженность, полуограниченность снизу и дискретность спектра) оператора $H_{X,\alpha,q}$ в случае $d_* = 0$ и $q \in L^\infty(\mathbb{R}_+)$ исследованы при помощи аппарата граничных троек и соответствующих им функций Вейля ([14]). Мы исследуем спектральные свойства оператора $H_{X,\alpha,q}$ методами работы [12] в случае $d_* = 0$ и неограниченного ступенчатого потенциала

$$q(x) = q_n \geq 0, \qquad x \in (x_{n-1}, x_n), \quad n \in \mathbb{N}, \tag{2}$$

при условии

$$\sup_{n\in\mathbb{N}} d_n \sqrt{q_n} =: c < \infty. \tag{3}$$

Пусть $H^0_{X,\alpha,q}$ – преминимальный оператор, задаваемый дифференциальным выражением

$$\tau_q := -\frac{d^2}{dx^2} + q(x) \tag{4}$$

на области

$$\mathrm{dom}(H^0_{X,\alpha,q}) = \left\{ f \in W^{2,2}_{\mathrm{comp}}(\mathbb{R}_+ \backslash X) : f'(0) = 0, \begin{array}{l} f(x_n+) = f(x_n-) \\ f'(x_n+) - f'(x_n-) = \alpha_n f(x_n) \end{array}, n \in \mathbb{N} \right\}.$$

Ясно, что $H^0_{X,\alpha,q}$ – симметрический оператор. Определим $H_{X,\alpha,q}$ как замыкание оператора $H^0_{X,\alpha,q}$ в $L^2(\mathbb{R}_+)$. Вообще говоря, оператор $H_{X,\alpha,q}$ симметричен, но не обязательно самосопряжен (см., например, [12, 7]).

Будем рассматривать оператор $H_{X,\alpha,q}$ как расширение следующего симметрического оператора

$$H_{min} = \bigoplus_{n=1}^{\infty} H_n, \qquad H_n = -\frac{d^2}{dx^2} + q_n, \quad dom(H_n) = W_0^{2,2}[x_{n-1}, x_n].$$

Ясно, что H_{min} замкнутый оператор с индексами дефекта $n_\pm(H_{min}) = \infty$, и более того $H_{max} := H^*_{min} = \bigoplus_{n=1}^{\infty} H^*_n$, и $dom(H_{max}) \subseteq W^{2,2}(\mathbb{R}_+ \backslash X) = \bigoplus_{n=1}^{\infty} W^{2,2}(x_{n-1}, x_n)$.

Спектральные свойства оператора $H_{X,\alpha,q}$ эквивалентны соответствующим спектральным свойствам определенных якобиевых матриц.

Сформулируем некоторые условия дискретности спектра оператора $H_{X,\alpha,q}$.

Предложение 1. Пусть $H_{X,\alpha,q} = H^*_{X,\alpha,q}$, $\lim_{n\to\infty} d_n = 0$. Предположим, что $\alpha_n \in \mathbb{R}$ и выполнены следующие условия

$$\lim_{n\to\infty} \frac{\left|\alpha_n + M_2(\sqrt{q_n} + \sqrt{q_{n+1}})\right|}{d_n + d_{n+1}} = \infty,$$

$$\lim_{n\to\infty} q_{n+1} M_1^{-2}\left(\alpha_n + M_2(\sqrt{q_n} + c\sqrt{q_{n+1}})\right)^{-1}\left(\alpha_{n+1} + M_2(\sqrt{q_{n+1}} + c\sqrt{q_{n+2}})\right)^{-1} < \frac{1}{4}.$$

Тогда оператор $H_{X,\alpha,q}$ имеет дискретный спектр.

В случае полуограниченности $H_{X,\alpha,q}$, в частности при $\alpha_n > 0$, утверждение предложения 1 вытекает из аналога критерия Молчанова, полученного в [2].

Предложение 2. Предположим, что $H_{X,\alpha,q} = H^*_{X,\alpha,q}$, $\lim_{n\to\infty} d_n = 0$, а также $\lim_{n\to\infty} d_n\sqrt{q_n} = 0$. Тогда спектр оператора $H_{X,\alpha,q}$ дискретен, если выполнены следующие условия:

$$\lim_{n\to\infty}\left|\frac{\alpha_{n-1}}{d_n} + q_n\right| = \infty, \quad \lim_{n\to\infty}\frac{1}{d_n(\alpha_n + q_{n+1}d_{n+1})} > -\frac{1}{4} \quad \text{и} \quad \lim_{n\to\infty}\frac{1}{d_n\alpha_{n-1}} > -\frac{1}{4}.$$

Легко видеть, что оператор $H_{X,0,q} =: H^N_q$ является реализацией Неймана для выражения (1), и

$$dom(H^N_q) = dom(H_{X,0,q}) \subset \{W^{2,2}(\mathbb{R}_+): f'(0) = 0\}.$$

Предложение 3. Пусть $d^* < \infty$. Если $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{|\alpha_n|}{d_{n+1}} < \infty$, то абсолютно непрерывные части операторов $H_{X,\alpha,q}$ и H^N_q унитарно эквивалентны. В частности, $\sigma_{ac}(H_{X,\alpha,q}) = \sigma_{ac}(H^N_q)$. Если, к тому же, $q \in L^1(\mathbb{R}_+)$, то $\sigma_{ac}(H_{X,\alpha,q}) = \mathbb{R}_+$.

1. Albeverio S., Gesztesy F. ., Hoegh-Krohn R, Holden H. Solvable Models in Quantum Mechanics. 2nd edn. – AMS Chelsea Publ., 2005.
2. Albeverio S., Kostenko A.S., Malamud M.M. Spectral theory of semi-bounded Sturm-Liouville operators with local interactions on a discrete set// J. Math. Phys. – 2010. – 51. №10. – 24 p.

3. Brasche J. F. Perturbation of Schrödinger Hamiltonians by measures - selfadjointness and semiboundedness// J. Math. Phys. – 1985. – 26. – P. 621–626.
4. Gesztesy F., Kirsch W. One-dimensional Schrödinger operators with interactions singular on a discrete set// J. reine Angew. Math. – 1985. – P. 27–50.
5. Исмагилов Р. С., Костюченко А. Г. Об асимптотике спектра оператора Штурма-Лиувилля с точечным взаимодействием// Функц. анализ и его прил. – Т. 44. №4. – С. 14–20.
6. Кочубей А.Н. Об асимптотике спектра оператора Штурма–Лиувилля с точечным взаимодействием// Укр. матем. ж. – 1989. – Т. 41. №10. – С. 1391–1395.
7. Мирзоев К.А. Операторы Штурма-Лиувилля // Труды ММО. – 2014. – Т. 75. №2. – С. 335–339.
8. Mirzoev K.A. New limit-point criteria for Sturm-Liouville operator// Proc. Inst. Math. Mech. , Natl. Acad. Sci. Azerb. – 2014. – 40. – P. 290–299.
9. Михайлец В.А. Одномерный оператор Шредингера с точечными взаимодействиями// Функц. анализ и его прил. – 1996. – Т. 30. №2. – С. 90–93.
10. Shubin Christ C.,. Stolz G. Spectral theory of one-dimentional Schr¨odinger operators with point interactions //J. Math. Anal. Appl. – 1994. – 184. – P. 491–516.
11. Савчук А. М., Шкаликов А. А. Операторы Штурма Лиувилля с потенциалами-распределениями// Труды ММО. – 2003. – Т. 64. – С. 159–212.
12. Kostenko A.S., Malamud M.M. 1-D Schrödinger operators with local point interactions on a discrete set// J. Differential Equations. – 2010. – 249. – P. 253–304.
13. Kostenko A.S., Malamud M.M. 1–D Schrödinger operators with local point interactions: a review// Proc. Symp. Pure Math. – 2013. – 87. – P. 232–262.
14. Derkach V.A., Malamud M.M. Generalised Resolvents and the boundary value problems for Hermitian Operators with gaps// J. Funct. Anal. – 1991. – 95. – P. 1–95.

УДК 517.5

ТЕОРЕМЫ ЕДИНСТВЕННОСТИ ДЛЯ ФУНКЦИЙ С НУЛЕВЫМИ ВЗВЕШЕННЫМИ СФЕРИЧЕСКИМИ СРЕДНИМИ

Волчков Вал.В., Волчков Вит.В.
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк
valeriyvolchkov@gmail.com

В современных исследованиях особое внимание уделяется различным обобщениям интегрально-геометрических преобразований, в которых рассматривается интегрирование функций с некоторым весом (см. [4–6, 9, 10]). Как правило, при их исследовании возникают нетривиальные трудности, преодоление которых требует новых идей и методов. Например, при изучении преобразования Радона с весом потребовалось, в отличие от классической ситуации, привлечение техники микролокального анализа (см. [4–6]). Проблемы, связанные с описанием ядра таких преобразований, имеют важное значение для многочисленных приложений в ряде вопросов анализа (см. [7, часть 5]). В данной работе изучаются классы непрерывных функций на областях сферы, имеющих нулевые интегралы с заданным весом по замкнутым геодезическим. Для указанных классов получены новые теоремы единственности, которые носят окончательный характер.

Пусть S^2 – стандартная единичная сфера в трехмерном евклидовом пространстве $\boldsymbol{R}^3$, ξ_1, ξ_2, ξ_3 – декартовы координаты точки $\xi \in S^2$, $\mathcal{P}_M(\xi) = (\xi_1 + i\xi_2)^M$ ($M \in \boldsymbol{Z}_+$), $O(3)$ – ортогональная группа в $\boldsymbol{R}^3$. Положим

$$\mathcal{R}_M(K_\delta) = \left\{ f \in C(K_\delta) : \int_{E_0} f(\tau\xi)\mathcal{P}_M(\xi)dl(\xi) = 0 \quad \forall \tau \in O(3) : \tau E_0 \subset K_\delta \right\},$$

где $K_\delta = \{\xi \in S^2 : \delta < d(o,\xi) < \pi - \delta\}$, $0 \le \delta < \pi/2$, $E_0 = \left\{ \xi \in S^2 : d(o,\xi) = \frac{\pi}{2} \right\}$, $d(\cdot,\cdot)$ – внутренняя метрика на S^2, $o = (0,0,1)$. Отметим, что выбор веса $\mathcal{P}_M$ в интегралах мотивирован естественными обобщениями уравнений свертки на S^2 с радиальными распределениями, теория которых активно развивается в последнее время (см. [7–9]).

Обозначим через S_r окружность на S^2 радиуса r с центром в точке o, т. е. $S_r = \{\xi \in S^2 : d(o,\xi) = r\}$. Отметим, что точка (ξ_1, ξ_2, ξ_3) сферы S^2 принадлежит S_r тогда и только тогда, когда $\xi_3 = \cos r$. Положим

$$C_M(K_\delta) = \left\{ f \in C(K_\delta) : f(-\xi) = (-1)^M f(\xi), \forall \xi \in K_\delta \right\}.$$

Следующий результат уточняет и обобщает известную теорему о носителе на сфере (см. [1, гл. 3, теорема 1.25], [3], [4]).

Теорема 1. *(i) Пусть $0 \le \delta < \pi/2$, $f \in (\mathcal{R}_M \cap C_M)(K_\delta)$ и для некоторой окружности $S_r \subset K_\delta$ функция $f(\xi)(\xi_3 - \cos r)^{-m}$ принадлежит классу L^∞ в некоторой окрестности S_r при любом $m \in \boldsymbol{N}$. Тогда $f=0$.*

(ii) Для любых $m \in \boldsymbol{N}$ и $r \in (0,\pi)$ существуют ненулевые функции $f \in (\mathcal{R}_M^\infty \cap C_M)(K_0)$ и $g \in C^\infty(K_0)$ такие, что $f(\xi) = (\xi_3 - \cos r)^m g(\xi)$ при всех $\xi \in K_0$.

Сравнивая этот результат с указанной выше теоремой о носителе, отметим, что условие ограниченности в теореме 1 (i) выполнено, например, если $f \in C^\infty$ в некоторой окрестности окружности S_r и все производные функции f равны нулю на S_r. Из второго утверждения теоремы 1 следует, что для любых $m \in \boldsymbol{N}$ и $S_r \subset K_\delta$ существует ненулевая функция $f \in (\mathcal{R}_M \cap C_M)(K_0)$, имеющая на S_r все нулевые производные до порядка m-1 включительно. Отметим также, что известные ранее доказательства теоремы о носителе на сфере были основаны на теореме о носителе для евклидовой плоскости (см. [2, гл. 1]) и не работали в случае $S_r \ne E_0$.

Теорема 2. *(i) Пусть $0 \le \delta < \pi/2$ и E – бесконечное множество точек на интервале $(\delta, \delta - \pi)$. Тогда, если $f \in (\mathcal{R}_M \cap C_M)(K_\delta)$ и $f(\xi) = 0$ при $d(o,\xi) \in E$, то $f(\xi) = 0$ в K_δ.*

(ii) Для любого конечного множества $E \subset (0,\pi)$ существует ненулевая функция $f \in (\mathcal{R}_M^\infty \cap C_M)(K_0)$ такая, что $f(\xi) = 0$ при $d(o,\xi) \in E$.

Следующий результат указывает характер допустимого роста (или убывания) ненулевых функций класса $(\mathcal{R}_M \cap C_M)(K_0)$ при $\xi \to o$.

Теорема 3. *(i) Пусть $f \in (\mathcal{R}_M \cap C_M)(K_0)$ и*

$$f(\xi)=o\left((1-\xi_3)^{\frac{M}{2}sign\left(M-\frac{3}{2}\right)-1}\right) \text{ при } \xi\to o.$$

Тогда $f(\xi)=0$.

(ii) Существует ненулевая функция $f\in(\mathcal{R}_M^{\infty}\cap C_M)(K_0)$ *такая, что*

$$f(\xi)=O\left((1-\xi_3)^{\frac{M}{2}sign\left(M-\frac{3}{2}\right)-1}\right) \text{ при } \xi\to o.$$

Отметим, что результаты такого типа для функций с нулевыми сферическими средними в евклидовом пространстве восходят к Ф. Йону [2]. Дальнейшие уточнения и обобщения для некомпактных симметрических пространств были получены во многих работах (см. [7–9] и имеющуюся там библиографию).

1. Helgason S. Integral Geometry and Radon Transforms. – New York: Springer, 2010. – 301 p.
2. John F. Plane Wales and Spherical Means Applied to Partial Differential Equations. – New York: Interscience, 1955.
3. Kurusa A. Support theorems for the totally geodesic Radon transform on constant curvature spaces // Proc. Amer. Math. Soc. – 1994. – V. 122. – P. 429-435.
4. Quinto E.T. The invertibility of rotation invariant Radon transforms // J. Math. Anal. Appl. – 1983. – V. 91. – P. 510-521.
5. Quinto E. T. Pompeiu transforms on geodesic spheres in real analytic manifolds // Israel J. Math. – 1993. – V. 84. – P. 353--363.
6. Quinto E. T. Radon transforms on curves in the plane // Tomography, Impedance Imaging, and Integral Geometry. – 1994. – V. 30. – P. 231-244.
7. Volchkov V. V. Integral Geometry and Convolution Equations. – Dordrecht: Kluwer Acad. Publ., 2003. – 454 p.
8. Volchkov V. V., Volchkov Vit. V. Harmonic Analysis of Mean Periodic Functions on Symmetric Spaces and the Heisenberg Group. – London: Springer, 2009. – 671 p.
9. Volchkov V. V., Volchkov Vit. V. Offbeat Integral Geometry on Symmetric Spaces. – Basel: Birkhäuser-Springer, 2013. – 592 p.
10. Zhou Y. Two radius support theorem for the sphere transform // J. Math. Anal. Appl. – 2001. – V. 254. – P. 120-137.

УДК 517.5

ГАРМОНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВЕКТОРНЫХ ПОЛЕЙ НА ЕВКЛИДОВЫХ ПРОСТРАНСТВАХ

Волчкова Н.П.

ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк

volna936@gmail.com

Пусть $\mathscr{P}$ – множество функций $f\in C^1(\mathbb{R})$, удовлетворяющих условию периодичности

$$f(x-1)-f(x+1)=0, \qquad x\in\mathbb{R}. \tag{1}$$

Согласно теории рядов Фурье, f можно разложить в равномерно сходящийся тригонометрический ряд

$$f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{m=1}^{\infty} (a_m \cos \pi m x + b_m \sin \pi m x), \tag{2}$$

т.е. представить f в виде суммы константы $a_0/2$ и последовательности функций $\{f_m\}_{m=1}^{\infty}$, принадлежащих $\mathscr{P}$ и удовлетворяющих дифференциальным уравнениям $f_m''(x) + \pi^2 m^2 f_m(x) = 0$.

Если рассматривать f как векторное поле в $\mathbb{R}$, то условие (1) означает, что f имеет нулевой поток через любую нульмерную сферу единичного радиуса. Таким образом, равенство (2) дает представление для полей с нулевым потоком через все сферы единичного радиуса. Этот факт допускает нетривиальное обобщение на векторные поля в $\mathbb{R}^n$. При этом, константа $\frac{a_0}{2}$ интерпретируется как соленоидальное векторное поле, а $\{f_m\}$ заменяются на потенциальные векторные поля, удовлетворяющие уравнению для собственных функций оператора Лапласа ∇^2. Указанное утверждение является частным случаем следующего локального результата Д. Смита [1].

Теорема А. *Пусть* $A : B_{R+1} \to \mathbb{R}^n$ $(1 < R \le \infty)$ *- векторное поле в* $\mathbb{R}^n$ *класса* $C^{n+\alpha}$ $(0 < \alpha < 1)$, *имеющее нулевой поток через любую сферу единичного радиуса, лежащую в* B_{R+1}. *Тогда для* $x \in B_R$ *имеет место равенство*

$$A(x) = A^s(x) + \sum_{m=1}^{\infty} A_m^p(x), \tag{3}$$

в котором ряд сходится равномерно на компактах из B_R, A^s *– соленоидальное векторное поле класса* $C^{n+\alpha}$ *и* A_m^p *– потенциальные векторные поля, удовлетворяющие уравнению* $\left(\nabla^2 + \nu_m^2\right) A_m^p = 0$, *где* $\{\nu_m\}_{m=1}^{\infty}$ *– последовательность всех положительных нулей функции Бесселя* $J_{n/2}$, *занумерованных в порядке возрастания. Указанное разложение является единственным.*

Символ B_R в теореме А и ниже обозначает открытый шар из $\mathbb{R}^n$ радиуса R с центом в нуле. Класс $C^{n+\alpha}$ определяется как класс таких функций $f \in C^n$, у которых частные производные порядка n удовлетворяют условию Гельдера с показателем α.

Одним из существенных недостатков теоремы А является отсутствие разложения (3) на всей области определения. В данной работе получено

полное описание полей $A: B_R \to \mathbb{R}^n$ ($0 < R \le \infty$), имеющих нулевой поток через все сферы фиксированного радиуса r из B_R.

Пусть $r > 0$ фиксировано. При $r < R \le \infty$ обозначим $V_r(B_R)$ множество непрерывных векторных полей $A: B_R \to \mathbb{R}^n$, имеющих нулевой поток через все сферы радиуса r, лежащие в B_R.

Далее, как обычно, S^{n-1} – единичная сфера из $\mathbb{R}^n$ с центом в нуле, $\mathscr{H}_k$ – пространство сферических гармоник степени k на S^{n-1}. Пространство $L^2(S^{n-1})$ является прямой суммой попарно ортогональных пространств $\mathscr{H}_k$, $k = 0, 1, \ldots$ (см., например, [2, введение, § 3]). Пусть d_k – размерность $\mathscr{H}_k$, $\{Y_l^{(k)}\}_{l=1}^{d_k}$ – фиксированный ортонормированный базис в $\mathscr{H}_k$. Для точки $x \in \mathbb{R}^n$ положим $\rho = |x|$, а если $x \ne 0$, то $\sigma = x/|x|$. Функция $Y_l^{(k)}$ продолжается до однородного гармонического многочлена степени k в $\mathbb{R}^n$ по формуле $Y_l^{(k)}(x) = \rho^k Y_l^{(k)}(\sigma)$. Всякой функции $f \in L^{1,loc}(B_R)$ соответствует ряд Фурье

$$f(x) = \sum_{k=0}^{\infty} \sum_{l=1}^{d_k} f_{k,l}(\rho) Y_l^{(k)}(\sigma), \qquad \rho \in (0, R),$$

где

$$f_{k,l}(\rho) = \int_{S^{n-1}} f(\rho\sigma) \overline{Y_l^{(k)}(\sigma)} d\sigma.$$

Обозначим через ${}_1F_2(a_1; b_1, b_2; t)$ гипергеометрическую функцию, определяемую равенством

$${}_1F_2(a_1; b_1, b_2; t) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(a_1)_k}{(b_1)_k (b_2)_k} \frac{z^k}{k!}, \tag{4}$$

где

$$(a)_0 = 1, \quad (a)_k = a(a+1)\ldots(a+k-1), \quad k = 1, 2, \ldots$$

(см., например, [3, гл. 4]).

Теорема 1. *Пусть* $A: B_R \to \mathbb{R}^n$ *- векторное поле класса* C^∞. *Тогда* A *принадлежит* $V_r(B_R)$ *в том и только том случае, когда*

$$A(x) = A^s(x) + B(x)x, \quad x \in B_R, \tag{5}$$

где A^s *– соленоидальное векторное поле класса* C^∞, B *– скалярное поле, коэффициенты Фурье которого представимы рядами*

$$B_{k,l}(\rho) = \sum_{m=1}^{\infty} \gamma_{m,k,l}\, \rho^k\, {}_1F_2\left(\frac{n+k}{2}; \frac{n+k}{2} + 1, \frac{n}{2} + k; -\left(\frac{\nu_m \rho}{2r}\right)^2\right),$$

в которых константы $\gamma_{m,k,l}$ *убывают быстрее любой степени* ν_m *при* $m \to \infty$.

Таким образом, в отличие от теоремы А, теорема 1 дает разложение для полей A из рассматриваемого класса на всей области определения. Отметим также, что теорема 1 является развитием результатов В.В. Волчкова об описании функций с нулевыми интегралами по сферам фиксированного радиуса на случай векторных полей (см. [4], а также [5–7]).

1. Smith J. Harmonic analysis of scalar and vector fields in $\mathbb{R}^n$ // Proc. Camb. Phil. Soc. – 1972. – V. 72. – P. 403–416.
2. Helgason S. Groups and Geometric Analysis. – New York: Academic Press, 1984. – 735 p.
3. Бейтмен Г., Эрдейи А. Высшие трансцендентные функции. Т. 1, 2. – М.: Наука, 1973, 1974. – 296 с.
4. Волчков В.В. Окончательный вариант локальной теоремы о двух радиусах // Мат. сборник. – 1995. – Т. 186, № 6. – С. 15–34.
5. Volchkov V.V. Integral Geometry and Convolution Equations. – Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003. – 454 pp.
6. Volchkov V.V., Volchkov Vit.V. Harmonic Analysis of Mean Periodic Functions on Symmetric Spaces and the Heisenberg Group. – London: Springer-Verlag, 2009. – 671 pp.
7. Volchkov V.V., Volchkov Vit.V. Offbeat Integral Geometry on Symmetric Spaces. – Basel: Birkhäuser, 2013. – 592 pp.

УДК 517.9

НЕКОТОРЫЕ ОТКРЫТЫЕ ПРОБЛЕМЫ В МОДЕЛЯХ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

Дегтярев С.П., Коломиец Ю.В.

ГУ «Институт прикладной математики и механики», г. Донецк

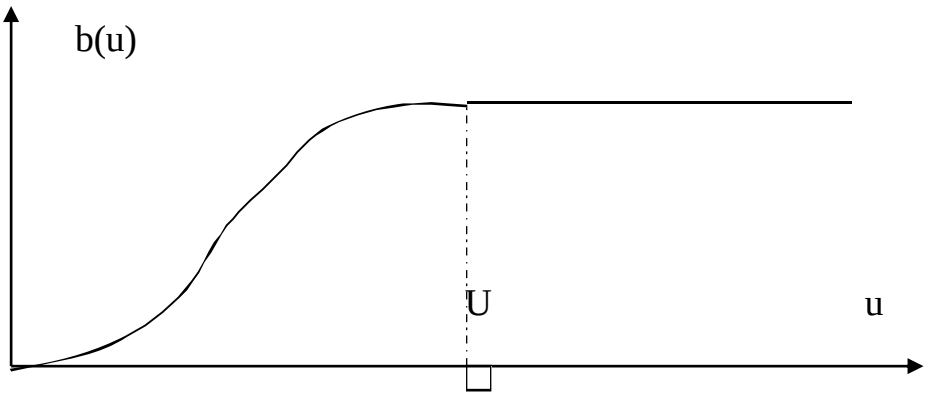
degtyar@i.ua

Мы рассмотрим две открытые проблемы корректности современных математических моделей в теории фильтрации в пористой среде и в теории тонких пленок. Обе эти проблемы касаются корректности так называемых задач со свободной границей.

Первая модель касается процесса фильтрации, например, жидкости в частично насыщенной пористой среде. Она описывается следующим уравнением

$$\frac{\partial b(u)}{\partial t} - \sum_{i=1}^{N} \frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial x_i^{\,2}} = f(x,t,u). \qquad (1)$$

Здесь t – время, x – пространственные координаты, неизвестная функция $u(x,t)$ имеет смысл давления в фильтрующейся жидкости, а заданная нелинейная функция $b(u)$ представляет собой зависимость плотности жидкости от давления в ней и имеет следующий вид



То есть, при $u>U$ функция $b(u)$ уже не изменяется и является константой. Область, где давление $u>U$ соответствует полному насыщению пористой среды, когда никаким повышением давления нельзя увеличить плотность находящейся в этой области жидкости. Пусть фильтрующаяся жидкость занимает объем Q. Обозначим область, где в момент времени t выполнено неравенство $u>U$ через $Q1(t)$ (это область полного насыщения), а оставшуюся область – через $Q2(t)$. Так как в области $Q1(t)$ функция $b(u)$ является константой, то ее производная равна нулю в этой области и первое слагаемое в уравнении (1) пропадает, а само уравнение становится эллиптическим в этой области. В то же время, в области $Q2(t)$ первое слагаемое сохраняется и само уравнение является параболическим. Сама граница раздела между областями $Q1(t)$ и $Q2(t)$ является одним из главных неизвестных задачи. К настоящему времени неизвестно даже, следует ли из описанной математической модели, что такая граница вообще существует.

Этот вопрос можно сформулировать несколько иначе. Предположим, что в начальный момент времени $t>0$ области $Q1(0t)$ и $Q2(0)$ разделены четкой гладкой границей. Следует ли из описанной модели, что эти области, изменяясь с течением времени, будут и далее разделены четкой границей, или они перемешаются с течением времени? Ответ на этот вопрос остается пока открытой математической проблемой.

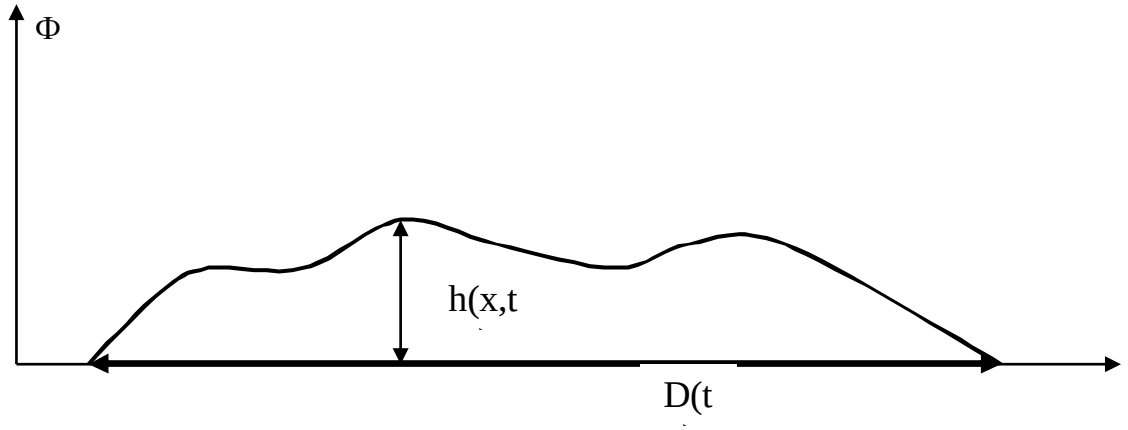
Другая модель описывает поведение жидкой тонкой пленки на некоторой поверхности. Она получена из системы уравнений Навье-Стокса асимптотическим предельным переходом по толщине пленки. Пусть в момент времени $t>0$ пленка занимает на поверхности область $D(t)$ и пусть толщина пленки в этот момент времени в точке из $D(t)$ с координатами $x=(x1,x2)$ равна $h(x,t)$.

Функция $h(x,t)$ описывает поведение пленки с течением времени и удовлетворяет уравнению четвертого порядка

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \nabla\left(h^n \nabla \Delta h\right) = 0,\ h\big|_{D(t)} = 0,\ \frac{\partial h}{\partial n}\bigg|_{D(t)} = 1.$$

Отметим, что область $D(t)$ также относится к числу неизвестных задачи. Пусть в начальный момент времени $t=0$ пленка занимает область $D(0)$, ограниченную вполне определенной гладкой кривой. Вопрос: обеспечивает ли описанная модель такое решение $(D(t), h(x,t))$, что и при $t>0$ область $D(t)$

остается ограниченной определенной кривой, или ее границы «размываются»? Ответ на этот вопрос также остается открытой математической проблемой.



Отметим, что в последние годы в отделе Уравнений математической физики ГУ «Института прикладной математики и механики» разработаны некоторые подходы и методы для решения описанных задач. Эти подходы в общем идейном плане основаны на абстрактных вариантах теоремы о неявной функции. Для конкретного же применения этих абстрактных вариантов были разработаны подходы к изучению краевых задач для параболических и эллиптических уравнений с вырождением на границе области в классах гладких функций. Кроме того были разработаны необходимые методы изучения неклассических постановок краевых задач, включая краевые задачи с различного вида динамическими граничными условиями. На основании имеющихся подходов были рассмотрены достаточно широкие важные подклассы описанных задач. Все это позволяет надеяться на успешное исследование упомянутых проблем в полном объеме в будущем.

Мы не приводим списка литературы по упомянутым вопросам, так как он очень обширен и содержит множество аспектов рассматриваемых проблем, по каждому из которых существует своя собственная библиография.

УДК 517.5

О ПОВЕДЕНИИ НА ВЫПУКЛЫХ МНОЖЕСТВАХ ФУНКЦИЙ С НУЛЕВЫМИ ИНТЕГРАЛАМИ ПО ШАРАМ ФИКСИРОВАННОГО РАДИУСА

Зарайский Д.А.
ГУ «Институт прикладной математики и механики», г. Донецк
d.zaraisky@gmail.com

Пусть $B_r(a)$ – открытый шар радиуса r с центром в a в евклидовом пространстве $\mathbf{R}^n$. Будем обозначать $V_r(U)$ множество всех локально

интегрируемых функций, определённых на открытом множестве $U \subset \mathbf{R}^n$, имеющих нулевые интегралы по всем замкнутым шарам радиуса r, лежащим в U. По-другому класс V_r может быть определён как множество решений уравнения свёртки: $V_r(U) = \{ f \in L_{loc}(U) : f * \chi_{B_r} = 0 \}$, где χ_{B_r} – индикатор шара $B_r = B_r(0)$. Класс V_r изучался многими авторами, см., например, [1] и приведённые там ссылки.

Пусть U – выпуклое открытое множество, не содержащее ни одного замкнутого шара радиуса r. В этом случае, по определению, $V_r(U)$ совпадает с $L_{loc}(U)$. Тогда, согласно аппроксимационной теореме Хёрмандера – Мальгранжа, [2, т. 16.4.1], применённой к случаю уравнения $f * \chi_{B_r} = 0$, любая бесконечно дифференцируемая функция из $V_r(U)$ может быть аппроксимирована в $C^\infty(U)$ функциями из $\left(V_r \cap C^\infty\right)(\mathbf{R}^n)$ (точнее, линейными комбинациями принадлежащих $V_r(\mathbf{R}^n)$ функций вида $e^{i\langle \bullet, y\rangle}$, $y \in \mathbf{R}^n$).

Отсюда с помощью сглаживания нетрудно вывести, что если A – компактное выпуклое множество, не содержащее ни одного шара радиуса r, то множество ограничений на A всех функций из $\left(V_r \cap C^\infty\right)(\mathbf{R}^n)$ плотно в $L^p(A)$, $p \in [1, \infty)$.

В настоящей работе мы уточняем этот результат в следующем смысле: мы устанавливаем, при каких условиях на выпуклое множество A для произвольной функции $f_A \in L^2(A)$ найдётся $f \in L^2_{loc}(\mathbf{R}^n)$ с нулевыми интегралами по всем шарам радиуса r, ограничение которой на множество A совпадает с f_A.

Теорема 1. *Пусть диаметр измеримого множества A не превосходит $2r$, $r > 0$, и функция f_A принадлежит $L^2(A)$. Если множество A является замкнутым шаром радиуса r, из которого выброшено множество лебеговой меры 0, то пусть, кроме того,*

$$\int_A f_A(x)\, dx = 0.$$

Тогда f_A продолжается до функции $f \in L^2_{loc}(\mathbf{R}^n)$ с нулевыми интегралами по всем шарам радиуса r.

Дополнительное требование в условии теоремы в случае, когда A шар, является, очевидно, необходимым.

Для выпуклых множеств A положительной меры значение $2r$ в теореме 1 является точным: если диаметр такого множества больше $2r$, то A удовлетворяет условиям следующей теоремы 2, и продолжение, вообще говоря, не имеет места.

Теорема 2. *Если внутренность измеримого множества содержит две точки, удалённые на расстояние $2r$, и a – середина отрезка, соединяющего эти точки, то существует непрерывная функция на A, не продолжимая до функции из $V_r(B_{r+\varepsilon}(a))$ ни для какого $\varepsilon > 0$.*

Отметим, что возможна ситуация (например, если A – достаточно вытянутая фигура), когда множество ограничений на A всех функций из $\left(V_r \cap L^2_{loc}\right)(\mathbf{R}^n)$ плотно в $L^2(A)$, но не совпадает с ним.

Имеет место аналогичный результат для класса локально интегрируемых функций с нулевыми интегралами по почти всем сферам радиуса r, лежащим в области определения функции. Обозначим этот класс U_r.

Теорема 3. *Если диаметр измеримого множества A не превосходит $2r$, $r>0$, то произвольная $f_A \in L^2(A)$ продолжается до функции из $\left(U_r \cap L^2_{loc}\right)(\mathbf{R}^n)$.*

Если же внутренность множества A содержит две точки, удалённые на расстояние $2r$, и a – середина отрезка, соединяющего эти точки, то существует непрерывная функция на A, не продолжимая до функции из $U_r(B_{r+\varepsilon}(a))$.

Заметим, что в случае, когда A – замкнутый шар радиуса r, на функцию f_A не налагается никакого условия, аналогичного условию равенства нулю интеграла f_A в теореме 1.

1. *Volchkov V.V., Volchkov Vit.V.* Harmonic Analysis of Mean Periodic Functions on Symmetric Spaces and the Heisenberg Group. – Springer, London, 2009.
2. *Хёрмандер Л.* Анализ линейных дифференциальных операторов с частными производными. – Том 2. – Мир, М., 1986.

УДК 517.5

ЗАДАЧА О ПОЛОЖИТЕЛЬНОЙ ОПРЕДЕЛЁННОСТИ КУСОЧНО-ЛИНЕЙНОЙ ФУНКЦИИ И ЕЁ ОБОБЩЕНИЕ

Заставный В.П.

ГУ «Институт прикладной математики и механики», г. Донецк

zastavn@rambler.ru

В [1] автором и Мановым рассмотрена и решена следующая задача. Для заданных $\alpha \in (0,1)$ и $h \in \mathbb{R}$ чётную функцию $f_{\alpha,h}$ определим следующим образом: $f_{\alpha,h}(x)=0$ при $x \geq 1$, а на каждом отрезке $[0,\alpha]$ и $[\alpha,1]$ функция $f_{\alpha,h}(x)$ является линейной и $f_{\alpha,h}(0)=1$, $f_{\alpha,h}(\alpha)=h$, $f_{\alpha,h}(1)=0$. Для каждого фиксированного $\alpha \in (0,1)$ требуется найти множество всех $h \in \mathbb{R}$, для которых кусочно-линейная функция $f_{\alpha,h}$ является положительно определённой на $\mathbb{R}$.

Эту же задачу можно сформулировать иначе. Пусть $f(x)=(1-|x|)_+$ и $a>1$. Требуется определить все вещественные λ, при которых функция $\lambda f(x)+(1-\lambda)f(ax)$ является положительно определённой на $\mathbb{R}$. Связь между старыми и новыми параметрами определяется из равенств: $\alpha a=1$,

$h=\lambda(1-\alpha)$. В таком виде первоначальная задача легко обобщается для положительно определённых на $\mathbb{R}^n$ функций f. При этом метод решения остаётся тот же.

1. Заставный В.П., Манов А.Д. Положительная определённость кусочно-линейной функции: Международная научная конференция “Теория приближения и её приложения”, посвященная 75-летию профессора В.П. Моторного: Тезисы докладов (8-11 октября 2015 г.). – Днепропетровск, 2015. – С. 40.

УДК 517.5

О ФУНКЦИЯХ С НУЛЕВЫМИ ИНТЕГРАЛАМИ ПО СИМПЛЕКСАМ

Иванисенко Н.С.
ГУ «Институт прикладной математики и механики», г. Донецк
Ivanisenko.n.s@gmail.com

Обозначим через $\mathbb{R}^n$ – вещественное евклидово пространство размерности $n\geqslant 2$ с евклидовой нормой $|\cdot|$, через $\mathbf{M}(n)$ – группу изометрий евклидового пространства $\mathbb{R}^n$, через $\mathrm{Mot}(A,B)=\{\lambda\in\mathbf{M}(n):\lambda A\subset B\}$ – часть группы движений, оставляющая A внутри B, $\mathbb{B}_R=\{x\in\mathbb{R}^n:|x|<R\}$ – шар радиуса R.

Компактное множество $A\subset\mathbb{R}^n$ называется множеством Помпейю в $\mathbb{R}^n$, если всякая локально суммируемая функция $f:\mathbb{R}^n\to\mathbb{C}$, для которой $\int_{\lambda A} f(x)dx=0$ для всех $\lambda\in\mathbf{M}(n)$, равна нулю почти всюду.

Классическая проблема Помпейю состоит в описании класса $\mathrm{Pomp}(\mathbb{R}^n)$ таких множеств A. Приведем одну из возможных постановок локального варианта проблемы Помпейю.

Пусть функция f локально суммируема в шаре $\mathbb{B}_R$ и равенство $\int_{\lambda A} f(x)dx=0$ выполняется при всех $\lambda\in\mathrm{Mot}(A,\mathbb{B}_R)$. Если из этого условия следует, что $f=0$ в $\mathbb{B}_R$ почти всюду, будем говорить, что A является множеством Помпейю в $\mathbb{B}_R$ и обозначать $A\in\mathrm{Pomp}(\mathbb{B}_R)$. Для любого $A\in\mathrm{Pomp}(\mathbb{R}^n)$ это имеет место, если размеры $\mathbb{B}_R$ достаточно велики по сравнению с A, см. [1]. В связи с этим возникает задача о нахождении минимального радиуса $\mathcal{R}(A)$ шара B с указанным свойством и Волчковым В.В. поставлена следующая

Проблема. Для данного A найти $\mathcal{R}(A)=\inf\{R>0: A\in\mathrm{Pomp}(\mathbb{B}_R)\}$.

Основные результаты по данной проблеме изложены в [2]. Для симплексов в $\mathbb{R}^n$ получена верхняя оценка $\mathcal{R}(A)$ (см [2]), которая может быть уточнена в $\mathbb{R}^4$ с помощью формулы (1), аналогичной формуле Стокса, приведенной в теореме.

Пусть $\mathbf{S}_4=\{x\in\mathbb{R}^4: x_1+x_2+x_3+x_4\leqslant 1,\quad x_j\geqslant 0,\quad j=1,2,3,4\}$ – симплекс в $\mathbb{R}^4$ с

вершинами $z_0=(0,0,0,0)$, $z_1=(1,0,0,0)$, $z_2=(0,1,0,0)$, $z_3=(0,0,1,0)$, $z_4=(0,0,0,1)$. Рассмотрим дифференциальные операторы:

$$q_1=\frac{\partial}{\partial x_1}-\frac{\partial}{\partial x_2};\ q_2=\frac{\partial}{\partial x_1}-\frac{\partial}{\partial x_3};\ q_3=\frac{\partial}{\partial x_1}-\frac{\partial}{\partial x_4};\ q_4=\frac{\partial}{\partial x_2}-\frac{\partial}{\partial x_3};\ q_5=\frac{\partial}{\partial x_2}-\frac{\partial}{\partial x_4};$$

$$q_6=\frac{\partial}{\partial x_3}-\frac{\partial}{\partial x_4};\ q_7=\frac{\partial}{\partial x_1};\ q_8=\frac{\partial}{\partial x_2};\ q_9=\frac{\partial}{\partial x_3};\ q_{10}=\frac{\partial}{\partial x_4};\ D=\prod_{i=0}^{10}q_i,$$

$$q=q_2q_4q_3q_5q_6q_1(q_1+q_6);\ L_1=-q_2q_4q_5q_1-q_2q_4q_5q_6+q_4q_3q_5q_1+q_4q_3q_5q_6;$$

$$L_2=q_2q_4q_3q_1+q_2q_4q_3q_6-q_2q_3q_5q_1-q_2q_3q_5q_6;\ L_3=q_2q_3q_5q_1+q_2q_3q_5q_6-q_4q_3q_5q_1-q_4q_3q_5q_6;$$

$$L_4=-q_2q_4q_3q_1-q_2q_4q_3q_6+q_2q_4q_5q_1+q_2q_4q_5q_6;\ L_5=-q_2q_4q_3q_1+q_2q_3q_5q_1;$$

$$L_6=q_2q_4q_5q_1-q_4q_3q_5q_1;\ L_7=-q_2q_3q_5q_1;\ L_8=q_2q_4q_5q_6;\ L_9=q_2q_4q_3q_1;\ L_{10}=-q_4q_3q_5q_6;$$

$$L_{11}=q_4q_3q_5q_1;\ L_{12}=-q_2q_4q_3q_6;\ L_{13}=-q_2q_4q_5q_1;\ L_{14}=q_2q_3q_5q_6;\ L_{15}=q_2q_4q_3q_6-q_2q_4q_5q_6;$$

$$L_{16}=-q_2q_3q_5q_6+q_4q_3q_5q_6;\ G_0=-\sum_{i=7}^{10}D_iL_{i-6};$$

$$G_1=\ =D_7L_1+2[D_1(L_6-L_5)+D_2(L_8-L_7)+D_3(L_{10}-L_9)];\ G_2=D_8L_2+2[D_1(L_5-L_6)+$$

$$+D_4(L_{12}-L_{11})+D_5(L_{14}-L_{13})];\ G_3=D_9L_3+2[D_2(L_7-L_8)+D_4(L_{11}-L_{12})+D_6(L_{16}-L_{15})];$$

$$G_4=D_{10}L_4+2[D_3(L_9-L_{10})+D_5(L_{13}-L_{14})+D_6(L_{15}-L_{16})].$$

Теорема. Для симплекса $\mathbf{S}_4$ и произвольной функции $f\in\mathbb{C}^{17}(\mathbf{S}_4)$ выполняется следующее равенство:

$$\int_{\mathbf{S}_4}(Dqf)(x)dx=\sum_{i=0}^{4}(G_if)(z_i). \qquad (1)$$

Следствие. Пусть $f\in\mathbb{C}^{17}(\mathbb{B}_R), R>1$ функция с нулевыми интегралами по множеству $\lambda\mathbf{S}_4\subset\mathbb{B}_R$, $\lambda\in\mathrm{Mot}(\mathbf{S}_4,\mathbb{B}_R)$. Тогда f удовлетворяет функциональному уравнению:

$$\sum_{i=0}^{4}(G_if)(\lambda z_i)=0. \qquad (2)$$

Исследование данного уравнения (2) позволяет уточнить некоторые оценки приведенные в [2].

1. Volchkov V.V., Volchkov Vit.V., Harmonic Analysis of Mean Periodic Functions on Symmetric Spaces and the Heisenberg Group. – Springer, 2009. – 671 p.
2. Volchkov V.V., Integral Geometry and Convolution Equations. – Kluwer Academic Publishers, 2013. – 454 p.

УДК 517.5

О ОПИСАНИИ КЛАССА МНОЖЕСТВ БОРСУКА

Иванов А.Ю.

ГУ «Институт прикладной математики и механики», г. Донецк

ivanov.alexander.iurievich@gmail.com

В 1933 г. польский математик К.Борсук выдвинул гипотезу, которая впоследствии стала одной из центральных проблем комбинаторной геометрии.

Для заданного множества $G \subset R^m$ *диаметра* d *существуют подмножества* $K_0, K_1, ..., K_m$ *,каждое из которых имеет диаметр меньший* d *и которые образуют покрытие* G.

Сам Борсук подтвердил ее в том же 1933г. для размерности R^2 [1, 2], а в 1955 г. она была подтверждена Г. Эгглстоном [3] в размерности R^3. Тем не менее, в пространствах размерности выше третьей данная гипотеза не подтверждена до сих пор.

Вопросами, связанными с разбиением множества на части меньшего диаметра, занимались многие математики, среди которых Г. Хадвигер [4], В.Г. Болтянский [5, 6], В.Л. Кли [7] и многие другие. Им удалось получить набор достаточных условий принадлежности множества классу множеств Борсука, т.е. таким множествам из R^n которые можно разбить на $n+1$ часть меньшего диаметра. Однако говорить о полном описании данного класса пока преждевременно.

Из работ Г. Хадвигер [4], В.Г. Болтянский [5, 6], В.Л. Кли [7], а также автора [8–11] следует, что класс множеств, удовлетворяющих гипотезе Борсука, достаточно широк и зависит только от структуры границы множеств. Так в работе [4] показано, что классу множеств Борсука принадлежит всякое множество с гладкой границей; в работах [5, 6] распространен данный результат на случай выпуклых множеств из R^n с не более чем n точками нерегулярности на границе. В работах [7–10] наложены достаточно сложные условия на множество нерегулярности множества из R^n при которых данное множество принадлежит классу множеств Борсука.

Рассмотрим отображение $\varsigma : S_p^{n-1} \to \partial G$, где $G \subset R_p^n$ – n-мерное пространство с нормой $|x|_p = \sqrt[p]{\sum_{i=1}^n |x_i|^p}$

Если $\theta \in S_p^{n-1}$, то $\varsigma(\theta) = x$, где $x, y \in \partial G$, $|x-y|_p = diamG$ и $x - y = \theta\ diamG$.

Теорема. *Пусть* $G \subset R_p^n$ $(1 < p < \infty)$ *– фигура постоянной ширины,* EP *– множество точек нерегулярности границы* G, $\Theta \subset S_p^{n-1}$ *– множество прообразов множества* EP *при воздействии на него функцией* ς. *Тогда если для всякой компоненты связности* U *множества* Θ *выполняются следующие условия:*

1) $\sup|\alpha - \beta|_p < \min\left\{\sqrt[p]{2};\ \sqrt[p]{2^{p-1}}\right\} - \sigma$, *при некотором* σ *независящем от* U,

2) не существует такой компоненты связности V, *что* $U \setminus \tilde{V} \neq \varnothing$ *и* $\tilde{V} \setminus U \neq \varnothing$, *где* $\tilde{V} = \{-\beta | \beta \in V\}$, *и при этом* $\mathrm{int}(\tilde{V}) \cap U \neq \varnothing$,

то множество G *можно разбить на* $n+1$ *часть меньшего диаметра.*

Данная теорема существенно расширяет наиболее сильные на данный момент результаты. Так, обобщение результата В.Г.Болтянского легко видно из простого следствия данной теоремы.

Следствие 1. *Пусть* $G \subset R^n$ *– фигура постоянной ширины,* EP *– множество точек нерегулярности границы* G. *Тогда, если* EP *состоит*

только из изолированных точек, то множество G можно разбить на $n+1$ часть меньшего диаметра.

В работе Андерсона и Кли также получено ограничение, аналогичное условию теоремы для случая R^n с евклидовой метрикой, однако там не учитывалось взаиморасположение нерегулярных точек на границе рассматриваемого множества и в результате получено неравенство с существенно более сильным ограничением.

Следует отметить, что в 1993 г. Д. Канном и Г. Калаи построен первый контрпример опровергающий данную гипотезу в размерностях выше 2014 [12]. На данный момент в работе А. Бондаренко показано, что подобные контрпримеры существуют во всех размерностях выше 63.

В вопросе описания класса Борсука следует обратить внимание на возможное направление дальнейших исследований. Необходимо исследовать структуру множества ESP (см. [10]) для известных контрпримеров к гипотезе Борсука при помощи разработанной техники в работах автора [8–10], использующей аналог гауссового сферического отображения. Это, вероятно, позволит найти структурную особенность множеств, для которых гипотеза Борсука не верна, и тем самым не только окончательно завершить описания класса множеств Борсука, но и выяснить, начиная с какой размерности подобные контрпримеры могут существовать.

1. Грюнбаум Б. Этюды по комбинаторной геометрии и теории выпуклых тел / Грюнбаум Б. -- Москва: Наука, 1971 -- С. 96.
2. Болтянский В.Г. Разбиение фигур на меньшие части./ Болтянский В.Г., Гохберг И.Ц. -- London: Math.Soc., 1955 -- С. 88.
3. Eggleston H.G. Covering a three-dimensional set with sets of smaller diameter/ Eggleston H.G. – Москва: Наука -- 1971 -- Т.30, №1-- С. 11--24.
4. Hadwiger H.Uberdeckung einer Menge durch Mengen kleineren Durchmessers /Hadwiger H. // Comm. Math. Helv. -- 1945/46 -- Т.18 -- С. 73--75.
5. Болтянский В.Г. Задача об освещении границы выпуклого тела/ Болтянский В.Г.// Изв. МФАН СССР -- 1960 -- Т.10, №76
6. Boltyanski V.G. Excursions into combinatorial geometry~/ V.G. Boltyanski, H. Martini, P.S.Soltan// Universitext. – Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 1997.
7. Anderson R.D. Convex functions and upper semi-continuous collections / Anderson R.D., Klee V.L. // Duke Math.J. -- 1952 -- Т.190, №2 -- С. 349--357
8. Иванов А. Ю. Решение проблемы Борсука для некоторых множеств с нерегулярной границей / Иванов А. Ю. // Труды ИПММ. -- 2011. -- Т. 23. -- С. 110-119.
9. Иванов А. Ю. Об R_p^n-аналоге проблемы Борсука / Иванов А. Ю. // Український математичний вісник. -- 2012.-- Т. 9, №3. -- С. 341--355.
10. Иванов А. Ю. Аналог проблемы Борсука на банаховых пространствах / Иванов А.Ю. // Український математичний вісник. -- 2013.-- Т. 10, № 1. -- С. 54--66.
11. Иванов А.Ю. Новые достаточные условия принадлежности множества классу Борсука/ Иванов А. Ю. // Труды ИПММ. -- 2012. -- Т. 25. -- С. 100-106.
12. Kahn J. A counterexample to Borsuk's conjecture / Kahn J., Kalai G. // Bull. Amer. Math. Soc.(New Ser.). -- 1993 -- Т. 29, №1 -- С. 60--62.

УДК 517.984.4

ИНДЕКСЫ ДЕФЕКТА МАТРИЧНОГО ОПЕРАТОРА ШРЕДИНГЕРА С ДЕЛЬТА-ВЗАИМОДЕЙСТВИЯМИ

Костенко А.С., Маламуд М.М., Натягайло Д.Д.
ГУ «Институт прикладной математики и механики», г. Донецк
delthink@mail.ru

Рассмотрим матричный оператор Шредингера с точечными взаимодействиями $H_{X,\Lambda}$, ассоциированный в пространстве вектор-функций $L^2(\mathbb{R}_+;\mathbb{C}^p)$ с формальным дифференциальным выражением

$$l_{X,\Lambda} := -\frac{\mathrm{d}^2}{\mathrm{d}x^2}\otimes \mathrm{I}_p + \sum_{n=1}^{\infty}\Lambda_n\delta(x-x_n). \tag{1}$$

Здесь $\Lambda_k = \Lambda_k^* \in \mathbb{C}^{p\times p}$, $k\in\mathbb{N}$, $X := \{x_k\}_{k=1}^{\infty}$ – строго возрастающая последовательность, $\lim_{k\to\infty} x_k = \infty$, $x\in\mathbb{R}_+$, а δ – функция Дирака.

Литература об операторах Шредингера с матрично-значными потенциалами обширна, и в качестве основного источника информации и дальнейших ссылок укажем [1, 2] (в частности, в этих монографиях изучается случай операторно-значных потенциалов). А также отметим недавние работы [3–8], содержащие, в частности, достаточно подробную библиографию. Скалярные операторы, задаваемые выражениями (1), впервые возникли в квантовой механике как точно решаемые модели [9], и их спектральные свойства достаточно хорошо изучены (см., например, [10, 11]).

Настоящая работа посвящена описанию взаимосвязи индексов дефекта оператора $H_{X,\Lambda}$, которые мы будем обозначать $n_\pm(H_{X,\Lambda})$, и оператора, ассоциированного в пространстве $l^2(\mathbb{N};\mathbb{C}^p)$ с блочной якобиевой матрицей $B_{X,\Lambda}$ следующего вида:

$$B_{X,\Lambda} = \begin{pmatrix} \frac{1}{d_1d_2}\mathrm{I}_p + \frac{1}{d_1+d_2}\Lambda_1 & \frac{-1}{r_1r_2d_2}\mathrm{I}_p & \mathrm{O}_p & \dots \\ \frac{-1}{r_1r_2d_2}\mathrm{I}_p & \frac{1}{d_2d_3}\mathrm{I}_p + \frac{1}{d_2+d_3}\Lambda_2 & \frac{-1}{r_2r_3d_3}\mathrm{I}_p & \dots \\ \mathrm{O}_p & \frac{-1}{r_2r_3d_3}\mathrm{I}_p & \frac{1}{d_3d_4}\mathrm{I}_p + \frac{1}{d_3+d_4}\Lambda_3 & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \end{pmatrix}, \tag{2}$$

где O_p и I_p – нулевая и единичная матрицы в $\mathbb{C}^{p\times p}$ соответственно. Следующая теорема показывает связь индексов этих операторов.

Теорема 1. *Пусть $B_{X,\Lambda}$ – минимальный оператор, задаваемый матрицей (2). Тогда $n_\pm(H_{X,\Lambda}) = n_\pm(B_{X,\Lambda}) \le p$.*

Применяя известные результаты об индексах дефекта блочных матриц Якоби, **Теорема 1** позволяет изучать индексы дефекта оператора $H_{X,\Lambda}$. Например, возможно получить следующее утверждения.

Предложение 1. *Если $\sum_{k=1}^{\infty} d_k^2 = \infty$, то оператор $H_{X,\Lambda}$: $n_\pm(H_{X,\Lambda}) = 0$.*

Предложение 2. [12] *Пусть* $\sum_{k=1}^{\infty} d_k^2 < \infty$ *и* $d_k d_{k+2} \geq {d_{k+1}}^2$, $k \in \mathbb{N}$. *Если*

$$\sum_{k=1}^{\infty} d_{k+1} ||\Lambda_k + ({d_k}^{-1} + {d_{k+1}}^{-1}) I_p||_{\mathbb{C}^p} < \infty \quad \forall\ k \in \mathbb{N}, \tag{3}$$

то $n_{\pm}(H_{X,\Lambda}) = p$.

Приведем теперь примеры операторов $H_{X,\Lambda}$ таких, что $n_{\pm}(H_{X,\Lambda}) = p_1$ с $0 < p_1 < p$. Пусть $p = p_1 + p_2$ с некоторыми p_1 и p_2. Представим каждую матрицу $\Lambda_k \in \mathbb{C}^{p \times p}$ в виде

$$\Lambda_k = \begin{pmatrix} \Lambda_k^{11} & \Lambda_k^{12} \\ \Lambda_k^{21} & \Lambda_k^{22} \end{pmatrix}, \qquad \Lambda_k^{ij} \in \mathbb{C}^{p_i \times p_j}, \qquad i, j \in \{1,2\}.$$

Теорема 2. *Пусть* $\{d_k\}_{k=1}^{\infty} \in l^2(\mathbb{N})$ *– невозрастающая последовательность и* $d_k d_{k+2} \geq {d_{k+1}}^2$, $k \in \mathbb{N}$. *Если матрицы* $\Lambda_k = \Lambda_k^*$ *удовлетворяют следующим условиям:*

1. *матрицы* Λ_k^{11} *удовлетворяют условию (3) с* p_1 *вместо* p*;*
2. $||\Lambda_k^{12}||_{\mathbb{C}^{p_1 \times p_2}} = O(d_k)$, $k \to \infty$*;*
3. $\Lambda_k^{22} = \mathcal{A}_k^{22} + A_k^{22}$,

причем $||A_k^{22}||_{\mathbb{C}^{p_2 \times p_2}} = O(d_k)$, $k \to \infty$, *а* $\mathcal{A}_k^{22}$ *– диагональные матрицы такие, что либо*

$$\sum_{k=1}^{\infty} |\alpha_{k,j}|\, d_k^3 = \infty,\ j \in \{1, \ldots, p_2\}$$

либо найдется постоянная $M > 0$ *такая, что для всех* $k \in \mathbb{N}$ *и* $j \in \{1, \ldots, p_2\}$

$$\frac{4}{d_{k+1}^2} + \frac{\alpha_{k,j}}{d_{k+1}} \leq M;$$

то $n_{\pm}(H_{X,\Lambda}) = p_1$.

Пример 1. *Пусть* $d_k = \frac{1}{k}$ *и* Λ_k *имеют диагональный вид,* $\Lambda_k = diag(\alpha_{k,j})_{j=1}^{p}$, *для всех* $k \in \mathbb{N}$. *Пусть также*

$$\alpha_{k,j} = -2k - 1 + O(k^{-1}), \quad j \in \{1, \ldots, p_1\} \text{ и } \alpha_{k,j} = -4k - 4 + O(k^{-1}), \quad j \in \{p_1 + 1, \ldots, p\}.$$

Нетрудно видеть, что матрицы $\Lambda_k^{11} = diag(\alpha_{k,j})_{j=1}^{p_1}$, $k \in \mathbb{N}$, удовлетворяют (3). Кроме того, для всех $j \in \{p_1 + 1, \ldots, p\}$ имеем

$$\frac{4}{d_{k+1}^2} + \frac{\alpha_{k,j}}{d_{k+1}} = 4(k+1)^2 - (k+1)(4k + 4 + O(k^{-1})) = O(1),\ k \to \infty.$$

В силу **Теоремы 2** заключаем, что $n_{\pm}(H_{X,\Lambda}) = p_1$.

1. Rofe F. S. Rofe-Beketov, A. M. Kholkin Spectral analysis of differential operators. Interplay between spectral and oscillatory properties. – World Scientific, Singapore, 2005.
2. Горбачук В. И., Горбачук М. Л. Граничные задачи для операторно-дифференциальных уравнений. – Киев, Наукова думка, 1984.
3. Eckhardt J., Gesztesy F., Nichols R., Teschl G. Weyl–Titchmarsh theory for Sturm-Liouville operators with distributional potentials // Opuscula Math., 2013. – 33. – P. 467–563.
4. Савчук А. М., Шкаликов А. А. Операторы Штурма–Лиувилля с потенциалами-распределениями // Труды ММО. – 2003. – 64. – С. 159–212.

5. Мирзоев К. А., Сафонова Т. А. Сингулярные операторы Штурма–Лиувилля с потенциалами-распределениями в пространстве вектор-функций // Докл. РАН. – 2011. – 441:2. – С. 165–168.
6. Мирзоев К. А., Сафонова Т. А. Сингулярные операторы Штурма–Лиувилля с негладкими потенциалами в пространстве вектор-функций // Уфимск. матем. журн. – 2011. – 3:3. – С. 105–119;
7. Мирзоев К. А., Сафонова Т. А. Об индексе дефекта векторного оператора Штурма–Лиувилля // Матем. Заметки. – 2016. – 99:2. – С. 262–277.
8. Мирзоев К. А. Операторы Штурма-Лиувилля // Труды ММО. – 2014. – 75:2. – С. 335–359.
9. Albeverio S., Gesztesy F., Hoegh-Krohn R., Holden H. Solvable models in quantum mechanics. With an appendix by P. Exner. 2nd edn., – Providence, Amer. Math. Soc., 2004;
10. Костенко А. С., Маламуд М. М. Об одномерном операторе Шредингера с δ-взаимодействиями // Функц. анализ и его прил. – 2010. – 44:2. – С. 87–91;
11. Kostenko A. S., Malamud M. M. 1–D Schrödinger operators with local point interactions on a discrete set. // J. Differential Equations. – 2010. – 249.;
12. Костюченко А. Г., Мирзоев К. А. Признаки вполне неопределенности якобиевых матриц с матричными элементами // Функц. анализ и его прил. – 2001. – 35. – С. 265–269.

УДК 517.5

О СФЕРИЧЕСКИХ ЧАСТИЧНЫХ СУММАХ ФУРЬЕ

Кузнецова О.И.[1], Подкорытов А.Н.[2]
1 ГУ «Институт прикладной математики и механики», г. Донецк;
[2] Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Россия
kuznets@iamm.su, a.podkorytov@gmail.com

Пусть $S_R(f,x)=\sum_{\|k\|\le R}\hat{f}(k)e^{ik\cdot x}$, где $\hat{f}(k)=\frac{1}{(2\pi)^m}\int_{T^m}f(u)e^{-ik\cdot u}\,du$ для $k\in Z^m$, – сферическая частичная сумма ряда Фурье функции f, интегрируемой на m-мерном торе $T^m=[-\pi,\pi)^m$. Рассмотрим два близких варианта сильных средних таких сумм (далее $p\ge 1, n\in \mathrm{N}, R>0$):

$$H_{n,p}(f,x)=\left(\frac{1}{n}\sum_{j=0}^{n-1}\left|S_j(f,x)\right|^p\right)^{\frac{1}{p}} \quad \text{и} \quad \mathcal{H}_{n,p}=\left(\frac{1}{R}\int_0^R\left|S_r(f,x)\right|^p dr\right)^{\frac{1}{p}}.$$

Их поведение тесно связано с поведением норм

$$H_{n,p}(f,x)=\sup_{|f|\le 1}H_{n,p}(f,0) \quad \text{и} \quad \mathcal{H}_{R,p}(f,x)=\sup_{|f|\le 1}\mathcal{H}_{R,p}(f,0).$$

В одномерном случае рассматриваемые средние совпадают и, как показали Харди и Литлвуд [1], при каждом фиксированном p их нормы ограничены. В кратном случае ($m\ge 2$) ситуация иная: при любом $p\ge 1$ нормы $H_{n,p}$ и $\mathcal{H}_{n,p}$ не ограничены [2, 3]. В [2] найден точный порядок роста норм $H_{n,p}$. Нетрудно видеть, что оценивая $\mathcal{H}_{n,p}$, можно считать R целым.

Мы доказываем, что нормы $H_{n,p}$ и $\mathcal{H}_{n,p}$ имеют одинаковый порядок (оценки снизу и сверху различаются на коэффициенты, зависящие лишь от размерности m):

$$\mathcal{H}_{n,p} \approx H_{n,p} \approx \begin{cases} n^{\frac{m-1}{2}-\min\left\{\frac{1}{2},\frac{1}{p}\right\}} & при \quad m \geq 3, p \geq 1; \\ n^{\frac{1}{2}-\frac{1}{p}} \min^{\frac{1}{p}}\left\{\ln(n+1), \frac{1}{p-2}\right\} & при \quad m = 2, p > 2; \\ \sqrt{\ln(n+1)} & при \quad m = 2, \quad p \in [1,2]. \end{cases}$$

Эти оценки стандартным методом доказательства приводят к условиям на непрерывную функцию f, обеспечивающим равномерную H_p и $\mathcal{H}_p$ – суммируемость ее ряда Фурье.

1. *Hardy G.H., Littlewood J.E.* Sur la serie de Fourier d'une function á carré summable // C.R. Acad. Sci. Paris. – 1913. – 156. – P. 1303–1309.
2. *Кузнецова О.И., Подкорытов А.Н.* О сильных средних сферических сумм Фурье // Алгебра и Анализ. – 2013. – 25. – P. 121–130.
3. *Кузнецова О.И.* Сильные сферические средние кратных рядов Фурье // Известия НАН Армении. – 2009. – 25. – P. 27–40.

УДК 517.9

ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОУГОЛЬНИКА НЬЮТОНА К ИССЛЕДОВАНИЮ АПРИОРНЫХ ОЦЕНОК ДЛЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ПОЛИНОМОВ В ПРОСТРАНСТВАХ С РАВНОМЕРНОЙ НОРМОЙ НА ПЛОСКОСТИ

Лиманский Д.В.

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк

4125aa@gmail.com

Пусть Ω – область в $\mathbb{R}^n$, $p \in [1,\infty]$. Рассматривается задача об описании линейного пространства $L_{p,\Omega}(P)$ минимальных дифференциальных операторов $Q(D)$, подчиненных фиксированному дифференциальному полиному $P(D)$, т. е. пространства операторов $Q(D)$, для которых

$$\|Q(D)f\|_{L^p(\Omega)} \leq C_1 \|P(D)f\|_{L^p(\Omega)} + C_2 \|f\|_{L^p(\Omega)}, \qquad f \in C_0^\infty(\Omega),$$

с некоторыми постоянными $C_1, C_2 > 0$, не зависящими от выбора f. Здесь $D = (D_1, \ldots, D_n)$, $D_k := -i\frac{\partial}{\partial x^k}$, $k \in \{1, \ldots, n\}$; символы $Q(\xi)$ и $P(\xi)$ операторов $Q(D)$

и $P(D)$ соответственно – полиномы от вещественных переменных $\xi=(\xi_1,\ldots,\xi_n)$ с комплексными коэффициентами.

При $p=2$ и ограниченной области Ω эта задача была исчерпывающе решена Л. Хермандером [6]. Используя этот критерий, в той же работе [6] было показано, что для тензорного произведения

$$P(D)=P_1\left(D_1,\ldots,D_{p_1},0,\ldots,0\right)P_2\left(0,\ldots,0,D_{p_1+1},\ldots,D_n\right) \tag{1}$$

двух дифференциальных операторов $P_1(D)$ и $P_2(D)$, действующих по различным группам переменных, пространство $L_{2,\Omega}(P)$ равно тензорному произведению соответствующих пространств $L_{2,\Omega}(P_k)$, т. е. оно совпадает с линейной оболочкой произведений операторов $Q_k\in L_{2,\Omega}(P_k)$, $k=1,2$.

В работах [3, 4] указанная задача рассматривалась для $p=\infty$, $\Omega=\mathbb{R}^n$ и эллиптических операторов $P_k(D)$ в (1). Так, в [3] доказано, что в случае невырожденных символов $P_k(\xi)$, т. е. $P_k(\xi)\neq 0\ \ \forall\ \xi\in\mathbb{R}^n$, пространство $L_{\infty,\mathbb{R}^n}(P)$ такое же, как и в описанной выше теореме Л. Хермандера, т. е. $L_{\infty,\mathbb{R}^n}(P)=L_{\infty,\mathbb{R}^{p_1}}(P_1)\otimes L_{\infty,\mathbb{R}^{p_2}}(P_2)$. Но если символы $P_k(\xi)$ однородны, то в [4] доказано, что пространство $L_{\infty,\mathbb{R}^n}(P)$ минимально возможное: оно совпадает с линейной оболочкой тождественного оператора I и оператора $P(D)$.

В настоящей работе рассматривается задача описания пространства $L_{\infty,\mathbb{R}^2}(P)$ для тензорного произведения вида $P(D)=p_1(D_1)\,p_2(D_2)$, где $p_k(D_k)$ – обыкновенные дифференциальные полиномы. Эта задача была решена в [5] для случая, когда все нули первого сомножителя $p_1(\xi_1)$ вещественные и простые. Оказалось, что в этом случае пространство $L_{\infty,\mathbb{R}^2}(P)$ тем “беднее”, чем больше вещественных нулей (с учетом кратности) имеет второй сомножитель $p_2(\xi_2)$. В частности, если все нули $p_2(\xi_2)$ вещественны, то пространство $L_{\infty,\mathbb{R}^2}(P)$ минимально возможное, т. е. $\dim L_{\infty,\mathbb{R}^2}(P)=2$.

Мы распространяем результаты работы [5] на ряд случаев, когда не обязательно все нули одного из сомножителей $p_k(\xi_k)$ в произведении $P(\xi)=p_1(\xi_1)\,p_2(\xi_2)$ вещественные и простые. Приведенные ниже предложения говорят о том, что при наличии среди нулей символа $P(\xi)$ одновременно кратных вещественных и невещественных нулей структура пространства $L_{\infty,\mathbb{R}^2}(P)$ может быть нетривиальной. Т. е. в этих случаях имеют место новые эффекты по сравнению с результатами работ [3–5].

Предложение 1. Пусть $P(\xi)=p_1(\xi_1)\,p_2(\xi_2)$, где $p_1(\xi_1)=\xi_1^l$, а $p_2(\xi_2)$ не имеет вещественных нулей, $\deg p_2=m$. Тогда пространство $L_{\infty,\mathbb{R}^2}(P)$ есть линейная оболочка дифференциальных мономов $D_1^\alpha D_2^\beta$, для которых $\alpha\le l$ и $\beta l<\alpha m$, а также операторов I и $P(D)$.

Предложение 2. Пусть $P(\xi)=p_1(\xi_1)p_2(\xi_2)$, где $p_1(\xi_1)=\xi_1^2(\xi_1^2+1)$ и $p_2(\xi_2)=\xi_2^2(\xi_2-1)(\xi_2^2+1)$. Тогда пространство $L_{\infty,\mathbb{R}^2}(P)$ есть линейная оболочка дифференциальных полиномов $D_1^{2+\alpha}D_2^{2+\beta}(D_2-I)$, для которых $\alpha\le 2$ и $\beta\le 2$, дифференциального полинома $D_1D_2(D_2-I)$, а также оператора I.

При доказательстве предложений 1 и 2 использовалась техника многоугольника Ньютона [2], а также полученные автором обобщения результатов Бомана [1] для системы дифференциальных мономов.

1. Boman J. Supremum norm estimates for partial derivatives of functions of several real variables / J. Boman. – Ill. J. Math. – 1972. – Vol. 16. – No. 2. – P. 203-216.
2. Волевич Л. Р. Метод многогранника Ньютона в теории дифференциальных уравнений в частных производных / Л. Р. Волевич, С. Г. Гиндикин. – М.: Эдиториал УРСС, 2002. – 312 с.
3. Лиманский Д. В. Эллиптические и слабо коэрцитивные системы операторов в пространствах Соболева / Д. В. Лиманский, М. М. Маламуд. – Матем. сборник. – 2008. – Т. 199. – № 11. – С. 75-112.
4. Лиманский Д. В. Об оценках для тензорного произведения двух однородных эллиптических операторов / Д. В. Лиманский. – Укр. мат. вісник. – 2011. – Т. 8. – № 1. – С. 101-111.
5. Лиманський Д. В. Умови підпорядкованості для тензорного добутку двох звичайних диференціальних операторів / Д. В. Лиманський. – Доповіді НАН України. – 2012. – № 4. – С. 25-29.
6. Хермандер Л. К теории общих дифференциальных операторов в частных производных / Л. Хермандер. – М.: ИЛ, 1959. – 131 с.

УДК 517.988.28

О ФУНКЦИЯХ С НУЛЕВЫМИ ИНТЕГРАЛАМИ ПО НЕОДНОСВЯЗНЫМ МНОЖЕСТВАМ

Машаров П.А.

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк

masharov.pavel.anatolievich@gmail.com

Пусть $\mathbb{R}^n$ – вещественное евклидово пространство размерности $n\geqslant 2$ с евклидовой нормой $|\cdot|$, $\mathbf{M}(n)$ – группа движений $\mathbb{R}^n$, $\mathrm{Mot}(A,B)=\{\lambda\in\mathbf{M}(n):\lambda A\subset B\}$, $\mathbb{B}_R=\{x\in\mathbb{R}^n:|x|<R\}$. Компактное множество $A\subset\mathbb{R}^n$ называется множеством Помпейю в B (будем обозначать это $A\in\mathcal{P}(B)$), если всякая локально суммируемая функция $f:B\to\mathbb{C}$, для которой $\int_{\lambda A}f(x)dx=0$ для любого $\lambda\in\mathrm{Mot}(A,B)$, равна нулю почти всюду в B.

Классическая проблема Помпейю об описании класса $\mathcal{P}(\mathbb{R}^n)$ изучалась во многих работах, см. обзор [1] с обширной библиографией. Из результата Вильямса [2] следует, что если граница множества A липшицева, гомеоморфна сфере, но не вещественно аналитическая, то $A\in\mathcal{P}(\mathbb{R}^n)$.

Если же некоторое множество $A \in \mathcal{P}(\mathbb{R}^n)$, то, как показал В.В. Волчков, $A \in \mathcal{P}(\mathbb{B}_R)$ при достаточно большом R. В связи с этим в [3] поставлена

Проблема. Для данного A найти $\mathcal{R}(A) = \inf\{R > 0 : A \in \mathcal{P}(\mathbb{B}_R)\}$.

Ряд результатов, содержащих оценки сверху для величины $\mathcal{R}(A)$, получены К.А. Беренстейном и Р. Гэем [4]. В [3, 5, 6] содержится достаточно полная история данного вопроса и близких к нему.

Рассмотрим $K_a = \{(x, y) \in \mathbb{R}^2 : |x| \leqslant a, |y| \leqslant a\}$, $K_{a,1} = \overline{K_1 \setminus K_a}$. Основным результатом является следующее утверждение.

Теорема. Для каждого $a \in (1/2;1)$ $\mathcal{R}\left(K_{a,1}\right) = \sqrt{a^2 + 2a + 2}$.

1. Zalcman L. A bibliographic survey of Pompeiu problem. Approximation by solutions of partial differential equations / L. Zalcman; ed. B. Fuglede et al., 1992. – P. 185-194.
2. Williams S.A. A partial solution of the Pompeiu problem / S.A. Williams // Math. Ann. – 1976. – V. 223. – P. 183-190.
3. Volchkov V.V. Integral Geometry and Convolution Equations / V.V. Volchkov. – Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003. – 454 p.
4. Berenstein C.A. Le probleme de Pompeiu locale / C.A. Berenstein // J. Anal. Math. – 1989. – V. 52. – P. 133-166.
5. Volchkov V.V. Offbeat Integral Geometry on Symmetric Spaces / V.V. Volchkov, Vit.V. Volchkov. – New York: Birkhauser. – 2013. – 592 p.
6. Иванисенко Н.С. Локальный вариант проблемы Помпейю для невыпуклого четырехугольника / Н.С. Иванисенко, П.А. Машаров // Тр. Ин-та прикладной математики и механики НАН Украины. – 2014. – Т. 28. - С. 76-83.

УДК 517.518

О РАДИАЛЬНО ПОЛОЖИТЕЛЬНО ОПРЕДЕЛЁННЫХ ФУНКЦИЯХ

Оридорога Л.Л.

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк

vremenny-orid@mail.ru

Определение 1. Функция $F: \mathbb{R}^n \longrightarrow \mathbb{R}$ называется положительно определённой, если она непрерывна в нуле и для каждого множества точек $\{x_j\}_{j=1}^m \subset \mathbb{R}^n$ матрица $\left(F\left(x_j - x_k\right)\right)_{j,k=1}^m$ неотрицательно определённая.

Определение 2. Функция $f \in C[0, \infty)$ называется радиально положительно определённой функцией (или функцией класса Φ_n), если она непрерывна в нуле и для каждого множества точек $\{x_j\}_{j=1}^m \subset \mathbb{R}^n$ матрица $\left(f\left(\|x_j - x_k\|\right)\right)_{j,k=1}^m$ неотрицательно определённая, т.е. если функция $F(x) := f(\|x\|)$ положительно определённая.

Очевидно, что $\Phi_{n+1} \subset \Phi_n$.

Известно, что $f \in \Phi_n$ в том и только том случае, если функция f имеет представление

$$f(t) = \int_0^\infty \Omega_n(st)d\sigma(s),$$

где $\sigma(s)$ ограниченная неубывающая функция, а Ω_n задаётся равенством

$$\Omega_n(z) = \Gamma\left(\frac{n}{2}\right) \cdot \left(\frac{2}{z}\right)^{\frac{n-2}{2}} \cdot J_{\frac{n-2}{2}} =$$

$$= 1 - \frac{z^2}{2 \cdot n} + \frac{z^4}{2 \cdot 4 \cdot n \cdot (n+2)} - \frac{z^6}{2 \cdot 4 \cdot 6 \cdot n \cdot (n+2) \cdot (n+4)} \pm \cdots$$

Найдены некоторые условия, при которых функция класса Φ_n попадает и в класс Φ_m $(m > n)$.

Теорема 1. Пусть носитель меры $d\sigma(s)$ отделён от нуля. Тогда функция $f(t) = \int_0^\infty \Omega_n(st)d\sigma(s)$ не принадлежит классу Φ_m ни при каком $m > n$.

В частном случае $n = 1$ имеем $\Omega_1(t) = \cos t$. При $m = 3$ условия на меру $d\sigma(s)$, при которых функция класса Φ_1 попадает в класс Φ_3, имеют очень простой вид.

Теорема 2. Функция $f(t) = \int_0^\infty \cos(st)d\sigma(s)$ принадлежит классу Φ_3 в том и только том случае, если функция σ возрастающая, ограниченная и выпуклая вверх на $\mathbb{R}_+$.

Также были рассмотрены некоторые конкретные функции. В частности функции вида $\Omega_n(r_1 t) \cdot \Omega_n(r_2 t)$.

Теорема 3. При $r_1 \neq r_2$ функция $\Omega_n(r_1 t) \cdot \Omega_n(r_2 t)$ лежит в классе Φ_n, но не в классе Φ_{n+1}.

Теорема 4. При $r_1 = r_2$ функция $\Omega_n(r_1 t) \cdot \Omega_n(r_2 t)$ лежит в классе Φ_{2n-1}, но не в классе Φ_{2n}.

УДК 517.955

ЗАДАЧА КОШИ ДЛЯ УРАВНЕНИЯ $\Delta^k \partial_t^2 u - u = 0$ В КЛАССЕ ОБОБЩЕННЫХ ФУНКЦИЙ МЕДЛЕННОГО РОСТА

Павлов А.Л.
Донецкий национальный университет
alex4909@gmail.com

Рассматривается задача Коши в полупространстве

$$\Delta^k \partial_t^2 u - u = 0, \ t \geq 0, x \in R^n \tag{1}$$

$$u|_{t=0} = g_0, \quad \partial_t u|_{t=0} = g_1, \tag{2}$$

где $\Delta = \partial_{x1}^2 + \cdots + \partial_{xn}^2$ – оператор Лапласа, $k \in N$. Уравнение (1) является одним из простейших уравнений, не разрешенных относительно

старшей производной по выделенной переменной. Исследование задач для таких уравнений начато С.Л. Соболевым в [1].

В настоящее время имеется огромное количество работ, посвященных задачам для уравнений и систем уравнений соболевского типа. Это связано с их широким использованием в математическом моделировании многих процессов. В монографиях [2, 3] представлены обширные перечни работ по данному направлению. Однако работ, в которых рассматривалось решение задачи Коши для уравнений соболевского типа в классах растущих функций сравнительно немного (см. [4–6] и литературу к ним).

Под решением задачи (1), (2) часто понимают обобщенную функцию $u(t)$, зависящую гладко от параметра t и удовлетворяющую (1), (2) в обобщенном смысле. Такие решения будем называть сильными обобщенными решениями. Слабым обобщенным решением задачи(1), (2) будем называть обобщенную функцию u, сосредоточенную в полупространстве $\bar{R}_+^{n+1}$ и удовлетворяющую уравнению

$$\Delta^k \partial_t^2 u - u = \Delta^k g_0 \otimes \delta_t' + \Delta^k g_1 \otimes \delta_t, \tag{3}$$

где δ_t – дельта-функция на R, δ_t' – ее производная. Нетрудно убедиться, что всякое сильное обобщенное решение задачи (1), (2) является слабым обобщенным решением.

Рассматриваются сильные обобщенные решения задачи (1), (2) со значениями в пространстве медленно растущих обобщенных функций $S'(R^n)$, а слабые обобщенные решения из пространства $D_+'(R, S'(R^n))$, которое является подпространством пространства обобщенных функций $D'(R^{n+1})$.

Приведены необходимые и достаточные условия на начальные данные из пространства медленно растущих обобщенных функций, обеспечивающие существование слабого обобщенного решения задачи (1), (2), имеющего следы на гиперплоскостях $t = \text{const}$, гладко зависящие от t и сильного обобщенного решения этой задачи в классе обобщенных функций медленного роста. Эти условия использованы для формулирования достаточных условий.

Начальные данные в (2) принадлежат подпространствам S', зависящих от параметров s и l:

$$H_l^s = \left\{ f \in S' : \|f\|_l^s \equiv \left[\int (1+|\sigma|^2)^s \left| F_y (1+|y|^2)^{\frac{l}{2}} f \right|^2 d\sigma \right]^{\frac{1}{2}} < +\infty \right\},$$

где $F_y\, g$ – преобразование Фурье обобщенной функции $g \in S'$.

Рассмотрим функции

$$\omega_\alpha(\hat{g}_0, \hat{g}_1, t) = (-1)^{|\alpha|} \left(\left(\hat{g}_0, \mu(\sigma) \cos \frac{t}{|\sigma|^k} \frac{\sigma^\alpha}{\alpha!} \right) + \left(\hat{g}_1, \mu(\sigma) |\sigma|^k \sin \frac{t}{|\sigma|^k} \frac{\sigma^\alpha}{\alpha!} \right) \right),$$

где $\hat{g}_0$ и $\hat{g}_1$ – преобразование Фурье функций g_0 и g_1, $\mu(\sigma) \in C_0^\infty(R^n)$, $\operatorname{supp} \mu$ принадлежит некоторой ограниченной окрестности точки $\sigma = 0$

и $\mu(\sigma) = 1$ в некоторой меньшей окрестности этой точки.

Теорема 1. *Слабое обобщенное решение задачи Коши* (1), (2)*для начальных данных* $g_0 \in H_l^s, g_1 \in H_l^s$, *принадлежащие пространству* $C^2(\overline{R}_+, S^2(R^n))$ *существует тогда и только тогда, когда выполняются условия*

$$\omega_\alpha(|\sigma|^{2kq}\hat{g}_0, |\sigma|^{2kq}\hat{g}_1, t) \in C^{2(q+1)}(\overline{R}_+), \quad q = \left[\frac{j-|\alpha|}{2k}\right] \tag{4}$$

$$(-1)^q \omega_\beta^{(2q)}\left(|\sigma|^{2k(q+1)}\hat{g}_0, |\sigma|^{2k(q+1)}\hat{g}_1, 0\right) = \\ = (-1)^{|\beta|}\left(|\sigma|^{2k}\hat{g}_0, \mu(\sigma)\frac{\sigma^\beta}{\beta!}\right), \quad |\beta| \leqslant j - 2k. \tag{5}$$

$$(-1)^q \omega_\beta^{(2q+1)}\left(|\sigma|^{2k(q+1)}\hat{g}_0, |\sigma|^{2k(q+1)}\hat{g}_1, 0\right) = \\ = (-1)^{|\beta|}\left(|\sigma|^{2k}\hat{g}_1, \mu(\sigma)\frac{\sigma^\beta}{\beta!}\right), \quad |\beta| \leqslant j - 2k. \tag{6}$$

где j – натуральное число, зависящее от l.

Теорема 2. *Если начальные данные* g_0, g_1 удовлетворяют условиям

$$\hat{g}_0 = (1+\Delta)^{\frac{|l|}{2}} f_0, \quad \hat{g}_1 = (1+\Delta)^{\frac{|l|}{2}} f_1, \quad f_0 \in H_s^0, \quad f_1 \in H_s^0 \tag{7}$$

$$f_0(\sigma) = |\sigma|^{(k+1)|l|+2k} f_{00}(\sigma), \quad f_{00}(\sigma) \in L^1_{\text{loc}}, \quad \sigma \in \operatorname{supp}\mu \tag{8}$$

$$f_1(\sigma) = |\sigma|^{(k+1)|l|+k} f_{11}(\sigma), \quad f_{11}(\sigma) \in L^1_{\text{loc}}, \quad \sigma \in \operatorname{supp}\mu \tag{9}$$

то существует сильное обобщенное решение задачи Коши (1), (2), принадлежащее пространству, $C_p^2(\bar{R}_+, H_{s'}^{l'})$, *где* l', s', p *– некоторые числа, зависящие от* l *и* s.

Доказательство теорем 1, 2 основано на применении преобразования Фурье по пространственным переменным, построении регуляризаций обобщенных функций методом вычитания.

1. Соболев С.Л. Об одной новой задаче математической физики // Изв. АН СССР. Сер. мат. – 1954. – Т.18, № 1. – С. 3–50.
2. Демиденко Г.В., Успенский С.В. Уравнения и системы, не разрешенные относительно старшей производной. – Новосибирск: Науч.кн., 1998.
3. Свешников А.Г., Альшин А.Б., Корпусов М.О., Плетнер Ю.А. Линейные и нелинейные уравнения соболевского типа. – М.: Физматлит, 2007.
4. Костюченко А.Г., Эскин Г.И. Задачи Коши для уравнений типа Соболева-Гальперна // Труды ММО. – Т. 10. – С. 273–284.
5. Эскин Г.И. О единственности решения задачи Коши для уравнений не типа Ковалев- ской // Труды ММО. – 1961. – Т. 10. – С. 285–295.
6. Павлов А.Л. Задача Коши для уравнения типа Соболева-Гальперна в пространствах функций степенного роста // Мат. сб. 1993. – Т. 184, № 11. – С. 3–20.

УДК 517.9

ВАРИАЦИОННЫЕ ЗАДАЧИ С ИНТЕГРАЛЬНЫМИ ОГРАНИЧЕНИЯМИ И ВЫРОЖДЕНИЕМ В ПЕРЕМЕННЫХ ОБЛАСТЯХ

Рудакова О.А.
Донецкий национальный технический университет
olga.a.rudakova@gmail.com

Для последовательности интегральных функционалов, определенных на весовых пространствах Соболева, связанных с последовательностью $n-$мерных областей, рассмотрены вариационные задачи с множествами ограничений интегрального типа. Установлены достаточные условия сходимости минимизантов и минимальных значений рассматриваемых вариационных задач. Среди установленных условий – сильная связанность последовательности весовых пространств Соболева с “предельным” пространством и Г-сходимость рассматриваемых функционалов. Как известно (см., например, [1–3]), сильная связанность соответствующих пространств играет важную роль в вопросах усреднения краевых и вариационных задач в переменных (например, сильно перфорированных) областях. Понятие сильной связанности, используемое в настоящей работе, было введено и изучено в [4]. Г-сходимость – это особая сходимость функционалов, которая во многих важных случаях сопровождается сходимостью решений соответствующих вариационных задач для этих функционалов. Само понятие было введено в 70-е годы прошлого столетия Э. Де Джорджи [5] и на данный момент существует большое количество работ, посвященных этому типу сходимости функционалов, в том числе интегральных функционалов с вырожденными интегрантами и переменными областями определения (см., например, [6–9] и библиографию в [6, 7]).

Перейдем к изложению основного результата [9]. Введем функциональные пространства, определения сильной связанности и Г-сходимости функционалов. Пусть $n \in \mathbb{N}$, $n \geq 2$, Ω – ограниченная область в $\mathbb{R}^n$, и пусть $p \in (1,n)$. Пусть ν – неотрицательная функция на Ω, причем $\nu > 0$ почти всюду в Ω, $\nu \in L^1_{loc}(\Omega)$, $(1/\nu)^{1/(p-1)} \in L^1_{loc}(\Omega)$. Через $L^p(\nu,\Omega)$ обозначим множество всех измеримых функций $u\colon \Omega \to \mathbb{R}$ таких, что $\nu|u|^p \in L^1(\Omega)$. Через $W^{1,p}(\nu,\Omega)$ обозначим множество всех функций $u \in L^p(\nu,\Omega)$ таких, что для любого $i \in \{1,\dots,n\}$ существует обобщенная производная $D_i u$, $D_i u \in L^p(\nu,\Omega)$. Обозначим через $W_0^{1,p}(\nu,\Omega)$ замыкание множества функций $C_0^\infty(\Omega)$ в $W^{1,p}(\nu,\Omega)$. Рассмотрим последовательность областей $\Omega_s \subset \Omega$ и соответствующие весовые пространства Соболева $W^{1,p}(\nu,\Omega_s)$. Через $\widetilde{W_0^{1,p}}(\nu,\Omega_s)$ обозначим замыкание множества всех сужений на Ω_s

функций из $C_0^\infty(\Omega)$. Наконец, через q_s обозначим отображение $W_0^{1,p}(\nu,\Omega)$ в $\widetilde{W_0^{1,p}}(\nu,\Omega_s)$ такое, что для любой функции $u \in W_0^{1,p}(\nu,\Omega)$ $q_s u = u|_{\Omega_s}$.

Определение 1. *Будем говорить, что последовательность пространств* $\widetilde{W_0^{1,p}}(\nu,\Omega_s)$ *сильно связана с пространством* $W_0^{1,p}(\nu,\Omega)$, *если существует последовательность линейных непрерывных операторов* $l_s\colon \widetilde{W_0^{1,p}}(\nu,\Omega_s) \to W_0^{1,p}(\nu,\Omega)$ *такая, что:* $sup_{s\in\mathbb{N}}\|l_s\| < +\infty$, *для любых* $s \in \mathbb{N}$ *и* $u \in \widetilde{W_0^{1,p}}(\nu,\Omega_s)$ *имеем* $q_s(l_s u) = u$ *почти всюду на* Ω_s.

Определение 2. *Будем говорить, что последовательность функционалов* $I_s\colon \widetilde{W_0^{1,p}}(\nu,\Omega_s) \to \mathbb{R}$ Γ-*сходится к функционалу* $I\colon W_0^{1,p}(\nu,\Omega) \to \mathbb{R}$, *если выполняются условия: для любой функции* $u \in W_0^{1,p}(\nu,\Omega)$ *существует последовательность* $w_s \in \widetilde{W_0^{1,p}}(\nu,\Omega_s)$ *такая, что* $\lim_{s\to\infty}\|w_s - q_s u\|_{L^p(\nu,\Omega_s)} = 0$, $\lim_{s\to\infty} I_s(w_s) = I(u)$; *для любой функции* $u \in W_0^{1,p}(\nu,\Omega)$ *и любой последовательности* $u_s \in \widetilde{W_0^{1,p}}(\nu,\Omega_s)$ *такой, что* $\lim_{s\to\infty}\|u_s - q_s u\|_{L^p(\nu,\Omega_s)} = 0$, *имеем* $\liminf_{s\to\infty} I_s(u_s) \geq I(u)$.

Будем рассматривать последовательность функционалов $I_s\colon \widetilde{W_0^{1,p}}(\nu,\Omega_s) \to \mathbb{R}$, $I_s = J_s + G_s$, $s \in \mathbb{N}$. Здесь $J_s\colon \widetilde{W_0^{1,p}}(\nu,\Omega_s) \to \mathbb{R}$ и $G_s\colon \widetilde{W_0^{1,p}}(\nu,\Omega_s) \to \mathbb{R}$ – интегральные функционалы вида

$$J_s(u) = \int_{\Omega_s} f_s(x,\nabla u)\,dx, \quad G_s(u) = \int_{\Omega_s} g(x,u)\,dx, \quad u \in \widetilde{W_0^{1,p}}(\nu,\Omega_s).$$

Предполагаем, что $f_s\colon \Omega_s \times \mathbb{R}^n \to \mathbb{R}$, $g\colon \Omega \times \mathbb{R} \to \mathbb{R}$ – функции Каратеодори такие, что для любого $s \in \mathbb{N}$, почти всех $x \in \Omega_s$ функция $f_s(x,\cdot)$ выпукла в $\mathbb{R}^n$, и для любого $s \in \mathbb{N}$, почти всех $x \in \Omega_s$ и для любых $\xi \in \mathbb{R}^n$ имеем

$$c_1\nu(x)|\xi|^p - \psi_s(x) \leq f_s(x,\eta) \leq c_2\nu(x)|\xi|^p + \psi_s(x);$$

для почти всех $x \in \Omega$ функция $g(x,\cdot)$ строго выпукла в $\mathbb{R}$, и для почти всех $x \in \Omega$ и любого $\eta \in \mathbb{R}$ имеем

$$c_3\nu(x)|\eta|^p - \psi(x) \leq g(x,\eta) \leq c_4\nu(x)|\eta|^p + \psi(x),$$

где $c_i > 0$, $i = 1,2,3,4$, $\psi_s \in L^1(\Omega_s)$ и $\psi_s \geq 0$ в Ω_s, $\sup_s\|\psi_s\|_{L^1(\Omega_s)} < \infty$, $\psi \in L^1(\Omega)$, $\psi \geq 0$ в Ω.

Введем множества ограничений. Рассмотрим для любого $s \in \mathbb{N}$ интегральные функционалы $\Phi_s\colon \widetilde{W_0^{1,p}}(\nu,\Omega_s) \to \mathbb{R}$ вида

$$\Phi_s(u) = \int_{\Omega_s} \varphi(x,u)\,dx, \quad u \in \widetilde{W_0^{1,p}}(\nu,\Omega_s),$$

где $\varphi\colon \Omega \times \mathbb{R} \to \mathbb{R}$ – функция, удовлетворяющая условиям Каратеодори и такая, что для почти всех $x \in \Omega$ $\varphi(x,\cdot)$ выпукла в $\mathbb{R}$, $\varphi(x,0) = 0$, и для почти всех $x \in \Omega$ и $\eta \in \mathbb{R}$ имеем $|\varphi(x,\eta)| \leq c\nu(x)|\eta|^p + b(x)$, где $b \in L^1(\Omega)$, $b \geq 0$ в Ω. Для любого $s \in \mathbb{N}$ определим множество

$$V_s = \left\{u_s \in \widetilde{W_0^{1,p}}(\nu, \Omega_s) : \Phi_s(u) \le 1\right\}.$$

Для любой функции $\sigma \in L^\infty(\Omega)$ определим функционалы $G^\sigma, \Phi^\sigma : W_0^{1,p}(\nu, \Omega) \to \mathbb{R}$ следующим образом:

$$G^\sigma(u) = \int_\Omega \sigma g(x,u)\, dx, \quad \Phi^\sigma(u) = \int_\Omega \sigma\varphi(x,u)\, dx, \quad u \in W_0^{1,p}(\nu, \Omega)$$

и положим $V^\sigma = \left\{u \in W_0^{1,p}(\nu, \Omega) : \Phi^\sigma(u) \le 1\right\}$.

Теорема [9]. *Предположим, что выполняются следующие условия:* $(*_1)$ *вложение* $W_0^{1,p}(\nu, \Omega)$ *в* $L^p(\nu, \Omega)$ *компактно;* $(*_2)$ *последовательность пространств* $\widetilde{W_0^{1,p}}(\nu, \Omega_s)$ *сильно связана с пространством* $W_0^{1,p}(\nu, \Omega)$*;* $(*_3)$ *существует положительная ограниченная измеримая функция* σ *в* Ω *такая, что для любого открытого куба* $Q \subset \Omega$ *имеем* $\lim_{s\to\infty} meas(Q \cap \Omega_s) = \int_Q \sigma\, dx$*;* $(*_4)$ *последовательность* $\{J_s\}$ Γ*-сходится к функционалу* $J : W_0^{1,p}(\nu, \Omega) \to \mathbb{R}$. *Пусть для любого* $s \in \mathbb{N}$ *функция* $u_s \in V_s$ *минимизирует функционал* I_s *на* V_s. *Тогда существует функция* $u \in V^\sigma$ *такая, что: функция* $u -$ *единственная точка минимума функционала* $J + G^\sigma$ *на множестве* V^σ*;* $\lim_{s\to\infty} \|u_s - q_s u\|_{L^p(\nu,\Omega_s)} = 0, \lim_{s\to\infty} I_s(u_s) = (J + G^\sigma)(u)$.

1. Хруслов Е.Я. Асимптотическое поведение решений второй краевой задачи при измельчении границы области // Мат. сб. – 1978. – **106**, № 4. – С. 604-621.
2. Ковалевский А.А. О некоторых вопросах, связанных с проблемой усреднения вариационных задач для функционалов с переменной областью определения // Совр. анализ и его прил.: Сб. науч. тр. – К.: Наук. думка, 1989. – С. 62-70.
3. Kovalevsky A.A., Rudakova O.A. Variational problems with pointwise constraints and degeneration in variable domains // Differ. Equ. Appl. – 2009. – **1**, № 4. – P. 517-559.
4. Ковалевский А.А., Рудакова О.А. О сильной связанности весовых пространств Соболева и компактности последовательностей их элементов // Труды ИПММ НАН Украины. – 2006. – 12. – С. 85-99.
5. De Giorgi E., Franzoni T. Su un tipo di convergenza variazionale // Atti Accad. Naz. Lincei. Rend. Cl. Sci. Fis. Mat.e Natur. – 1975. – **58**, № 6. – P. 842-850.
6. Dal Maso G. An introduction to Γ-convergence. – Boston: Birkhäuser, 1993. – 337 p.
7. Braides A., Defranceschi A. Homogenization of multiple integrals // Oxford Lect. Ser. Math. and Appl. – New York: Clarendon Press, 1998. – **12**. – 298 p.
8. Kovalevsky A.A., Rudakova O.A. Γ-convergence of integral functionals with degenerate integrands in periodically perforated domains // Труды ИПММ НАН Украины. – 2009. – **19**. – С. 101-109.
9. Rudakova O.A. On the convergence of solutions of the variational problems with integral constraints and degeneration in variable domains // Труды ИПММ НАН Украины. – 2013. – 26. – С. 172-180.

УДК 517.9

МГНОВЕННАЯ КОМПАКТИФИКАЦИЯ НОСИТЕЛЕЙ РЕШЕНИЙ ПАРАБОЛИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ ВЫСОКОГО ПОРЯДКА ТИПА ДИФФУЗИИ-КОНВЕКЦИИ

Сапронов Д.А., Шишков А.Е.
Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, г. Макеевка
Институт прикладной математики и механики НАНУ, г. Славянск
nervsofhorse@mail.ru

В области $G_T = (0,T) \times R^n$, $n > 1$, рассматривается следующая задача Коши:

$$(|u|^{q-1} u)_t + (-1)^m \sum_{|\alpha|=m} D_x^\alpha (|D_x^\alpha u|^{p-1} D_x^\alpha u) + \chi \cdot \nabla (|u|^{\lambda-1} u) = 0, \qquad (1)$$

$$u(0,x) = u_0 \in L_{q+1}(R)^n, \quad m \geq 1,\ p > 0,\ q > 0,\ \lambda > 0,\ \chi \in R^n. \qquad (2)$$

Задачи (1)–(2) моделируют различные физические процессы (фильтрация жидкостей, движение плазмы, теплопроводность), в которых в направлении вектора χ присутствует конвективный перенос.

Определение. Задача (1)–(2) обладает свойством мгновенной компактификации носителя решения (кратко МКН), если существует неограниченная область $\Omega \subset R^n$ такая, что для решения $u(t,x)$ множество $supp u(t,x) \cap \Omega$ является ограниченным $\forall\ t > 0$ при неограниченности $supp u_0(x) \cap \Omega$..

Для задачи (1)–(2) в случаях $m = n = p = 1$, $\lambda < 1$, $\lambda < q$ и $m = 1$, $\lambda < q$, $\lambda < p$ наличие МКН было установлено соответственно в [1, 2].

Теорема. Пусть в (1) выполнено $\chi = (1,0,...,0)$, $\lambda < q \leq p$, а $u_0(x)$ удовлетворяет следующему ограничению при $x_1 \to -\infty$:

$$\int_{\{x_1 < s\}} |u_0(x)|^{q+1} dx \leq k(s) |s|^{-\beta} \quad \forall s < s_0 < 0, \ \beta = \frac{q+1}{q-\lambda} + \frac{n(p-q)}{m(p+1)(q-\lambda)}, \qquad (3)$$

где $k(s) < c < \infty$ – произвольная неубывающая функция. Тогда существует $T_0 = T_0(c) < \infty$ такое, что область $supp u(t,x) \cap \Omega_d$, $\Omega_d = \{x = (x_1, x') \in R^n : x_1 < 0, |x'| < d\}$ является ограниченной $\forall t > T_0$, $\forall\ d < \infty$. Если же дополнительно выполнено $k(s) \to 0$ при $s \to -\infty$, то имеет место МКН (т.е. $T_0 = 0$).

Также установлено наличие МКН в случае $\lambda < p < q$ при более сильных, чем (3), ограничениях на $u_0(x)$ и некоторых дополнительных условиях на показатели нелинейности уравнения (1).

Все результаты получены на основе интегральных априорных оценок, аналогичных принципу Сен-Венана в теории упругости.

1. Gilding B. H. , Kersner R. Instantaneous shrinking in nonlinear diffusion – convection // Proceedings of the American Mathematical Society. – 1990. – Vol. 109. no. 2. – P. 385-394.

2. Shishkov A.E. Instantaneous shrinking phenomenon for solutions of higher-dimensional nonlinear diffusion-convection equations // Methods Funct. Anal. Topology. – 1999. – Vol. 5. No. 3. – P. 54-76.

УДК 515.2

INVERSION OF SURFACES REFERRED TO THE LINES OF CURVATURE

Gaidar O.G., Gaidar E.V.
Donetsk National Technical University,
Donetsk National University of Economics and Trade Tugan-Baranovsky
gog2000@mail.ru

Reference of surfaces to the lines of curvature plays an important role in the theory of covers and at determination of optimum trajectories of processing on NC machine tools. Transition from any parameterization to the special one, at which the coordinate grid coincides with the grid of lines of curvature, is possible only for some surfaces. It is connected with the fact that finding of the lines of curvature on a surface is reduced to the solution of the differential equations which can be integrated in some cases only. Considering this designing of the surfaces and finding the families of the lines of curvature on them is a topical task.

One of the most widespread mathematical apparatuses of designing of lines and surfaces are geometrical transformations. They allow to receive new images, keeping certain useful properties of prototypes. The transformation of the known surfaces referred to the families of the lines of curvature will be carried out using the inversion. As far as this transformation is conformal, the orthogonality of the lines remains constant and the lines of curvature of the initial surface turn into the lines of curvature of the new surface [1].

If
$$\bar{x} = \bar{x}(t,u), \quad \bar{y} = \bar{y}(t,u), \quad \bar{z} = \bar{z}(t,u) \tag{1}$$
are the parametrical equations of the prototype surface, the parametrical equations of the image surface, received by application of the transformation of the inversion [2], are

$$\begin{aligned} x &= \frac{R^2(\bar{x}+\bar{x}_0)}{(\bar{x}+\bar{x}_0)^2+(\bar{y}+\bar{y}_0)^2+(\bar{z}+\bar{z}_0)^2}, \\ y &= \frac{R^2(\bar{y}+\bar{y}_0)}{(\bar{x}+\bar{x}_0)^2+(\bar{y}+\bar{y}_0)^2+(\bar{z}+\bar{z}_0)^2}, \\ z &= \frac{R^2(\bar{z}+\bar{z}_0)}{(\bar{x}+\bar{x}_0)^2+(\bar{y}+\bar{y}_0)^2+(\bar{z}+\bar{z}_0)^2}, \end{aligned} \tag{2}$$

where $\bar{x}_0\ \bar{y}_0\ \bar{z}_0$ are the coordinates of the center of inversion, R is the radius of inversion.

Thus, if t=const, u=const are the lines of the curvature of the surface (1), they are the lines of curvature and for the surface (2) too.

Let's note a number of properties useful to the applied formation of characteristics which the inversion transformation has:

- the image of the sphere is the sphere (we will remind that the plane is the sphere too and has the infinite radius);
- the image of the plane which passes through the center of inversion is the plane which passes through the center too;
- the image of the plane which doesn't pass through the center of inversion is the sphere which passes through the center of inversion;
- the image of the sphere which doesn't pass through the center of inversion is the sphere which doesn't pass through the center of inversion;
- the image of the sphere which passes through the center of inversion is the plane which doesn't pass through the center of inversion;
- the transformation by inversion is conformal: it keeps corners.

For example, tor surface of the rotation (fig. 1), which equation is

$$\bar{x} = a + (R + r\cos u)\cos t, \qquad \bar{y} = (R + r\cos u)\sin t, \qquad \bar{z} = r\sin u \tag{3}$$

where R is the radius of the circle of the centers of one-parametrical family of the forming circles, r is the radius of the forming circle;

by transformation of the inversion (2) is raised to the equation of the cyclide of Dupin of the fourth order without conic points

$$x = \frac{c^2[(R + r\cos u)\cos t + a]}{2a(R + r\cos u)\cos t + 2Rr\cos u + R^2 + r^2 + a^2},$$

$$y = \frac{c^2(R + r\cos u)\sin t}{2a(R + r\cos u)\cos t + 2Rr\cos u + R^2 + r^2 + a^2}, \tag{4}$$

$$z = \frac{c^2 r\sin u}{2a(R + r\cos u)\cos t + 2Rr\cos u + R^2 + r^2 + a^2}.$$

In fig. 2 this cyclide constructed on the equation (4) at R=4, r=1.3, a=2.7, c=1, , $0 \le t \le 2\pi$, $0 \le u \le 2\pi$ is shown.

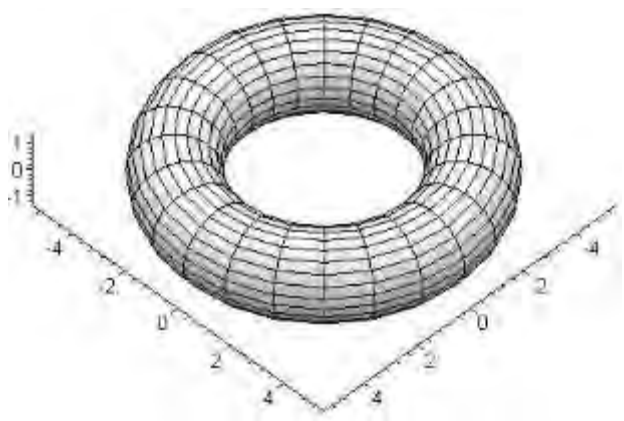


Fig. 1. The prototype surface

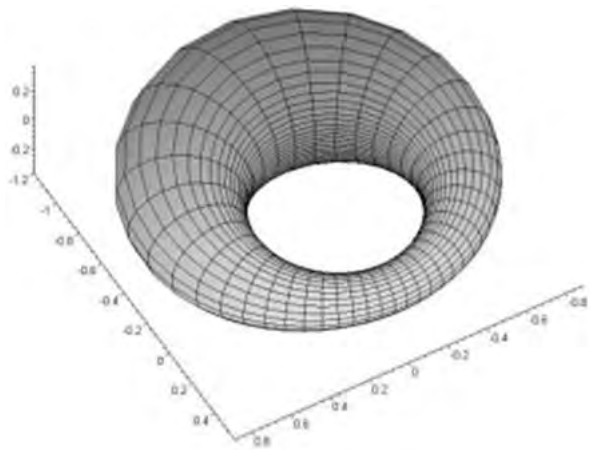


Fig. 2. The image surface

Dupin's cyclide of the fourth order with two conic points is possible to be received using the inversion of the rotation cone provided that the center of the inversion is assumed not to belong to its surface [3].

The parametrical equations of the cone-prototype will be written down as

$$\bar{x} = u^3 \sin\alpha \cos t, \quad \bar{y} = u^3 \sin\alpha \sin t, \quad \bar{z} = u^3 \cos\alpha + b \qquad (5)$$

Let's substitute (5) to (2) and receive

$$\bar{x} = \frac{c^2 u^3 \sin\alpha \cos t}{2u^3 b \cos\alpha + b^2 + u^6}, \ \bar{y} = \frac{c^2 u^3 \sin\alpha \sin t}{2u^3 b \cos\alpha + b^2 + u^6}, \bar{z} = \frac{c^2 (u^3 \cos\alpha + b)}{2u^3 b \cos\alpha + b^2 + u^6} \qquad (6)$$

the parametrical equations of the cyclide of the fourth order with two conic points (fig. 3) at $\alpha = \frac{\pi}{6}$ – a tilt angle forming the cone-prototype to its axis, b = - 1 – distance from the center of inversion to cone prototype's top, c=4, $0 \le t \le 2\pi$, $-10 \le u \le 10$.

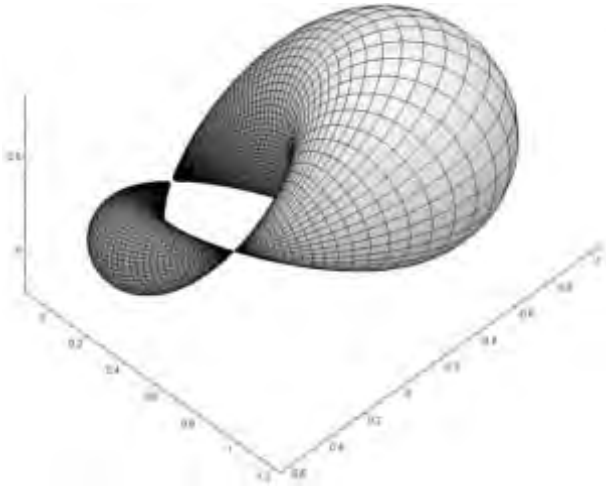


Fig. 3. Dupin's cyclide of the fourth order with two conic points

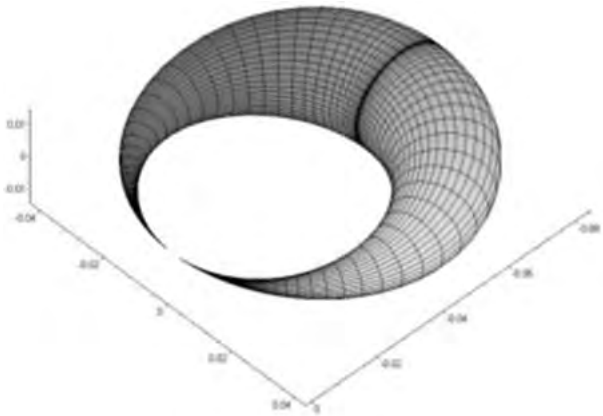


Fig. 4. Dupin's cyclide of the fourth order with one conic point

At last, the cyclide of the fourth order with one conic point is possible to be received using the inversion of rotation of the cylinder concerning the sphere which center is assumed not to belong to its surface [3]. The parametrical equations of the cylinder are

$$\bar{x} = r \cos t, \qquad \bar{y} = r \sin t, \qquad \bar{z} = u^3. \qquad (7)$$

let's substitute to (2) and receive

$$\bar{x} = \frac{c^2 r \cos t}{r^2 + u^6}, \qquad \bar{y} = \frac{c^2 r \sin t}{r^2 + u^6}, \qquad \bar{z} = \frac{c^2 u^3}{r^2 + u^6} \qquad (8)$$

the parametrical equations of the cyclide of the fourth order with one conic point.

This cyclide is shown in fig. 4 at r=6, c=5, $0 \le t \le 2\pi$, $-10 \le u \le 10$.

1. Гайдар О. Г. Перетворення інверсією поверхонь з двома сім'ями плоских ліній кривини // Прикладна геометрія та інженерна графіка. Праці / Таврійська державна агротехнічна академія. – Вип.4, т.28. – Мелітополь: ТДАТА. – 2004. – С. 100-103.
2. Гайдар О. Г. Формоутворення поверхонь застосуванням перетворень// Геометричне та комп'ютерне моделювання. Збірник наукових праць. / Харк. держ. університет харчування та торгівлі.–Вип.. 8. – Харьків, 2005. – С.32-37.

3. Скидан І. А., Гайдар О. Г. Візуалізація циклід Дюпена четвертого порядку// Прикладна геометрія та інженерна графіка. Праці / Таврійська державна агротехнічна академія.– Вип.4, т.26. – Мелітополь: ТДАТА. – 2004. – С. 17-19.

УДК 517.925

LYAPUNOV STABILITY IN DIFFERENCE SYSTEMS

Ignatyev A.O.
Institute of applied mathematics and mechanics, Donetsk
aoignat@mail.ru

Difference equations have been studied in various branches of mathematics for a long time. First results in qualitative theory of such systems were obtained by Poincar'e and Perron in the end of nineteenth and the beginning of twentieth centuries. Difference equations are a convenient model for discrete dynamic systems description and for mathematical simulation of systems with impulse effect. One of directions arising from applications of difference equations is linked with qualitative investigation of their solutions (stability, boundedness, controllability, observability, oscillation, robustness ...).

Consider the discrete system of the form

$$x_{n+1} = f_n(x_n), \qquad f_n(0) = 0, \tag{1}$$

where $n = 0,1,2,...$ is the discrete time, $x_n = (x_n^1, x_n^2, ..., x_n^p) \in \mathrm{R}^p$, $f_n = (f_n^1, f_n^2, ..., f_n^p) \in \mathrm{R}^p$, f_n satisfy Lipschitz conditions uniformly in $n: \| f_n(x) - f_n(y) \| \le L_r \| x - y \|$ for $\|x\| \le r$, $\|y\| \le r$. System (1) has the trivial (zero) solution

$$x_n \equiv 0.$$

Sufficient conditions of its asymptotic stability are obtained in the cases when functions $f_n(x)$ are periodic and almost periodic in n.

УДК 519.216; 517.925

NEW CRITERION OF PARTIAL ASYMPTOTIC STABILITY IN PROBABILITY OF STOCHASTIC DIFFERENTIAL EQUATIONS

Ignatyev Oleksiy
Michigan State University, A408 Wells Hall, East Lansing, MI 48824-1027, USA
Ignatyev@stt.msu.edu

The main method for investigating the stability and asymptotic stability in probability of the zero solution of the systems of stochastic differential equations is Lyapunov’s Direct (or Second) Method.

Lyapunov's initial results, and the initial work involving Lyapunov vector-functions pertained to finite-dimensional dynamical systems determined by ordinary differential equations. However, it was quickly recognized that the Second Method can be extended to be also applicable to finite dimensional dynamical systems determined by difference equations, and to infinite-dimensional dynamical systems defined on Hilbert, Banach and even general metric spaces. (Such dynamical systems are determined, e. g., by functional differential equa-tions, partial differential equations, Volterra integro-differential equations and others.)

With the emergence of the Second Method of Lyapunov as an indispensable tool in science, engineering, and applied mathematics, several interesting and important variants to Lyapunov's original concepts of stability were proposed. One of these involves the notion of the partial stability [4, 12, 24–26, 28]. This concept, which has been used in investigating the qualitative properties of equilibria and boundedness properties of motions of dynamical systems determined by ordinary differential equations, difference equations, functional differential equations, stochastic differential equations, and others, involves a notion of stability with respect to only a prespecified subset of the state variables characterizing the motions of the system under investigation. This type of stability is of interest, e.g., in applications where only the asymptotic behavior of certain prespecified components of a motion is of interest, and in applications where stability with respect to only certain variables of the motion is in fact true. We note in passing that problems concerning partial stability of dynamical systems are closely related to problems of stability with respect to two measures [17, 18]. The concepts of partial stability, going back to famous works by Lyapunov, Routh and Volterra, were developed by Rumyantsev [25, 26] and other authors [4, 8, 9, 11, 12, 28].

Rumyantsev [25] obtained the theorems on the partial stability for ordinary differential equations (which is an analog of Lyapunov's stability theorem) in the assumption that Lyapunov's function $V(t,x)$ is positive definite with respect to part of the state variables, and its derivative dV/dt is nonpositive. Later [26] he proved that the zero solution of a system of differential equations is partially asymptotically stable if $V(t,x)$ is positive definite with respect to part of variables, and dV/dt is negative definite (with respect to all variables or to part of them).

Has'minskii [7] proved a generalization of Lyapunov theorems in the case of stochastic differential equations. Sharov [29] extended Rumyantsev's results concerning the partial stability and asymptotic stability on the case of stochastic differential equations. For asymptotic stability in probability he uses the requirement for the operator LV to be negative definite with respect to part of the variables. Many results concerning the stability and asymptotic stability in probability of the zero solution of stochastic differential equations were obtained also by Kushner [16], Mao [20–22]. In the recent years the method of Lyapunov's functions for stochastic differential equations has been developed in the papers [1, 3, 5, 13, 15, 19, 21, 22, 27, 30] and others.

Very often, when we are interested in investigation of asymptotic stability of the zero solution, in applications it is possible to construct the Lyapunov function when its derivative is nonpositive only. In this case for ordinary differential equations Barbashin and Krasovskii proved a well-known result [2] on asymptotic stability. This result was extended by Rumyantsev [26], Ignatyev [8, 9] and Ignatyev [10] in the case of partial asymptotic stability of autonomous, periodic and almost periodic systems.

In this talk, we obtain the criteria of the partial asymptotic stability in probability of the zero solution of autonomous system of stochastic differential equations in the case when $LV \le 0$. This result generalizes Rumyantsev result [26] in the case of stochastic differential equations, and it generalizes Sharov result [29] in the case when $LV \le 0$.

1. Arnold L., Schmalfuss B. Lyapunov's second method for dynamical sysytems, J. Differ. Equ. 177 (2001) 235–265.
2. Barbashin E.A, Krasovskyii N.N. On the stability of motion on the large, Dokl. Akad. Nauk USSR 86 (1952) 453–456 (Russian).
3. Cesaroni A. A converse Lyapunov theorem for almost sure stabilizability, Syst. Control Lett. 55 (2006) 992–998.
4. Corduneanu C. On partial stability for delay systems, Ann. Polon. Math. 29 (1975) 357–362.
5. Florchinger P. Feedback stabilization of affine in the control stochastic differential equations by the control Lyapunov function method, SIAM J. Control Optim. 35 (1997) 500–511.
6. Hahn W. Stability of Motion, Springer – Berlin–Heidelberg, New York, 1967.
7. Has'minskii R.Z. Stochastic Stability of Differential Equations, Sijthoff and Noordhoff, Rockville, Maryland, USA, 1980.
8. Ignat'ev A.A. On equi-asymptotic stability with respect to some of the variables, J. Appl. Math. Mech. 63 (1999) 821–824.
9. Ignat'ev A.A. Equiasymptotic stability of almost periodic systems, Dopov. Nats. Akad. Nauk. Ukr. Mat. Prirodozn. Tekh. Nauki. 10 (1997) 32–35 (Russian).
10. Ignatyev A.O. On the stability of equilibrium for almost periodic systems, Nonlinear Anal. Theory, Methods Appl. 29 (1997) 957–962.
11. Ignatyev A.O. On the partial equiasymptotic stability in functional differential equations, J. Math. Anal. Appl. 268 (2002) 615–628.
12. Ignatyev O. On the partial asymptotic stability in nonautonomous differential equations, Differ. Integral Equ. 19 (2006) 831–839.
13. Ignatyev O. Partial asymptotic stability in probability of stochastic differential equations, Stat. Probab. Lett. 79 (2009) 597–601.
14. Il'chenko O. Stochastically bounded solutions of a linear nonhomogeneous stochastic differential equation, Theor. Probab. Math. Stat. 68 (2004) 41–48.
15. Kolmanovskii V., Shaikhet L. Construction of Lyapunov functionals for stochastic hereditary systems: a survey of some recent results, Math. Comput. Model. 36 (2002) 691–716.
16. Kushner H.J. Stochastic Stability and Control, Academic Press, New York, 1967.
17. Lakshmikantham V., Liu X. Stability Analysis in Terms of Two Measures, World Scientific, Singapore, 1993.
18. Liu X. Stability in terms of of two measures for functional differential equations, J. Differ. Integral Equ. 3 (1989) 257–261.
19. Mandrekar V. On Lyapounov stability theorems for stochastic (deterministic) evolution equations, Stochastic Anal. Appl. Phys. 449 (1993) 219–237.
20. Mao X. Exponential stability for nonlinear stochastic differential equations with respect to semimartingales, Stochastics Stochastics Rep. 28 (1989) 343–355.

21. Mao X. Exponential Stability of Stochastic Differential Equations, Marcel Dekker Inc, New York-Basel-Hong Kong, 1994.
22. Mao X. Stochastic version of the LaSalle theorem, J. Differ. Equ. 153 (1999) 175–195.
23. Oksendal B. Stochastic Differential Equations: An Introduction with Applications, Springer, Berlin, New York, 1998.
24. Rouche N., Habets P., Laloy M. Stability Theory by Liapunov's Direct Method, Springer-Verlag, New York, 1977.
25. Rumyantsev V.V. On the stability of motions with respect to part of variables, Vestnik Moscow Univ., Ser. Math. Mech. 4 (1957) 9–16.
26. Rumyantsev V.V., Oziraner A.S. Partial Stability and Stabilization of Motion, Nauka, Moscow, 1987 (Russian).
27. Samoilenko A.M., Stanzhitskii A.N. Qualitative and Asymptotic Analysis of Differential Equations under Random Perturbations, Naukova Dumka, Kiev, 2009 (Ukrainian).
28. Savchenko A.Ya., Ignatyev A.O. Some Problems of Stability Theory, Naukova Dumka, Kiev, 1989 (Russian).
29. Sharov V.F. Partial stability and stabilization of stochastic systems, Avtom. Telemekh. 11 (1978) 63–71 (Russian).
30. Stanzhitskii A.N. Investigation of invariant sets of Ito stochastic systems by means of Lyapunov functions, Ukrainian Math. J. 53 (2001) 323–327.

УДК 521.1; 531.38

О ДВИЖЕНИИ ЖИДКОГО ЭЛЛИПСОИДА И ОДНОРОДНОГО ТВЕРДОГО ШАРА, ГРАВИТИРУЮЩИХ ДРУГ С ДРУГОМ

***Андрюхин А.И.*[1], *Судаков С.Н.*[2]**
ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет»;
ГУ «Институт прикладной математики и механики», г. Донецк
sudakov@iamm.su

В геофизике и геодезии фундаментальную роль играет понятие референц-поверхности, то есть поверхности постоянного гравитационного потенциала, совпадающей с поверхностью океана и простирающейся под континентами. Именно от нее ведутся все отсчеты. Долгое время хорошим приближением такой поверхности считался эллипсоид Маклорена – самогравитирующий жидкий осесимметричный эллипсоид, вращающийся вокруг своей оси симметрии. Однако, в последнее время, благодаря точным измерениям, проведенным с использованием космических аппаратов, было выяснено, что поверхность Земли не является точно эллипсоидом вращения [1].

В связи со сказанным возникает вопрос: в какой мере поверхность Земли, рассматриваемая как поверхность жидкого эллипсоида, будет отклоняться от эллипсоида Маклорена под действием гравитационного притяжения таких небесных тел, как Луна и Солнце. С этой целью была рассмотрена задача двух тел, одно из которых – жидкий эллипсоид с массово-геометрическими параметрами Земли, а второе – твердый однородный шар с массой, равной массе Луны или Солнца.

Для решения задачи использовались три прямоугольных декартовых системы координат: $O\xi_1\xi_2\xi_3$ – неподвижная инерциальная, начало которой совпадает с центром масс (ЦМ) всей системы; $O_1\eta_1\eta_2\eta_3$, начало которой совпадает с ЦМ жидкого эллипсоида, а оси направлены параллельно соответствующим осям системы $O\xi_1\xi_2\xi_3$; $O_1x_1x_2x_3$, оси которой являются главными осями жидкого эллипсоида.

Относительно жидкого эллипсоида сделаны предположения. Жидкость считается несжимаемой и обладающей переменной вязкостью, допускающей однородное вихревое движение (ОВД) [2].

Для существования ОВД была сделана линеаризация, суть которой состоит в следующем. Проекции на оси $O_1x_1x_2x_3$ силы, действующей на единичный объем жидкости со стороны твердого шара, определяются формулами

$$f_i = G\rho m_2 \frac{\tilde{x}_{2i} - \tilde{x}_i}{r^2[(\tilde{x}_{21} - \tilde{x}_1)^2 + (\tilde{x}_{21} - \tilde{x}_1)^2 + (\tilde{x}_{21} - \tilde{x}_1)^2]^{3/2}}, \quad i = 1,2,3,$$

где G – гравитационная постоянная, ρ – плотность жидкости, $r^2 = x_{21}^2 + x_{22}^2 + x_{23}^2$, $\tilde{x}_{2i} = \tilde{x}_{2i} / r$, $\tilde{x}_i = x_i / r$, x_1, x_2, x_3 – координаты рассматриваемой частицы жидкости в осях $O_1 x_1 x_2 x_3$.

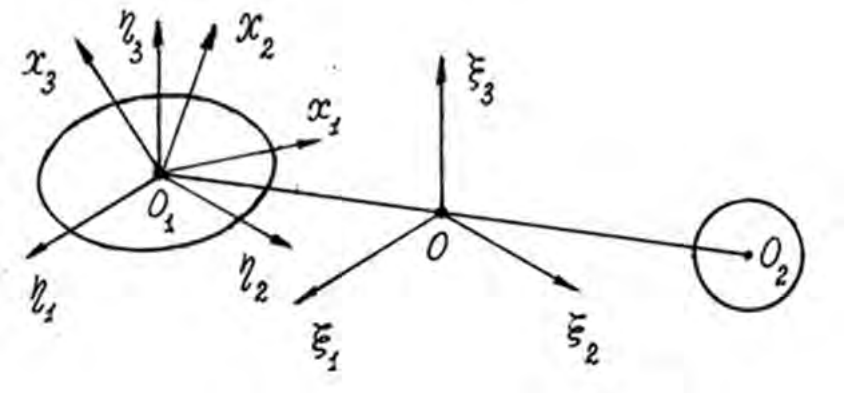


Рис. 1. Используемые системы координат.

В дальнейшем будем рассматривать только те случаи, когда расстояние r между точками O_1 и O_2 настолько велико, что можно провести линеаризацию величин f_i по $\tilde{x}_i$, $i = 1,2,3$, где G – гравитационная постоянная, ρ – плотность жидкости. После линеаризации выражения приняли вид

$$f_i = \frac{G\rho m_2}{r^2}\left(\frac{x_{21}}{r} + \left(\frac{3x_{21}^2}{r^2} + 1\right)\frac{x_1}{r} + \frac{3x_{21}x_{22}x_2}{r^3} + \frac{3x_{21}x_{23}x_3}{r^3}\right) \quad (123), \qquad (1)$$

где символ циклической перестановки индексов (123) не применяется к величине m_2 и к первому индексу величин x_{21}, x_{22}, x_{23}.

Движение жидкости переменной вязкости описывается уравнениями [3]

$$\frac{\partial \boldsymbol{v}}{\partial t} + (\boldsymbol{v}\cdot\nabla)v = -\frac{1}{\rho}\nabla p + \nu(\boldsymbol{x},\boldsymbol{c})\Delta\boldsymbol{v} - \boldsymbol{w} - \dot{\boldsymbol{\omega}}\times\boldsymbol{x} - \boldsymbol{\omega}\times(\boldsymbol{\omega}\times\boldsymbol{x}) - 2\boldsymbol{\omega}\times\boldsymbol{v} - \nabla\Phi + \frac{1}{\rho}\boldsymbol{f},$$

$$div\,\boldsymbol{v} = 0, \qquad (2)$$

где $\boldsymbol{v} = (v_1, v_2, v_3)$ – скорость движения жидкости относительно осей $O_1 x_1 x_2 x_3$, $\boldsymbol{x} = (x_1, x_2, x_3)$ – координатный вектор, ρ – плотность жидкости, p – давление, $\boldsymbol{\omega}$ – угловая скорость осей $O_1 x_1 x_2 x_3$, $\boldsymbol{c} = (c_1, c_2, c_3)$ – полудлины главных осей жидкого эллипсоида, $\boldsymbol{w} = (w_{x_1}, w_{x_2}, w_{x_3})$ – абсолютное ускорение точки O_1, $\boldsymbol{f} = (f_1, f_2, f_3)$. Кинематическая вязкость $\nu(\mathbf{x},\mathbf{c})$ определяется выражением

$$\nu = \nu_0\left(1 - \frac{x_1^2}{c_1^2} - \frac{x_2^2}{c_2^2} - \frac{x_3^2}{c_3^2}\right), \qquad \nu_0 = \text{const}. \qquad (3)$$

Используя подход Пуанкаре [4], уравнения (1)–(3) были сведены к системе шестнадцати обыкновенных дифференциальных уравнений первого

порядка, представлены в безразмерном виде и решались численным методом Рунге–Кутта 4–5. За единицу времени принимались земные сутки, за единицу длины – средний радиус Земли.

На рис. 2 представлены результаты расчетов для системы Земля–Луна.

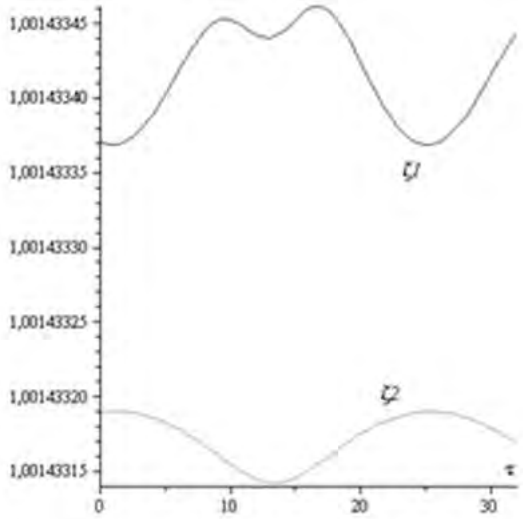


Рис. 2. Изменение экваториальных полуосей жидкого эллипсоида для системы Земля–Луна

1. *Мориц Г.* Фигура Земли: Теоретическая геодезия и внутреннее строение Земли // Перевод с англ. – Киев, 1994. – 240 с.
2. *Судаков С.Н.* О колебаниях вращающихся жидких гравитирующих эллипсоидов переменной вязкости // Механика твердого тела. – 2002. – Вып. 32. – С. 217–226.
3. *Лойцянский Л.Г.* Механика жидкости и газа. – М.: Наука, 1973. – 848 с.
4. *Ламб Г.* Гидродинамика. – М.-Л.: Гостехиздат, 1947. – 928 с.

УДК 531.38

НОВАЯ ФОРМА УРАВНЕНИЙ ЭЙЛЕРА–ПУАССОНА

Горр Г.В.
ГУ «Институт прикладной математики и механики», г. Донецк
gvgorr@gmail.com

В динамике твердого тела с неподвижной точкой большое значение имеют редуцированные формы уравнений движения. В [1, 2] выполнен анализ различных подходов в получении уравнений динамики. Отмечено, что начало по построению новых форм уравнений движения тела с неподвижной точкой положено В. Гессом. Однако, уравнения В. Гесса не нашли широкого применения в построении решений уравнений движения. В работах А.Д. Билимовича, Н. Ковалевского, С.А. Чаплыгина, А.И. Докшевича, П.В. Харламова указаны такие формы дифференциальных уравнений динамики, на основе которых можно построить подходы в интегрировании уравнений в квадратурах. Особый успех в разработке новых форм уравнений

динамики достиг П.В. Харламов. Он предложил для редукции уравнений Эйлера–Пуассона использовать специальную систему координат (для этой системы центр масс тела лежит на координатной оси). П.В. Харламов получил две формы уравнений, из которых следуют в качестве частных случаев уравнения Ковалевского и Чаплыгина.

Данный доклад посвящен исследованию уравнений

$$\dot{\boldsymbol{x}} = \boldsymbol{x} \times a\boldsymbol{x} + s(\boldsymbol{e} \times \boldsymbol{v}), \qquad \dot{\boldsymbol{v}} = \boldsymbol{v} \times \boldsymbol{\omega}, \tag{1}$$

которые допускают первые интегралы

$$\boldsymbol{v} \cdot \boldsymbol{v} = 1, \qquad \boldsymbol{x} \cdot \boldsymbol{v} = k, \qquad \boldsymbol{x} \cdot a\boldsymbol{x} - 2s(\boldsymbol{e} \cdot \boldsymbol{v}) = 2E. \tag{2}$$

В (1), (2) $\boldsymbol{x} = (x_1, x_2, x_3)$ – момент количества движения; $\boldsymbol{v}$ – единичный вектор, указывающий направление силы тяжести; $a = (a_{ij})$ – гирационный тензор; $\boldsymbol{e} = (e_1, e_2, e_3)$ – единичный вектор, направленный из неподвижной точки в центр тяжести; s – постоянный параметр; k и E – произвольные постоянные; точка над переменными обозначает относительную производную по времени.

Уравнения (1) с интегралами (2) редуцированы к следующей системе уравнений

$$\dot{\boldsymbol{x}} = \boldsymbol{x} \times a\boldsymbol{x} + \frac{s}{\vartheta - \rho^2}[(k - \mu\rho)(\boldsymbol{e} \times \boldsymbol{x}) + u(t)(\rho\boldsymbol{e} \cdot \boldsymbol{x})], \tag{3}$$

$$\dot{u}(t) = \frac{1}{\vartheta - \rho^2}\{(\mu\vartheta - k\rho)[a\boldsymbol{x} \cdot \boldsymbol{x} - \rho(\boldsymbol{e} \cdot a\boldsymbol{x})] -$$

$$- s(1 - \mu^2)(\vartheta - \rho^2) - \rho u(t)[a\boldsymbol{x} \cdot (\boldsymbol{e} \times \boldsymbol{x})]\}, \tag{4}$$

где ρ, μ, ϑ – инварианты Гесса:

$$\rho = \boldsymbol{x} \cdot \boldsymbol{e}, \qquad \mu = \frac{1}{s}\left(\frac{1}{2}(a\boldsymbol{x} \cdot \boldsymbol{x}) - E\right), \qquad \vartheta = \boldsymbol{x}^2. \tag{5}$$

В отличие от исходной системы (1), которая в скалярной форме является системой шести уравнений, система (3), (4) имеет в скалярной форме четыре уравнения.

Показано, что система (3) с обозначениями (5) допускает инвариантное соотношение

$$u(t) - (1 - \mu^2)(\vartheta - \rho^2) + (k - \mu\rho)^2 = 0. \tag{6}$$

Характерным свойством уравнений (3), (4) является свойство, что правые части этих уравнений содержат функцию $u(t)$ линейно. Данное обстоятельство отличает уравнения (3), (4) от всех известных автору доклада форм уравнений движения [2]. Знаменатель в (3), (4) $\vartheta - \rho^2 = (\boldsymbol{x} \times \boldsymbol{e})^2$ обращается в нуль только на равномерных движениях тела и поэтому уравнения (3), (4) не имеют особенностей.

Если уравнения (3), (4) проинтегрированы, то значение вектора $\boldsymbol{v}$ можно найти из соотношения

$$\boldsymbol{v} = \frac{1}{\vartheta - \rho^2}[(\vartheta\mu - k\rho)\boldsymbol{e} + (k - \rho\mu)\boldsymbol{x} + u(t)(\boldsymbol{e} \times \boldsymbol{x})]. \qquad (7)$$

В докладе приведены варианты скалярных уравнений, которые вытекают из (3), (4) в случаях, когда центр масс принадлежит главной оси координат и в главной плоскости эллипсоида инерции для неподвижной точки.

1. *Харламов П.В.* Лекции по динамике твердого тела. – Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. ун-та, 1965. – 221 с.
2. *Гашененко И.Н., Горр Г.В., Ковалев А.М.* Классические задачи динамики твердого тела. – К.: Наук. думка, 2012. – 400 с.

УДК 531.38

О СВОЙСТВАХ ПАРАМЕТРОВ РОДРИГА–ГАМИЛЬТОНА В СЛУЧАЕ ПРЕЦЕССИЙ ТВЕРДОГО ТЕЛА С НЕПОДВИЖНОЙ ТОЧКОЙ

Данилюк Д.А.

ГУ «Институт прикладной математики и механики», г. Донецк

daniljuk@bk.ru

Геометрические методы исследования занимают особое место в задачах динамики тяжелого твердого тела, поскольку они позволяют получить полное представление о свойствах движения тела в решениях уравнений Эйлера–Пуассона. Существуют различные геометрические подходы в истолковании движения механических систем (метод апекса, метод годографов, метод использования углов Эйлера и другие). Методы исследования устойчивости движения современных объектов техники (спутников, роботов, гироскопических приборов) требуют применения таких параметров, которые не дают особенностей в аналитических преобразованиях. Таким требованиям удовлетворяют параметры Родрига–Гамильтона [1].

Данный доклад посвящен изложению результатов по применению параметров Родрига–Гамильтона для прецессий твердого тела. Многие задачи о движении твердого тела описываются двумя векторными уравнениями вида

$$\dot{\boldsymbol{\omega}} = \mathbf{f}(\boldsymbol{\omega}, \boldsymbol{\nu}), \quad \dot{\boldsymbol{\nu}} = \boldsymbol{\nu} \times \boldsymbol{\omega}, \qquad (1)$$

где $\boldsymbol{\omega} = (\omega_1, \omega_2, \omega_3)$ – вектор угловой скорости тела; $\boldsymbol{\nu} = (\nu_1, \nu_2, \nu_3)$ – характерный для рассматриваемой задачи вектор (например, вектор оси симметрии силовых полей).

Если через θ, φ, ψ – обозначить углы Эйлера, то очевидны соотношения

$$\begin{gathered} \omega_1 = \dot{\psi}\sin\theta\sin\varphi + \dot{\theta}\cos\varphi, \quad \omega_2 = \dot{\psi}\sin\theta\cos\varphi - \dot{\theta}\sin\varphi, \\ \omega_3 = \dot{\psi}\cos\theta + \dot{\varphi}, \quad \nu_1 = \sin\theta\sin\varphi, \quad \nu_2 = \sin\theta\cos\varphi, \quad \nu_3 = \cos\theta. \end{gathered} \qquad (2)$$

При подстановке выражений (2) в уравнения (1) получим систему трех уравнений второго порядка на переменные θ, φ, ψ. После её интегрирования (возможно и численного) можно установить зависимости $\theta = \theta(t)$, $\varphi = \varphi(t)$, $\psi = \psi(t)$, которые позволяют не только найти основные переменные задачи $\omega_i = \omega_i(t)$, $v_i = v_i(t)$ $\left(i = \overline{1,3}\right)$, но и получить положение тела в любой момент времени. Однако при использовании углов Эйлера в задачах устойчивости движения приходится сталкиваться с особенностями (например, с особенностью $\theta = 0$). Поэтому в задачах навигации применяются параметры Родрига–Гамильтона, которые связаны с углами Эйлера θ, φ, ψ соотношениями

$$\begin{gathered}\lambda_0 = \cos\frac{\theta}{2}\cos\frac{\psi+\varphi}{2}, \quad \lambda_1 = \sin\frac{\theta}{2}\cos\frac{\psi-\varphi}{2}, \\ \lambda_2 = \sin\frac{\theta}{2}\sin\frac{\psi-\varphi}{2}, \quad \lambda_3 = \cos\frac{\theta}{2}\sin\frac{\psi+\varphi}{2}.\end{gathered} \tag{3}$$

В докладе параметры (3) изучаются для прецессионных движений твердого тела. Эта задача актуальна в силу того, что прецессии тела являются рабочими режимами объектов техники. Классическим примером прецессии служит регулярная прецессия гироскопа Лагранжа относительно вертикали. Различные варианты других классов прецессий указаны в книге [2]. На основе этих классов исследованы свойства параметров (3). В докладе рассмотрены прецессии относительно вертикали, для них имеет место разложение

$$\boldsymbol{\omega} = \varphi\mathbf{a} + \dot{\psi}\boldsymbol{\gamma}, \tag{4}$$

где $\mathbf{a}$ – единичный вектор, неизменно связанный с телом, образующий постоянный угол с вертикалью.

Приведены результаты исследований свойств параметров Родрига–Гамильтона для следующих типов прецессий (4):

- регулярной прецессии ($\dot{\varphi} = n, \dot{\psi} = m$);
- полурегулярной прецессии первого типа ($\dot{\varphi} \neq n, \dot{\psi} = m$);
- полурегулярной прецессии второго типа ($\dot{\varphi} = n, \dot{\psi} \neq m$);
- прецессии общего вида ($\dot{\varphi} \neq n, \dot{\psi} \neq m$);
- прецессионно–изоконических движений различных типов.

Здесь n и m – постоянные.

Например, прецессионно–изоконические движения общего вида ($\psi = \varphi$) характеризуются линейным инвариантным соотношением $\lambda_2 = 0$, которое следует из формул (3). В докладе изучены свойства инвариантных соотношений для других прецессий.

1. *Лурье А.И.* Аналитическая механика. – М.: Физматгиз, 1961. – 824 с.
2. *Горр. Г.В., Мазнев А.В.* Динамика гиростата, имеющего неподвижную точку. – Донецк, ДонНУ. 2010. – 364 с.

УДК 531.38

О НОВОМ КЛАССЕ ЧАСТНЫХ РЕШЕНИЙ УРАВНЕНИЙ КИРХГОФА-ПУАССОНА

Зыза А.В.
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк
z9125494@mail.ru

Особенностями задач динамики твердого тела, которое имеет неподвижную точку, является высокий порядок дифференциальных уравнений движения и большое количество параметров, которое характеризует изучаемую систему. Не обращая внимания на то, что задача Коши, как правило, для дифференциальных уравнений имеет решение, получить конструктивное решение для всего множества параметров невозможно. Поэтому одним из направлений исследования задач динамики твердого тела является направление, связанное с построением отдельных случаев интегрируемости уравнений движения.

Как показали исследования С.В. Ковалевской, В.А. Стеклова, Д.Н. Горячева, С.А. Чаплыгина, П.В. Харламова, А.И. Докшевича и других ученых построение новых решений уравнений динамики твердого тела является актуальной задачей, поскольку позволяет изучить свойства интегральных многообразий уравнений движения в окрестности данных частных решений и, в частности, обнаружить либо хаотический, либо регулярный характер в поведении интегральных траекторий.

В докладе рассматриваются условия существования специального класса полиномиальных решений уравнений движения гиростата под действием потенциальных и гироскопических сил. Потенциальные силы возникают при ньютоновском притягивании масс и взаимодействии магнитов с постоянным магнитным полем, электрических зарядов с электрическим полем. Центры ньютоновского и кулоновского притяжений лежат на оси, проходящей через неподвижную точку параллельно вектору, характеризующему направление постоянного магнитного поля. Гироскопические силы определяются лоренцевым воздействием магнитного поля на движущиеся в пространстве электрические заряды и циклическим движением роторов в теле-носителе. Уравнения движения такого гиростата относятся к уравнениям класса Кирхгофа и в векторной форме имеют вид:

$$A\dot{\vec{\omega}} = \left(A\vec{\omega} + \vec{\lambda}\right) \times \vec{\omega} + \vec{\omega} \times B\vec{\nu} + \vec{\nu} \times \left(C\vec{\nu} - \vec{s}\right), \quad \dot{\vec{\nu}} = \vec{\nu} \times \vec{\omega}. \tag{1}$$

Эти уравнения допускают три первых интеграла

$$\begin{gathered} A\vec{\omega} \cdot \vec{\omega} - 2\left(\vec{s} \cdot \vec{\nu}\right) + \left(C\vec{\nu} \cdot \vec{\nu}\right) = 2E_0, \\ 2\left(A\vec{\omega} + \vec{\lambda}\right) \cdot \vec{\nu} - \left(B\vec{\nu} \cdot \vec{\nu}\right) = 2k_0, \quad \vec{\nu} \cdot \vec{\nu} = 1. \end{gathered} \tag{2}$$

В (1), (2) обозначено $\vec{\omega}=(\omega_1, \omega_2, \omega_3)$ – угловая скорость гиростата; $\vec{\nu}=(\nu_1, \nu_2, \nu_3)$ – единичный вектор, характеризующий направление оси симметрии силовых полей; $\vec{\lambda}=(\lambda_1, 0, 0)$ – гиростатический момент; $\vec{s}=(s_1, 0, 0)$ – вектор обобщенного центра масс; A – тензор инерции гиростата, построенный в неподвижной точке; B и C – симметричные матрицы третьего порядка; точка над переменными обозначает относительную производную; E_0 и k_0 – постоянные интегралов.

Ставится задача об исследовании условий существования у уравнений (1) при $A=diag(A_1, A_2, A_3)$, $B=diag(B_1, B_2, B_3)$, $C=diag(C_1, C_2, C_3)$ решений вида

$$\omega_1 = p,\ \omega_2^2 = Q(p) = \sum_{i=1}^{n} b_i p^i,\ \omega_3^2 = R(p) = \sum_{j=1}^{m} c_j p^j,$$

$$\nu_1 = \varphi(p) = \sum_{i=1}^{l} a_i p^i,\ \nu_2 = \psi(p) q^{-1} \omega_2,\ \nu_3 = \kappa(p) q^{-1} \omega_3, \tag{3}$$

$$\psi(p) = \sum_{j=0}^{n_1} g_j p^j,\ \kappa(p) = \sum_{i=0}^{m_1} f_i p^i,$$

где n, m, l, n_1, m_1 – натуральные числа, b_k, c_i, a_j, g_i, f_j – параметры, подлежащие определению. Указанный класс решений является обобщением класса полиномиальных решений Стеклова-Ковалевского-Горячева.

Найдены условия существования у уравнений (1) решений вида (3). Полученные решения характеризуются следующими свойствами

$$\begin{aligned} &1.\ n=5,\ m=5,\ l=2,\ n_1=1,\ m_1=1; \\ &2.\ n=4,\ m=4,\ l=2,\ n_1=1,\ m_1=1. \end{aligned} \tag{4}$$

Решения (4) динамически невозможны в задаче о движении тяжелого гиростата с неподвижной точкой.

УДК 531.36

МЕТОД ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ И КООРДИНАТНЫЙ ПОДХОД В ЗАДАЧАХ УСТОЙЧИВОСТИ

Ковалев А.М.
ГУ «Институт прикладной математики и механики», г. Донецк
kovalev@iamm.su

Наибольшие успехи в решении задач устойчивости движения связаны с методом функций Ляпунова [1]. Опыт применения этого метода показал, что основную роль в успешном решении задачи играет построение функции, производная которой в силу системы является знакоопределенной, либо знакопостоянной. Дальнейшее развитие задачи устойчивости для систем со знакопостоянной производной связано с получением дополнительных

функций [2, 3]. К достижениям последнего времени относится введение понятия координатной устойчивости динамических систем [4], с помощью которого строится новый раздел теории устойчивости, вызванный требованиями современности, связанными с введением математических методов в науку и практику.

Постановка задачи устойчивости. Рассматривается устойчивость нулевого решения системы

$$\dot{x} = f(x), \qquad f(0) = 0; \quad x \in D \subset R^n, \quad t \in [t_0, \infty), \tag{1}$$

где D – некоторая окрестность нуля, функция $f(x)$ предполагается непрерывно дифференцируемой достаточное число раз для $x \in D$.

С целью более детальной характеристики движений в окрестности нулевого решения воспользуемся подходом, принятым в частичной устойчивости, и введем понятия устойчивых, асимптотически устойчивых и неустойчивых переменных.

Определение 1. Переменная $y = g(x)$ $(y \in R^1, y(0) = 0)$ называется устойчивой, асимптотически устойчивой и неустойчивой, если нулевое решение системы (1) является, соответственно, устойчивым, асимптотически устойчивым, неустойчивым относительно этой переменной.

Сформулируем следующие задачи, решение которых направлено на создание конструктивных методов теории устойчивости.

Задача 1. Выделить устойчивые, асимптотически устойчивые и неустойчивые переменные для системы (1), если для нее известна функция со знакопостоянной производной.

Задача 2. Для системы (1) получить функцию, производная которой является знакопостоянной функцией.

Метод дополнительных функций. Для более полного решения задачи 1 необходимо уменьшить множество M обращения в нуль знакопостоянной производной $\dot{V}(x)$ функции Ляпунова $V(x)$ с помощью леммы 1.

Лемма 1. Пусть множество $M = \{x : \varphi(x) = 0, \nabla\varphi(x) \neq 0\} \subset D$ содержит инвариантное множество N, определяемое первыми l независимыми функциями последовательности $\varphi(x), \dot{\varphi}(x), \ddot{\varphi}(x), \ldots$. Тогда для каждой точки $x_0 \in M \setminus N$ найдется k такое, что $\varphi^{(k)}(x_0) \neq 0$.

Лемма 1 дает возможность использовать производные $\varphi^{(s)}(x)$ для уменьшения множества обращения в нуль производной $\dot{V}(x)$. Для этого к функции $V(x)$ прибавляется функция, производная которой положительна на множестве M, а вне множества M значения этой функции могут быть подобраны так, чтобы не изменять свойства функций $\dot{V}(x)$, $V(x)$, прежде всего знакопостоянство $\dot{V}(x)$ и, возможно, знакоопределенность $V(x)$. В соответствии со своим назначением эти функции названы дополнительными функциями (имеется ввиду, к функции $V(x)$). В

простейшем случае, когда вопрос существования инвариантного множества $N \subset M$ для системы (1) решается двумя первыми членами последовательности $\varphi(x)=0,\ \dot{\varphi}(x)=0$, дополнительная функция (первого типа) имеет вид:

$$V_a(x)=\langle \nabla\varphi(x), f(x)\rangle^{2m}\langle\langle \nabla\varphi(x), f(x)\rangle, \varphi(x)\rangle\ . \qquad (2)$$

С использованием дополнительных функций типа (2) расширяется множество знакоопределенности $\dot{V}(x)$ до максимально возможного и решается вопрос о разделении переменных на устойчивые и асимптотически устойчивые. Наряду с решением вопроса об устойчивых переменных применение дополнительных функций решает вопросы неустойчивости. При этом удается полностью решить Задачу 1, разделив переменные на устойчивые, асимптотически устойчивые и неустойчивые.

Координатный подход. Координатный подход формируется на основе рассмотрения вопросов частичной устойчивости. Важное значение для его создания имеет решение Задачи 1, что порождает понятие координатной устойчивости, связанное со следующей задачей.

Задача 3. Для системы с известными свойствами переменных (относительно их устойчивости) ввести новые переменные с заданными свойствами, как функции известных переменных.

Для демонстрации координатного подхода и координатной устойчивости рассмотрим пример.

Пример 1. Исследуем устойчивость нулевого решения системы

$$\dot{x}_1=2x_1, \qquad \dot{x}_2=5x_1-3x_2, \qquad \dot{x}_3=6x_1-4x_3. \qquad (3)$$

Следуя Задаче 3, для системы (3) построим две системы, переменные одной из них являются асимптотически устойчивыми, а другие переменные являются неустойчивыми.

Решение задачи начнем с того, что систему (3) с помощью замены

$$y_1=x_1, \qquad y_2=x_2-x_1, \qquad y_3=x_3-x_1 \qquad (4)$$

приведем к виду

$$\dot{y}_1=2y_1, \qquad \dot{y}_2=-3y_2, \qquad \dot{y}_3=-4y_3. \qquad (5)$$

С помощью замены

$$z_1=y_1y_2^2, \qquad z_2=y_2, \qquad z_3=y_3 \qquad (6)$$

получим систему

$$\dot{z}_1=-4z_1, \qquad \dot{z}_2=-3z_2, \qquad \dot{z}_3=-4z_3. \qquad (7)$$

Все переменные системы (7) асимптотически устойчивые. Для получения неустойчивых переменных сделаем замену в системе (3)

$$\upsilon_1=x_1, \qquad \upsilon_2=x_2-x_1, \qquad \upsilon_3=x_3+x_1. \qquad (8)$$

Система (3) в переменных (8) принимает вид

$$\dot{\upsilon}_1=2\upsilon_1, \qquad \dot{\upsilon}_2=-3\upsilon_2, \qquad \dot{\upsilon}_3=-4\upsilon_3+12\upsilon_1. \qquad (9)$$

Сделаем еще одну замену

$$w_1 = \upsilon_1, \qquad w_2 = \upsilon_2 \upsilon_1^2, \qquad w_3 = \upsilon_3 \upsilon_1^2. \tag{10}$$

В переменных (10) система (9) имеет вид

$$\dot{w}_1 = 2w_1, \qquad \dot{w}_2 = w_2, \qquad \dot{w}_3 = 12w_1^3. \tag{11}$$

Все переменные (10) системы (11), описывающей систему (9) и исходную систему (3), являются неустойчивыми, как и переменные исходной системы (3). Таким образом, решение Задачи 3 получено. При этом для неустойчивых переменных имеются два решения: решение в переменных x, а также решение в переменных (10).

Заключение. Приведем основные выводы, следующие из выполненного исследования.

1. Разработан метод дополнительных функций, позволяющий с использованием функций Ляпунова получить результаты, охватывающие свойства неустойчивости, устойчивости и асимптотической устойчивости.

2. Поставлена задача выделения устойчивых, асимптотически устойчивых и неустойчивых переменных. На основе полученных решений разработан координатный подход в теории устойчивости.

3. При исследовании задач устойчивости и асимптотической устойчивости по части переменных для неустойчивых систем необходимо изучить не одну траекторию, а все семейство неустойчивых траекторий (что отличается от процедуры исследования и формулировки свойства неустойчивости).

1. *Ляпунов А.М.* Собр. соч. в 5 т. – Т. 2. Общая задача об устойчивости движения – М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1956. – 476 с.
2. *Ковалев А.М.* Решение задач устойчивости для нелинейных систем с известной функцией со знакопостоянной производной // Механика твердого тела. 2009. Вып. 39. С. 3–28.
3. *Ковалев А.М.* Метод дополнительных функций в задачах частичной устойчивости // Докл. НАН Украины. 2009. № 7. С. 17–23.
4. *Ковалев А.М.* Координатная устойчивость динамических систем // Механика твердого тела. 2015. Вып. 45. С. 3–10.

УДК 531.36, 531.31

УСЛОВИЯ ГЛОБАЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ МНОГОТОКОВОЙ МОДЕЛИ СИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОМОТОРА

Коносевич Б.И., Коносевич Ю.Б.

ГУ «Институт прикладной математики и механики», г. Донецк

konos.donetsk@yandex.ru

В зависимости от конструкции, динамика синхронного электромотора описывается различными системами обыкновенных дифференциальных

уравнений, которые определяют изменение электрических токов в обмотках ротора и изменение переменной γ – угла рассогласования между вращающимся магнитным полем статора и магнитным полем ротора. Такие системы уравнений периодичны по переменной γ, и поэтому они имеют счетный набор стационарных решений, соответствующих рабочему режиму равномерного вращения ротора с угловой скоростью, равной угловой скорости вращения магнитного поля в статоре.

Практически важной задачей является установление достаточных условий, при которых любое решение системы дифференциальных уравнений движения синхронного электромотора стремится с течением времени к одному из стационарных решений. Если при этом на периоде изменения угла γ существует только одно локально асимптотически устойчивое стационарное решение, то систему называют *глобально устойчивой*.

В [1, 2] для широкого класса синхронных машин предложен подход, названный методом сведения и позволяющий вывести свойство глобальной устойчивости многомерной системы из свойства глобальной устойчивости одного дифференциального уравнения второго порядка специального вида. Для этого уравнения условие глобальной устойчивости найдено Ф. Трикоми [3]. Получаемые таким путем критерии глобальной устойчивости электрических машин включают неопределенные математические параметры и требуют проверки выполнения частотных неравенств.

В [4] предложена конкретизированная математическая модель синхронного электромотора, включающая ток в обмотке возбуждения и любое число токов в демпферной обмотке, и на ее основе рассмотрен ряд задач динамики такого электромотора. В частности, отмечена глобальная устойчивость данной модели при отсутствии нагрузки.

Эта модель принята и в настоящей работе.

Вместо обычно используемого предположения о постоянстве момента нагрузки предполагается, что этот момент является диссипативным и представляется в виде линейной функции угловой скорости вращения ротора относительно статора. С помощью метода сведения и принципа инвариантности Ла-Салля получено достаточное условие глобальной устойчивости получаемой таким образом системы дифференциальных уравнений, которое не требует проверки свойства дихотомичности и частотных неравенств. Оно сведено к условию Трикоми для дифференциального уравнения второго порядка, которое не содержит неопределенных параметров. Приведены результаты компьютерного моделирования.

1. *Леонов Г.А.* Второй метод Ляпунова в теории фазовой синхронизации // Прикл. математика и механика. – 1976. – **40**, вып. 2. – С. 238-244.
2. *Гелиг А.Х., Леонов Г.А., Якубович В.А.* Устойчивость нелинейных систем с неединственным состоянием равновесия. – М.: Наука, 1978. – 400 с.
3. *Tricomi F.* Integrazione di unequazione differenziale presentasi in electrotechnica // Annal. della Roma Schuola Normale Superiore de Pisa. – 1933. – **2**, no. 2. – P. 1-20.

4. *Leonov G.A., Zaretskiy A.M.* Global stability and oscillations of dynamical systems describing synchronous electric machines // Vestnik St. Petersburg University. Mathematics. – 2012. – **45**, no. 4. – P. 157–163.

УДК 531.36, 531.31

СВОЙСТВО АСИМПТОТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ В ЦЕЛОМ ДВУХТОКОВОЙ МОДЕЛИ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОМОТОРА

Коносевич Б.И., Коносевич Ю.Б., Мозалевская Г.В.
ГУ «Институт прикладной математики и механики», г.Донецк
konos.donetsk@yandex.ru

В статье [1] для описания динамики асинхронного электромотора предложена система дифференциальных уравнений, содержащая уравнения для двух токов в обмотках ротора. В этой статье на основе такой двухтоковой модели показано, что при отсутствии момента нагрузки имеет место глобальная асимптотическая устойчивость стационарного режима равномерного вращения ротора электромотора.

В настоящей работе предполагается, что момент нагрузки отличен от нуля и является нелинейным диссипативным. Глобальная асимптотическая устойчивость режима равномерного вращения ротора асинхронного электромотора установлена и для этого общего случая, а именно, получены неравенства для параметров системы, при выполнении которых любое движение электромотора с течением времени стремится к равномерному вращению.

1. *Леонов Г.А.* Фазовая синхронизация. Теория и приложения // Автоматика и телемеханика. – 2006.– № 10. – С. 47–85.

УДК 531.35

НОВОЕ АСИМПТОТИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ УГЛОВЫХ КОЛЕБАНИЙ ОСИ СИММЕТРИИ АРТИЛЛЕРИЙСКОГО СНАРЯДА

Коносевич Б.И., Коносевич Ю.Б., Самсонов В.А.
ГК «Институт прикладной математики и механики», Донецк;
Институт механики МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва
konos.donetsk@yandex.ru

В теории полета снаряда широко используется асимптотический метод, берущий свое начало в работах Лиувилля и развитый Вентцелем, Крамерсом и Бриллюэном применительно к задачам теоретической физики. В честь

последних трех авторов его часто называют методом ВКБ. В классической баллистике с помощью метода ВКБ найдено в явном виде приближенное решение дифференциальных уравнений, описывающих угловое движение оси симметрии снаряда.

Наряду с этим *основным* приближенным решением известно также *модифицированное* приближенное ВКБ-решение уравнений углового движения оси симметрии снаряда. Оценки погрешности обоих этих приближенных решений получены В.С. Пугачевым [1] в виде сложных неравенств, содержащих операции дифференцирования, интегрирования и взятия максимума. Такого рода оценки не позволяют судить о сравнительной точности полученных приближений.

В статье [2] найден порядок погрешности *основного* приближенного решения по отношению к малому параметру, введенному в уравнения движения снаряда. Установлено, что погрешность основного приближенного решения имеет один и тот же порядок в случаях незатухающих и затухающих низкочастотных колебаний оси симметрии снаряда.

В статье [3] определен порядок погрешности *модифицированного* приближенного решения по отношению к малому параметру. Оказалось, что в случае незатухающих низкочастотных колебаний погрешности основного и модифицированного приближенных решений имеют одинаковые порядки, а при затухающих колебаниях модифицированное приближенное решение точнее основного на один порядок по малому параметру.

В процессе исследования этого классического модифицированного приближенного решения возникает новый тип модифицированного приближенного решения уравнений углового движения оси симметрии снаряда. В настоящей работе определена погрешность этого модифицированного решения нового типа и установлено, что порядки погрешности в случаях незатухающих и затухающих низкочастотных колебаний для него такие же, как и для классического модифицированного приближенного решения.

1. *Пугачев В.С.* Общая задача о движении вращающегося артиллерийского снаряда в воздухе // Тр. ВВИА им. Н.Е. Жуковского. – 1940. – вып. 70. – 90 с.
2. *Коносевич Б.И.* Оценка погрешности асимптотического представления угловых колебаний оси симметрии вращающегося твердого тела // Прикладная механика. – 2014. – **50**, № 4. – С. 102-116.
3. *Коносевич Б.И.* О модифицированном асимптотическом представлении угловых колебаний оси симметрии снаряда // Механика твердого тела. – Донецк, 2009. – Вып. 39. – С. 121-136.

УДК 531.38

ОДНО ИНВАРИАНТНОЕ СООТНОШЕНИЕ В ЗАДАЧЕ О ДВИЖЕНИИ ГИРОСТАТА С ДВУМЯ ВРАЩАЮЩИМИСЯ РОТОРАМИ

Мазнев А.В., Белоконь Т.В.
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк
maznev_av@rambler.ru

Рассмотрена задача о движении тяжелого симметричного гиростата с двумя вращающимися роторами. При заданном программном движении, которое описывается одним инвариантным соотношением, построено новое частное решение уравнений движения гиростата с переменным гиростатическим моментом.

Задача о движении гиростата с переменным гиростатическим моментом впервые поставлена в работах Ж. Лиувилля [1], В. Вольтера [2], Н.Е. Жуковского [3]. Как известно для управления движением различных механических конструкций, управления ориентацией и для стабилизации спутников [4] используют вращающиеся с постоянной и непостоянной скоростью роторы. В обзорной монографии [5] приведены результаты, полученные в задаче о движении гиростата с постоянным гиростатическим моментом и в задаче о движении гиростата с переменным гиростатическим моментом, характеризующемся одним вращающимся ротором. В последнее время появился ряд работ [6–8], в которых рассматривается задача о движение гиростата с двумя вращающимися роторами и с заданными свойствами движений (равномерные вращения, маятниковые, прецессионные, прецессионно-изоконические и другие движения).

Данное исследование посвящено изучению уравнений движения симметричного гиростата, несущего два ротора без предположения о свойствах движения при некоторых ограничениях на компоненты гиростатического момента.

Запишем уравнения движения гиростата, состоящего из тела-носителя и двух вращающихся роторов под действием силы тяжести [9]

$$(\boldsymbol{x}+\lambda_1(t)\boldsymbol{\alpha}+\lambda_2(t)\boldsymbol{\beta})^{\bullet}=(\boldsymbol{x}+\lambda_1(t)\boldsymbol{\alpha}+\lambda_2(t)\boldsymbol{\beta})\times\boldsymbol{\omega}+\boldsymbol{s}\times\boldsymbol{\nu},\quad \dot{\boldsymbol{\nu}}=\boldsymbol{\nu}\times\boldsymbol{\omega}. \qquad (1)$$

Здесь $\boldsymbol{x}$ – момент количества движения гиростата, $\boldsymbol{\omega}=a\boldsymbol{x}$ – вектор угловой скорости, a – гирационный тензор, $\boldsymbol{\nu}$ – единичный вектор, указывающий направление силы тяжести, $\boldsymbol{\lambda}=\lambda_1(t)\boldsymbol{\alpha}+\lambda_2(t)\boldsymbol{\beta}$ – гиростатический момент, где $\boldsymbol{\alpha}$ и $\boldsymbol{\beta}$ два единичных ортогональных вектора, задающих оси вращения роторов, $\boldsymbol{s}=\boldsymbol{OC}\cdot mg$, m - масса тела, g - ускорение свободного падения, C- центр тяжести гиростата.

Уравнения (1) допускают два первых интеграла

$$\boldsymbol{\nu}\cdot\boldsymbol{\nu}=1,\quad (\boldsymbol{x}+\lambda_1(t)\boldsymbol{\alpha}+\lambda_2(t)\boldsymbol{\beta})\cdot\boldsymbol{\nu}=k. \qquad (2)$$

В предположении, что $a=\mathrm{diag}(a_1,a_2,a_2)$, $\boldsymbol{s}=(s_1,0,0)$, $s_1\neq 0$ рассмотрен случай, когда, ось вращения первого ротора сонаправлена с осью симметрии

гиростата, а ось вращения второго ротора ортогональна этой оси т.е. $\alpha=(1,0,0)$ и $\beta=(0,1,0)$. Запишем уравнения (1) и интегралы (2) в скалярной форме

$$\left(x_1+\lambda_1(t)\right)^{\bullet}=a_2\lambda_2(t)x_3,\ \left(x_2+\lambda_2(t)\right)^{\bullet}=[(a_1-a_2)x_1-\lambda_1(t)a_2]x_3-s_1\nu_3,$$

$$x_3=[(a_2-a_1)x_1+a_2\lambda_1(t)]x_2-a_1\lambda_2(t)x_1+s_1\nu_2, \tag{3}$$

$$\dot{\nu}_1=a_2(x_3\nu_2-x_2\nu_3),\ \dot{\nu}_2=a_1x_1\nu_3-a_2x_3\nu_1,\ \dot{\nu}_3=a_2x_2\nu_1-a_1x_1\nu_2.$$

$$\nu_1^2+\nu_2^2+\nu_3^2=1,\ (x_1+\lambda_1(t))\nu_1+(x_2+\lambda_2(t))\nu_2+x_3\nu_3=k \tag{4}$$

Очевидно, что система (3) содержит восемь переменных и имеет только два первых интеграла (4). Поэтому интегрирование системы (3) в квадратурах затруднительно. Покажем, что система (3) интегрируема при следующих предположениях

$$x_3=0,\quad \lambda_2(t)=\lambda_2^{(0)}=\text{const}. \tag{5}$$

На множестве (5) первое уравнение системы (3) дает дополнительный первый интеграл $x_1+\lambda_1(t)=c_1$, где c_1- произвольная постоянная. Тогда система (3), с учетом соотношений (5) и найденного первого интеграла примет вид

$$\begin{gathered}\dot{x}_2=-s_1\nu_3,\ s_1\nu_2=a_1x_1(x_2+\lambda_2^0)-a_2x_2\,c_1,\\ \dot{\nu}_1=-a_2x_2\nu_3,\ \dot{\nu}_2=a_1x_1\nu_3,\ \dot{\nu}_3=a_2x_2\nu_1-a_1x_1\nu_2.\end{gathered} \tag{6}$$

Выбирая ν_1 в качестве вспомогательной переменной из системы (6) и первых интегралов (4) получены зависимости $x_1=x_1(\nu_1),\ x_2=x_2(\nu_1),\ \nu_2=\nu_2(\nu_1)$ и $\nu_3=\nu_3(\nu_1)$ в виде

$$x_2=\sqrt{\frac{2s_1\nu_1-c_2}{a_2}},\ x_1=\frac{a_2\left[(k-c_1c_2)+c_2\sqrt{a_2}\lambda_2^{(0)}\sqrt{2s_1\nu_1-c_2}\right]}{a_1(\sqrt{2s_1\nu_1-c_2}+\sqrt{a_2}\lambda_2^{(0)})^2}$$

$$\nu_2=\frac{\sqrt{a_2}(k-c_1\nu_1)}{\sqrt{2s_1\nu_1-c_2}+\sqrt{a_2}\lambda_2^{(0)}},\ \nu_3=\sqrt{1-\nu_1^2-\frac{a_2(k-c_1\nu_1)^2}{(\sqrt{2s_1\nu_1-c_2}+\sqrt{a_2}\lambda_2^{(0)})^2}}$$

Если обозначить через $F(\nu_1)=x_2(\nu_1)\nu_3(\nu_1)$, то из третьего уравнения системы (6) $\dfrac{d\nu_1}{dt}=-a_2F(\nu_1)$ легко находится зависимость $\nu_1=\nu_1(t)$ путем обращения интеграла $\displaystyle\int_{\nu_1^{(0)}}^{\nu}\frac{d\nu_1}{F(\nu_1)}=-a_2(t-t_0)$. Таким образом, построено частное решение уравнений движения гиростата (1),(2) на инвариантном соотношении $x_3=0$ и заданном ограничении на одну из компонент гиростатического момента. Вектор гиростатического момента представим в виде $\lambda=(c_1-x_1(\nu_1))\alpha+\lambda_2^{(0)}\beta$.

1. Liouville R. Developpements sur un chapitre de la Mecanique de Poisson // J. Math. Pures et Appl. – 1858. – **3**. – P. 1-25.
2. Volterra V. Sur la theorie des variations des latitudes // Acta. Math. – 1899. – 22. – P. 201-358.
3. Жуковский Н.Е. О движении твердого тела, имеющего полости, наполненные однородной капельной жидкостью // Собр. соч. – Т. 1. – М., 1949. – С. 31-152.
4. Румянцев В.В. Об управлении ориентацией и о стабилизации спутника роторами // Вестн. Моск. ун-та. Сер. Математика, механика. – 1970. – № 2. – С. 83-96.
5. Горр Г.В., Ковалев А.М. Движение гиростата. – Киев: Наук. думка, 2013. – 408 с.
6. Котов Г.А. Регулярные прецессии тяжелого гиростата, несущего два вращающихся гироскопа // // Механика твердого тела. – 2014. – Вып. 44. – С. 59-66.
7. Горр Г.В., Щетинина Е.К. Полурегулярные прецессии тяжелого гиростата, несущего два ротора // Механика твердого тела. – 2014. – Вып. 44. – С. 16-26.
8. Горр Г.В., Котов Г.А. О маятниковых движениях гиростата несущего два ротора // Механика твердого тела. – 2055. – Вып. 45. – С. 40-50.
9. Харламов П.В. Об уравнениях движения системы твердых тел // Механика твердого тела. – 1972. – Вып. 4. – С. 52–73.

УДК 629

РАСЧЁТ ОПТИМАЛЬНЫХ ТРАЕКТОРИЙ ОРБИТАЛЬНОЙ ГРУППИРОВКИ ГЛОНАСС С ПОМОЩЬЮ ПАРАМЕТРОВ ЭЙЛЕРА

Панкратов И.А.[1,2], Сапунков Я.Г.[2], Челноков Ю.Н.[1,2]
[1]Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского
[2]Институт проблем точной механики и управления РАН
PankratovIA@info.sgu.ru

Пусть необходимо определить ограниченное по модулю управление $\boldsymbol{u}$:

$$-u_{max} \le u \le u_{max},$$

ортогональное плоскости орбиты космического аппарата (КА), движение центра масс которого описывается уравнениями [1, 2]

$$2\frac{d\boldsymbol{\lambda}}{dt} = \boldsymbol{\lambda} \circ \boldsymbol{\omega}_\eta, \quad \boldsymbol{\lambda} = \lambda_0 + \lambda_1 \boldsymbol{i}_1 + \lambda_2 \boldsymbol{i}_2 + \lambda_3 \boldsymbol{i}_3, \quad \boldsymbol{\omega}_\eta = u\frac{r}{c}\boldsymbol{i}_1 + \frac{c}{r^2}\boldsymbol{i}_3,$$

$$\frac{d\varphi}{dt} = \frac{c}{r^2}, \qquad r = \frac{p}{1 + e\cos\varphi}, \qquad c = \text{const},$$

переводящее орбиту КА из заданного начального состояния

$$t = t_0 = 0 \quad \varphi(0) = \varphi_0, \quad \boldsymbol{\lambda}(0) = \boldsymbol{\lambda}^{\text{н}} = \boldsymbol{\Lambda}^{\text{н}} \circ \left(\cos\frac{\varphi_0}{2} + \boldsymbol{i}_3 \sin\frac{\varphi_0}{2}\right)$$

в конечное состояние, принадлежащее многообразию

$$t = t^* = ? \quad \varphi(t^*) = \varphi^*, \quad \text{vect}\left[\tilde{\boldsymbol{\lambda}}(t^*) \circ \boldsymbol{\Lambda}^* \circ \left(\cos\frac{\varphi^*}{2} + \boldsymbol{i}_3 \sin\frac{\varphi^*}{2}\right)\right] = \mathbf{0}$$

и минимизирующее функционал

$$J_1 = \int_0^{t^*} \left(\alpha_1 + \alpha_2 u^2\right) dt \quad \text{или} \quad J_2 = \int_0^{t^*} \left(\alpha_1 + \alpha_2 |u|\right) dt, \quad \alpha_1, \alpha_2 = \text{const} \geq 0.$$

Здесь $\boldsymbol{\lambda}$ – нормированный кватернион ориентации орбитальной системы координат; кватернионная переменная $\boldsymbol{\Lambda}$ характеризует ориентацию орбиты КА; $\circ$ – символ кватернионного умножения; $\boldsymbol{i}_1, \boldsymbol{i}_2, \boldsymbol{i}_3$ – векторные мнимые единицы Гамильтона; $r = |\boldsymbol{r}|$ – модуль радиуса-вектора центра масс КА; $c = |\boldsymbol{r} \times \boldsymbol{v}|$ – постоянная площадей (модуль вектора момента скорости $\boldsymbol{v}$ центра масс КА); u – проекция вектора реактивного ускорения $\boldsymbol{u}$ на направление вектора момента скорости центра масс КА (алгебраическая величина реактивного ускорения, перпендикулярного мгновенной плоскости орбиты КА); φ – истинная аномалия, характеризующая положение КА на орбите; p и e – параметр и эксцентриситет орбиты; верхняя волна означает сопряженный кватернион.

Отметим, что в рассматриваемом случае орбита КА в процессе управления движением центра масс КА не меняет своей формы и своих размеров, а поворачивается в пространстве под действием управления как неизменяемая (недеформируемая) фигура.

При $\alpha_1 = 1,\ \alpha_2 = 0$ имеем задачу переориентации орбиты, оптимальную в смысле быстродействия; при $\alpha_1 = 0,\ \alpha_2 = 1$ минимум функционала J_2 означает минимум затрат характеристической скорости.

Величины $c,\ p,\ e,\ \varphi_0,\ \boldsymbol{\Lambda}^{\text{н}}$ и $\boldsymbol{\Lambda}^*$ заданы (начальное и конечное значения кватерниона $\boldsymbol{\Lambda}$ могут быть найдены через заданные значения угловых элементов орбиты (долгота восходящего узла Ω_u, наклон орбиты I, угловое расстояние до перицентра ω_π) по формулам, приведённым в [2]). Подлежат определению оптимальный закон управления $u = u(t)$ и величины $t^*,\ \varphi^*$.

Отметим также, что кватернионное уравнение ориентации орбитальной системы координат удобно использовать для поиска аналитических решений (см., например, работу [3]).

С помощью принципа максимума задача оптимальной переориентации орбиты КА была сведена к краевой задаче с подвижным правым концом траектории, описываемой системой нелинейных дифференциальных уравнений десятого порядка и восемью краевыми условиями. Для того чтобы замкнуть задачу, их необходимо дополнить двумя условиями трансверсальности и равенством функции Гамильтона-Понтрягина нулю в конце движения, имеющим место для оптимального управления $u^{\text{опт}}$ и оптимальной траектории.

Для численного решения уравнения рассматриваемой краевой задачи были записаны в безразмерных переменных. Безразмерные модуль радиуса-вектора r^b, время t^b и управление u^b связаны с размерными переменными соотношениями: $r = Rr^b$, $t = Tt^b$, $u = u_{\max} u^b$. Здесь R – характерное

расстояние; $T = R^2 / c$ – характерное время. Отметим, что при этом в уравнениях появляется характерный параметр задачи $N = u_{\max} R^3 / c^2$.

Задачи оптимального управления решались для функционалов J_1 и J_2. Алгоритмы численного решения задач реализуют комбинацию метода Рунге-Кутта 4-го порядка точности, модифицированного метода Ньютона и метода градиентного спуска.

Величины, характеризующие форму, размеры орбиты КА, начальное и конечное положения КА на орбите, начальную и конечную ориентации орбиты КА, полагались равными (a_{or} – большая полуось орбиты):

$$a_{or} = 25500000\,\text{м}, \quad u_{\max} = 0.101907\,\text{м/с}^2, \quad N = 0.35.$$

Начальная ориентация орбиты КА($\varphi_0 = 3.940323$ рад, $\Omega_u(0) = 40.0^\circ$, $I(0) = -70.57^\circ$, $\omega_\pi(0) = 84.98^\circ$):

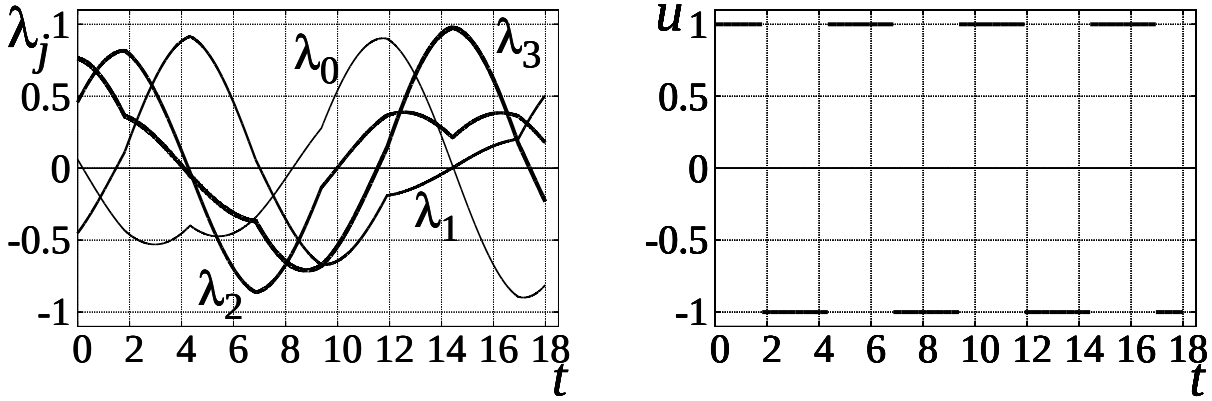
$$\Lambda_0^{\text{н}} = 0.679417, \quad \Lambda_1^{\text{н}} = -0.245862, \quad \Lambda_2^{\text{н}} = 0.539909, \quad \Lambda_3^{\text{н}} = -0.353860;$$

$$\lambda_0^{\text{н}} = 0.061834, \quad \lambda_1^{\text{н}} = -0.451574, \quad \lambda_2^{\text{н}} = 0.457446, \quad \lambda_3^{\text{н}} = 0.763545.$$

Конечная ориентация орбиты КА соответствует ориентации орбиты одного из спутников орбитальной группировки ГЛОНАСС($\Omega_u(t^*) = 215.25^\circ$, $I(t^*) = 64.8^\circ$, $\omega_\pi(t^*) = 0.0^\circ$):

$$\Lambda_0^* = -0.255650, \quad \Lambda_1^* = -0.162241, \quad \Lambda_2^* = 0.510674, \quad \Lambda_3^* = 0.804694.$$

Значения выбранных масштабов длины и времени равны: $R = 26000000\,\text{м}$, $T = 9449.714506\,\text{с}$. (Указанные величины соответствуют значениям декартовых координат и проекций вектора скорости центра масс КА, приведённым в [4].) На рис. 1 в приведены законы изменения фазовых переменных и безразмерного управления для случая быстродействия. (Орбиты спутников орбитальной группировки ГЛОНАСС близки к круговым.)



а) Фазовые переменные б) Оптимальное управление

Рис. 1. Круговая орбита, случай быстродействия

Отметим, что при одних и тех же граничных условиях в постановке краевой задачи оптимального управления (с одним и тем же функционалом) получены различные решения для законов движения, управления и

поведения сопряженных переменных. Из них было выбрано то, при котором функционал минимален. В случае быстродействия и при минимизации функционала J_2 оптимальное управление носит релейный характер, что доставляет большие неудобства при численном решении задачи.

В ходе численного решения задачи были выявлены особенности и закономерности построенных оптимальных траекторий и управлений: при увеличении эксцентриситета орбиты от 0 до 0.5 уменьшается количество активных участков движения, их длительности и общее время переориентации.

1. Панкратов И.А., Сапунков Я.Г., Челноков Ю.Н. Решение задачи оптимальной переориентации орбиты космического аппарата с использованием кватернионных уравнений ориентации орбитальной системы координат // Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. Сер. Математика. Механика. Информатика. – 2013. – Т. 13, вып. 1, ч. 1. – С. 84-92.
2. Челноков Ю.Н. Кватернионные и бикватернионные модели и методы механики твердого тела и их приложения. Геометрия и кинематика движения. – М.: Физматлит, 2006. – 512 с.
3. Панкратов И.А., Челноков Ю.Н. Аналитическое решение дифференциальных уравнений ориентации круговой орбиты космического аппарата // Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. Сер. Математика. Механика. Информатика. – 2011. – Т. 11, вып. 1. – С. 84-89.
4. Бордовицына Т.В. Современные численные методы в задачах небесной механики. – М.: Наука, 1984. – 136 с.

УДК 531.38

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ АСИМПТОТИЧЕСКИХ ДВИЖЕНИЙ ТВЕРДОГО ТЕЛА С ПОМОЩЬЮ ПЕРВОГО МЕТОДА ЛЯПУНОВА

Пилпани Ю.Ю.
ГУ «Институт прикладной математики и механики», г. Донецк
Juliet_don@rambler.ru

В докладе рассмотрена методика изучения асимптотических движений симметричного гиростата под действием потенциальных и гироскопических сил в случае, когда предельным движением служит прецессия тела относительно вертикали. Применен первый метод А.М. Ляпунова [1] в теории асимптотических решений обыкновенных дифференциальных уравнений. Основными свойствами в построении рядов Ляпунова являются правильность системы первого приближения уравнений в возмущениях и наличие у нее некоторого числа положительных характеристичных чисел. Наличие у исходной системы первых интегралов, согласно результатам А. Пуанкаре, полученным в исследовании асимптотически-периодических движений, дает возможность установить только одно положительное характеристичное число в задаче [2]. Поэтому вид рядов Ляпунова для уравнений Эйлера–Пуассона и уравнений Кирхгофа–Пуассона таков

$$x_i(t)=\sum_{m=1}^{\infty}L_i^{(m)}(t)\alpha^m\exp(-\lambda t)m,\quad \left(i=\overline{1,6}\right), \tag{1}$$

где $m\in N,\alpha-$ произвольная постоянная, $\lambda>0$, характеристичные числа функций $L_i^{(m)}(t)$ не менее нуля. Ряды (1) сходятся абсолютно при $t\to\infty, x_i(t)\to 0.$

В статье [2] показано, что для уравнений Кирхгофа–Пуассона при исследовании асимптотически-периодических движений с помощью первых интегралов уравнения первого приближения можно редуцировать к системе третьего порядка. Затем исследование знаков характеристичных чисел сводится к анализу свойств решений сопряженной системы третьего порядка, которая, в силу результатов Пуанкаре, допускает линейный первый интеграл. Это свойство позволяет в общем случае получить уравнение класса Хилла. С помощью достаточных условий (например, условий А.М. Ляпунова) можно установить критерий существования положительного характеристичного числа уравнений в вариациях.

В докладе показано, что для исследования асимптотически-периодических движений сферического гиростата, описываемых уравнениями Кирхгофа–Пуассона, в случае предельных прецессионных движений переход к сопряженной системе не требуется. Это обстоятельство в значительной степени позволяет упростить рассмотрение прецессионно-изоконических движений. Были изучены следующие классы предельных асимптотически-прецессионных движений: регулярные прецессии, полурегулярные прецессии первого и второго видов, прецессии общего вида. Уравнение Хилла изучено в двух случаях. В первом случае это уравнение таково

$$\ddot{x}+p(t)x=0\qquad \left(p(t)\le 0,\quad p(t)\ne 0\right). \tag{2}$$

На основании условия $p(t)\ne 0$ в докладе установлены новые классы асимптотически–прецессионных движений сферического гиростата под действием потенциальных и гироскопических сил. Кроме уравнения (2) в докладе исследовано уравнение

$$\ddot{x}+\lambda^2\left(1+\mu f(t)\right)x=0, \tag{3}$$

где μ – малый параметр, $f(t)$ – периодическая функция времени t, λ^2- параметр. Уравнение (3) для целочисленных значений параметра λ при определенных условиях на параметр μ допускает решение с положительным характеристичным числом. Данная теория параметрического резонанса в докладе применена к изучению многих классов прецессионно-изоконических движений.

1. *Ляпунов А. М.* Общая задача об устойчивости движения // Собр. соч. : в 5 т. / А.М. Ляпунов. – М.; Л., 1956. – Т. 2. – С. 7–263.
2. *Вархалев Ю. П.* Первый метод Ляпунова в исследовании асимптотических движений твердого тела / Ю. П. Вархалев, Г. В. Горр // Механика твердого тела. – 1992. – Вып. 24. – С. 25–41.

УДК 629.78

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ПРИБЛИЖЕННОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОГО РАЗВОРОТА ОСЕСИММЕТРИЧНОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА ПРИ ПРОИЗВОЛЬНЫХ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЯХ

Сапунков Я.Г., Молоденков А.В.
Институт проблем точной механики и управления РАН
iptmuran@san.ru

В кватернионной постановке рассматривается традиционная задача оптимального в смысле минимума энергетических затрат разворота осесимметричного твердого тела при произвольных граничных условиях по угловому положению и угловой скорости твердого тела без ограничения на функцию управления. Время переориентации твердого тела произвольно и зафиксировано. С помощью замен переменных исходная задача оптимального разворота осесимметричного твердого тела упрощается (в смысле динамических уравнений Эйлера) до задачи оптимального разворота твердого тела со сферическим распределением масс, содержащей одно дополнительное скалярное дифференциальное уравнение. В классе обобщенных конических движений произведена модификация полученной задачи оптимального разворота, которая позволила получить аналитические решения для уравнений движения, содержащие произвольные постоянные и две произвольные скалярные функции (параметры обобщенного конического движения). Относительно этих функций и их производных формулируется и решается оптимизационная задача, в которой в качестве управлений выступают вторые производные от этих двух функций. Полученное аналитическое решение модифицированной задачи может рассматриваться как приближенное решение традиционной задачи оптимального разворота твердого тела при произвольных граничных условиях. Следует отметить, что для случаев аналитической разрешимости традиционной задачи оптимального разворота при сферической симметрии твердого тела, когда наложены ограничения на краевые условия задачи, – плоский эйлеров разворот, коническое движение [1,2] – решения традиционной и модифицированной задач полностью совпадают. На примере осесимметричного космического аппарата (КА) “Спейс Шаттл”, рассматриваемого как твердое тело, приводятся результаты численных решений задачи оптимального разворота в традиционной и модифицированной постановке для нескольких вариантов граничных условий по угловому положению и угловой скорости КА. Расхождение между величинами функционала качества в рассматриваемых решениях для традиционной и модифицированной задачи не превышает 0.3 %. Надо заметить, что значение функционала качества процесса управления является определяющей характеристикой задачи.

Полученное аналитическое приближенное решение задачи оптимального разворота осесимметричного твердого тела в классе

обобщенных конических движений может найти свое применение при построении систем управления КА, как и известное аналитическое решение задачи оптимальной переориентации осесимметричного твердого тела в классе конических движений [3].

1. Молоденков А.В., Сапунков Я.Г.. Аналитическое решение задачи оптимального разворота сферически-симметричного космического аппарата в классе конических движений // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2013. – № 2. С. 163-172.
2. Molodenkov A.V. and Sapunkov Ya.G. Analytical Solution of the Optimal Slew Problem of a Spherically Symmetric Spacecraft in the Class of Conical Motion // Journal of Computer and Systems Sciences International. – 2013. – Vol. 52. – No. 3. – P. 491-501.
3. Бранец В.Н., Черток М.Б., Казначеев Ю.В. Оптимальный разворот твердого тела с одной осью симметрии // Космические исследования. – 1984. – Т. 22, вып. 3. – С. 352-360.

УДК 531.38

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ПОЛОЖЕНИЯ РАВНОВЕСИЯ СИСТЕМЫ ТЕЛ С САМОПЕРЕСЕЧЕНИЯМИ

Щепин Н.Н.

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк

shchepin_nick@mail.ru

В последнее время появилось значительное количество публикаций, посвященных исследованию упругих стержней с замкнутой осью. Это объясняется успешным приложением теории стержней к моделированию биологических объектов. Одним из направлений исследований в данной области является поиск равновесных состояний упругого стержня. Представляет интерес изучение поведения систем в окрестности полученных решений, а именно, установление и изучение условий устойчивости найденных положений равновесия. В настоящей работе получены достаточные условия устойчивости формы оси для системы с двумя самопересечениями в плоском случае.

Постановка задачи. Рассмотрим замкнутую систему n гироскопов Лагранжа S_j, связанных упругими цилиндрическими шарнирами. Полагаем, что шарниры расположены в точках O_{j+1} пересечения осей симметрии тел S_j и S_{j+1}, оси симметрии $O_jO_{j+1} = h_j$ тел S_j лежат в одной плоскости OXZ, а оси шарниров перпендикулярны ей. Упругий момент в шарнире равен [1]

$$L_j = c^2 \sin(\psi_j - \psi_{j-1}), \qquad j = \overline{1,n}\,, \tag{1}$$

где c^2 – изгибная жесткость, ψ_j – угол поворота тела S_j вокруг оси $j-1$-го шарнира, угол ψ_0 в случае замкнутых систем ($O_1 = O_{n+1}$), как и в [2], считаем равным ψ_n, т. е. $\psi_0 = \psi_n$.

Как и в [2], полагаем, что на систему не действуют внешние силы и моменты, тогда из (1) следует, что потенциальная энергия системы равна

$$\Pi = -c^2 \sum_{j=1}^{n} \cos(\psi_j - \psi_{j-1}) \tag{2}$$

Для замкнутых систем выполняется соотношение

$$f_1 = \sum_{j=1}^{n} h_j cos\psi_j = 0\,, \qquad f_2 = \sum_{j=1}^{n} h_j sin\psi_j = 0. \tag{3}$$

Для систем с дополнительными связями, наложенными на переменные, положения равновесия находятся из условия [3]

$$\delta L = \delta\Pi + \lambda_1 \delta f_1 + \lambda_2 \delta f_2 = 0 \tag{4}$$

где λ_1, λ_2 – неопределенные множители Лагранжа.

Подставляя (2), (3) в (4), получаем систему уравнений

$$c^2\left(sin(\psi_{j+1} - \psi_j) - sin(\psi_j - \psi_{j-1})\right) = h_j(\lambda_2 cos\psi_j - \lambda_1 sin\psi_j), \qquad j = \overline{1,n}\,,$$

$$\psi_{n+1} = \psi_1, \qquad \psi_0 = \psi_n\,, \tag{5}$$

которая вместе с (3) позволяет определить как неизвестные углы ψ_j, так и множители Лагранжа λ_1, λ_2.

Для конечномерной системы, описывающей конфигурацию оси с двумя самопересечениями, явный вид решения был получен в [4]. Далее будем называть эту систему "двойной восьмеркой".

Стационарное решение "двойная восьмерка". В простейшем случае конфигурация оси с двумя самопересечениями может быть представлена системой пяти тел (рис. 1). Полагаем, что фигура симметрична относительно оси OZ. В данном случае решение сводится к исследованию существования корней уравнения $F_2(p,x)a_2^2 + F_1(p,x)a_2 + F_0(p,x) = 0$ на интервале $0 < a_2 < xp + 1$, при ограничениях $p > 0,\ 0 < x < 1$ [4].

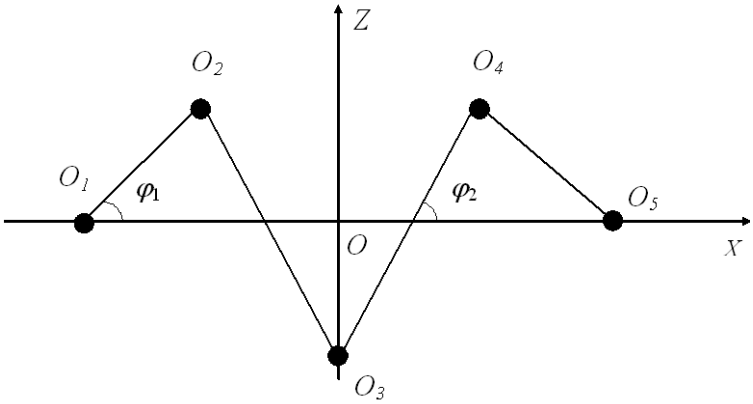


Рис. 1. "Двойная восьмерка"

Численные исследования позволили построить область существования решений уравнения (20). Она представлена на рис. 2 для $p < 3$.

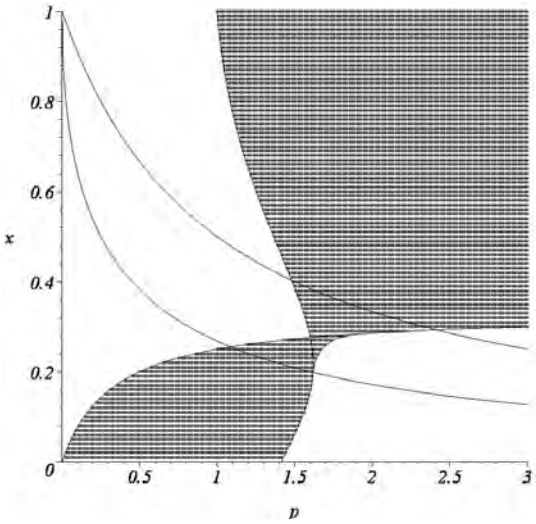


Рис. 2. Область существования решения

Исследование устойчивости положения равновесия "двойной восьмерки". В случае нелинейных связей можно воспользоваться методом неопределенных множителей Лагранжа и находить минимум функции $L = \Pi + \lambda_1 f_1 + \lambda_2 f_2$, в которой множители λ_1, λ_2 найдены из условий стационарности функции L [3].

В случае "двойной восьмерки" имеем $\lambda_2 = 0$ и условия устойчивости положения равновесия будут выполнены в области [5]

$$\delta^2 L = \delta^2\Pi + \lambda_1 \delta^2 f_1 > 0, \delta f_1 = 0\,, \delta f_2 = 0 \tag{6}$$

Полагаем в возмущенном движении $\psi_j = \psi_j^0 + \xi_j$ и вводим новые переменные $X_j = \xi_j - \xi_{j-1}$. Тогда, учитывая (3) и полагая $\xi_0 = \xi_n$, имеем

$$\xi_j = \sum_{i=1}^{j} X_i + \xi_n\,, \quad \sum_{i=1}^{n} X_i = 0 \tag{7}$$

Из (3), (7) получаем

$$\sum_{i=1}^{n-1} X_i \sum_{j=i}^{n-1} h_j sin\psi_j^0 + \ldots = 0,\ \sum_{i=1}^{n-1} X_i \sum_{j=i}^{n-1} h_j cos\psi_j^0 + \ldots = 0. \tag{8}$$

Подстановка (7), (8) в (6) дает возможность представить функцию $\delta^2 L$ в виде

$$2\delta^2 L = \sum_{k=1}^{n-1}\left[cos(\psi_k^0 - \psi_{k-1}^0)X_k^2 - h_k\mu\cos\psi_k^0\left(\sum_{j=1}^{k} X_j\right)^2\right] + cos(\psi_n^0 - \\ -\psi_{n-1}^0)\left(\sum_{k=1}^{n-1} X_k\right)^2. \tag{9}$$

Для нахождения области выполнения достаточных условий устойчивости положения равновесия системы необходимо определить область положительной определенности квадратичной формы (9), из которой исключены две переменные согласно (8).

Записывая критерий Сильвестра для этой квадратичной формы, получим следующие условия ее положительной определенности:

$$G_1 > 0,\ \ G_2 G_3 > 0 \tag{10}$$

где $G_1 = g_{14}a_2^4 + g_{13}a_2^3 + g_{12}a_2^2 + g_{11}a_2 + g_{10}$, $G_2 = g_{22}a_2^2 + g_{21}a_2 + g_{20}$, $G_3 = g_{34}a_2^4 + g_{33}a_2^3 + g_{32}a_2^2 + g_{31}a_2 + g_{30}$.

Аналитические и численные исследования позволили построить область выполнения достаточных условий устойчивости положения равновесия "двойной восьмерки" с учетом области существования решения. Она представлена на рис. 3 для $p < 5$.

Таким образом, для системы пяти тел с двумя самопересечениями найдены области существования положения равновесия "двойной восьмерки" (см. рис. 2) и определены значения геометрических параметров, при которых эти положения устойчивы.

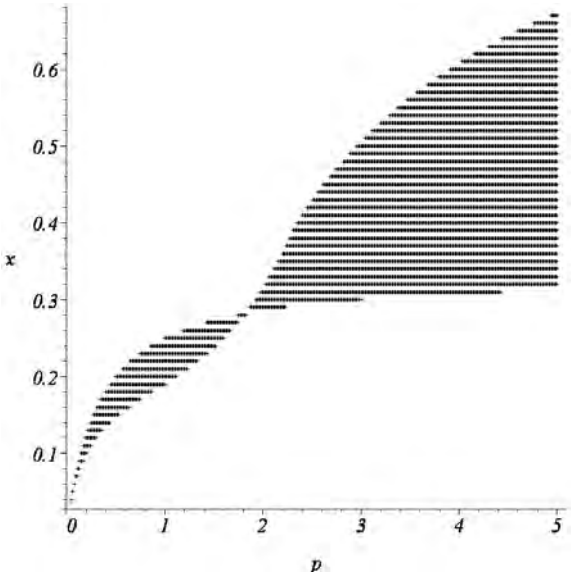


Рис. 3. Область выполнения достаточных условий устойчивости.

1. Болграбская И.А., Щепин Н.Н. О новом решении уравнений равновесия системы тел с упругой связью // Прикл. математика и механика. – 2014. – 78, вып. 25. – С. 671-680.
2. Болграбская И.А., Савченко А.Я., Щепин Н.Н. Замкнутые системы связанных твердых тел // Механика твердого тела. – 2006. – Вып. 36. – С. 94–103.
3. Рубановский В.Н., Самсонов В.А. Устойчивость стационарных движений в примерах и задачах. -- М.: Наука, 1968. – 304 с.
4. Болграбская И.А., Щепин Н.Н. Положение равновесия упругих систем с двумя самопересечениями // Тр. ИПММ НАНУ. – 2008. – 16. – С. 26-33.
5. Химмельблау Д. Прикладное нелинейное программирование. -- М.: Мир, 1976. – 534 с.

УДК 678.046:678.073

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ СПЕКАНИЯ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И МАТЕРИАЛОЕМКОСТЬ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОРОШКОВОГО ПЕНТАПЛАСТА

Байгалиев Б.Е.[1], Темникова С.В.[2], Черенков А.В.[2]
[1]Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева, г. Казань
[2]Луганский государственный университет имени Тараса Шевченко, г. Луганск
temnikovasvetlana@rambler.ru

В настоящее время наблюдается неуклонный рост объемов выпуска и применения полимерных материалов во всех отраслях современной промышленности [1].

Предметом наших исследований является возможность изготовления и применения изделий с малыми удельным весом и энергозатратами из порошковых полимерных материалов. Предлагаемый нами способ изготовления изделий из порошковых полимерных материалов заключается в холодном прессовании заготовок в закрытой форме, последующем их спекании и охлаждении [2]. Причем спекание заготовок проводят при температуре ниже температуры плавления полимера. Предлагаемый способ позволяет получать изделия, даже в тех случаях, когда температура плавления полимера близка к температуре деструкции [3].

В качестве полимерного порошка использовали пентапласт. Пентапласт $[-\ CH_2C(CH_2C1)_2CH_2O\ -]_n$ – бесцветный термопласт, со степенью кристалличности 20–30 %, плотностью 1.4 г/см^3, температурой плавления 180^{0}С, твердостью по Бринеллю 80–110 МПа [4].

Для исследования влияния температуры спекания $t_{сп}$ на механические свойства изделий из пентапласта, полученных по данной технологии, и их материалоемкость, были изготовлены образцы, температура спекания которых составляла $0{,}8\cdot t_{пл}$, $0{,}66\cdot t_{пл.}$, $0{,}4\cdot t_{пл.}$, где $t_{пл}$ – температура плавления полимера.

Материалоемкость изделий оценивалась двумя независимыми способами: определение пористости поверхности образцов и определение их плотности.

Для определения пористости структура образцов была исследована с помощью оптического микроскопа Axiovert 200. Количественный анализ изображений был проведен с использованием программного обеспечения Image Processing System (IPS). Данная программа позволяет определить пористость, количество пор на единицу площади, их средний эквивалентный радиус *Rср*. Пористость ε определена по формуле:

$$\varepsilon = \frac{F_{\sum пор}}{F_{обр}},$$

где $F_{обр}$ – площадь образца, $F_{\sum пор}$ – суммарная площадь пор.

Результаты количественного анализа структуры поверхности образцов представлены в табл. 1. Из таблицы видно, что с увеличением температуры спекания $t_{сп}$ пористость ε снижается, уменьшается количество пор на единицу площади, при этом средний эквивалентный радиус $R_{эк}$ остается постоянным в переделах стандартного отклонения.

Таблица 1

Значения температуры спекания $t_{сп}$, пористости ε, количества пор на единицу площади, среднего эквивалентного радиуса пор $R_{эк}$

Температура спекания, $t_{сп}$, ^{0}C	Пористость, ε, %	Количество пор на единицу площади, шт/мм^2	Средний эквивалентный радиус пор, $R_{эк}$, мкм
72 (0,4 $t_{пл}$)	14,15	143,8·10³	0,41±0,38
119 (0,66 $t_{пл}$)	2,98	33,4·10³	0,44±0,30
144 (0,8 $t_{пл}$)	0,70	7,8·10³	0,47±0,25

Плотность образцов определяли дилатометрическим методом. Предел допускаемой основной погрешности не превышал 0,1 %. В результате измерений было определено, что плотность образцов составила 0,94·ρ_o, где ρ_o – плотность образца, полученного при температуре $t_{сп} = t_{пл}$.

Обе методики оценки материалоемкости показывают, что предлагаемый способ изготовления при $t_{сп}$=0,66·$t_{пл}$ позволяет уменьшить материалоемкость изделий из порошковых полимерных материалов на 3–6 %. Отличия в результатах, полученных разными методиками можно объяснить тем, что измерение плотности производилось в общем объеме, а анализ пористости производился на поверхности образца, где $t_{сп}$ вероятно была выше, чем в глубине образца, в результате чего спекание было более сильным и количество пор меньшим, чем в объеме.

На рис. 1 рассмотрено влияние температуры спекания $t_{сп}$ на микротвердость изделий Hμ.

Микротвердость (Hμ) полученных образцов определена на микротвердомере HX 1000-TM. Снижение температуры спекания приводит к увеличению пористости материала, что снижает материалоемкость, но в тоже время приводит к снижению твердости изделий. Использование $t_{сп}$=0,66·$t_{пл}$ для изготовления изделий из пентапласта позволяет снизить материалоемкость, минимально ухудшая механические свойства изделия.

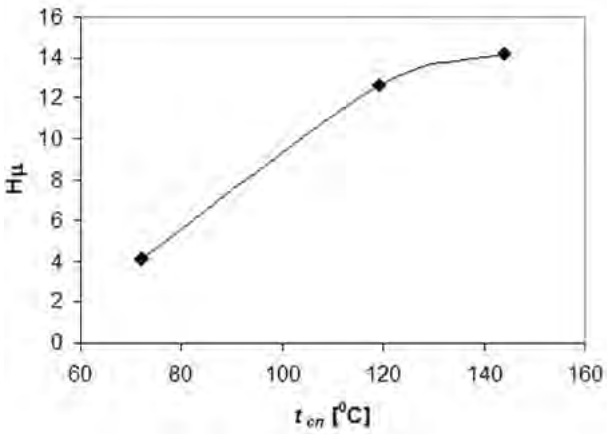


Рис. 1. Влияние температуры спекания $t_{сп}$ на микротвердость изделий Hμ

Таким образом, найдена оптимальная температура спекания $t_{сп}$ для изготовления изделий из пентапласта, составляющая 0,66·$t_{пл}$ полимера, позволяющая снизить материалоемкость изделия на 6 %. Предлагаемый способ

изготовления может быть использован для получения изделий различного функционального назначения из порошковых полимерных материалов с уменьшенным удельным весом по сравнению с удельным весом исходного материала.

1. Галимов Э.Р., Исмаилова А.Г., Галимова Н.Я. Полимерные материалы: структура, свойства и применение: учеб. пособие. – Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2001. – 187 с.
2. Способ изготовления изделий из порошковых полимерных материалов (варианты): пат. 2404055 Рос. Федерация. № 2009105901/05: заявл. 19.02.2009; опубл. 20.11.2010. Бюл. № 32. – 6 с.
3. Байгалиев Б.Е., Черноглазова А.В., Темникова С.В. Композиционные материалы на основе порошковых и гранулированных полимеров // Известия Самарского научного центра РАН. – 2012. – №4(2). – С. 721-724.
4. Мулин Ю.А., Ярцев И.К. Пентапласт. – Л.: Химия, 1975. – 120 с.

УДК (669.788+669.234):539.37

ЯВЛЕНИЕ ВОДОРОДОУПРУГОСТИ: ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

Глухова Ж.Л., Гольцов В.А.

ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк

zhglukhova@yandex.ru

Воздействие водорода на металлы и сплавы носит сложный характер и вызывает различные явления, среди которых одно из важнейших мест занимают водородоупругие эффекты [1]. Исторически сложилось так, что водородоупругие эффекты изучали разрозненно с различных позиций и сторон, преследуя различные цели [1, 2]. К настоящему времени становится понятным, что все водородоупругие эффекты – это разные проявления одного и того же явления – водородоупругости [3]. Водородоупругость – фундаментальное явление, обусловленное взаимосвязанностью и взаимным влиянием диффузионного перераспределения водорода в твердом теле, с одной стороны, и эволюции в нем водородоупругих напряжений, с другой. Следует отметить, что явление водородоупругости имеет важные практические приложения. ВК-напряжения могут способствовать деградации конструкционных материалов и даже вызывать разрушение химических, нефтехимических промышленных установок, трубопроводов, ядерных и термоядерных реакторов. С другой стороны, явление водородоупругости лежит в основе новой области материаловедения, называемой «водородная обработка материалов», целью которой является создание новых методов улучшения структуры и свойств конструкционных и функциональных материалов путем водородного воздействия.

В докладе обобщены современные представления о явлении водородоупругости и представлено теоретическое описание этого явления, как в общем виде, так и применительно к некоторым конкретным задачам.

Явление водородоупругости наглядно макроскопически проявляется в формоизменении палладиевой пластины при ее одностороннем насыщении водородом и при последующей дегазации. Экспериментально было показано, что при односторонних воздействиях водорода в интервале температур 150–100 ^{o}C в области α-твердого раствора водорода в системе Pd–H палладиевая

пластина изменяет свою форму закономерным образом. При этом за полный цикл насыщения-дегазации формоизменение практически полностью обратимо. На первой стадии цикла водородного воздействия, при насыщении пластины водородом, в общем формоизменении можно условно выделить две составляющие: обратимое и остаточное формоизменение, поведение которых полностью определяется температурой и давлением водорода. Установленный экспериментально ход временных зависимостей водородо-упругого формоизменения хорошо согласуется с результатами расчетов, выполненных путем математического моделирования (в основу которого была положена аналогия между явлением водородоупругости и термоупругости [3]) одностороннего насыщения палладиевой пластины водородом и ее водородоупругого формоизменения. Были рассчитаны временные зависимости стрелы прогиба образца, а также зависимости остаточного формоизменения от температуры при одинаковых водородных воздействиях. Рассчитанные зависимости сопоставлены с соответствующими экспериментальными кривыми и показано, что, несмотря на количественные расхождения, водородоупругая модель правильно отражает ход временной зависимости стрелы прогиба пластины, а также основные тенденции в изменении максимального формоизменения и его составляющих в зависимости от температуры и давления водорода. Проведенные расчеты и анализ полученных результатов позволяют сделать вывод, что одной из причин наблюдаемых экспериментально остаточных формоизменений в насыщаемой водородом пластине является наличие некоторого “остаточного” градиента концентрации водорода, обусловленного влиянием водородоупругих напряжений.

Несмотря на достигнутые успехи, описанный выше подход к описанию водородоупругости содержит вполне определенные ограничения для дальнейшего физического понимания этого явления. Дело в том, что в диффузионных процессах в твердом теле широко распространено, например, такое явление как «восходящая» диффузия, которое не может быть учтено в уравнениях водородоупругости, записанных по аналогии с уравнениями термоупругости, так как в процессах теплопроводности подобное явление не имеет места. Отсюда очевидна необходимость дальнейшей разработки теории явления водородоупругости в направлении учета диффузионных механизмов его реализации.

В [3] обобщены термодинамические основы этого явления и дано его математическое описание в неизотермических и изотермических условиях. Неизотермическая водородоупругость описана системой связанных нелинейных дифференциальных уравнений, отражающих взаимозависимость и взаимообусловленность эволюции концентрационных водородных полей, температурных полей и полей деформаций (напряжений). Изотермическая водородоупругость описана системой связанных нелинейных дифференциальных уравнений, учитывающих взаимозависимую и взаимообуслов-ленную эволюцию концентрационных водородных полей и полей деформаций (напряжений) в условиях, когда можно пренебречь переносом тепла потоками водорода и изменениями температуры вследствие упругих деформаций и формоизменений. При этом в уравнении диффузии поток водорода в каждой точке системы Ме-Н определяется двумя движущими термодинамическими силами: градиентом концентрации водорода и градиентом внутренних напряжений. Таким образом, данный подход учитывает возможность «восходящей» диффузии водорода в системах Ме-Н.

Сравнительный анализ двух теорий водородоупругости проведен на основе результатов решения задачи о влиянии ВК-напряжений на диффузионное поведение водородных концентрационных неоднородностей.

Результаты компьютерных расчетов показали, что водородоупругие напряжения существенно замедляют диффузионные процессы, и время жизни неоднородностей существенно увеличивается. Наибольший эффект наблюдается при температурах вблизи комнатной температуры. Анализ двух водородоупругих моделей показывает, что обе модели дают качественно близкие результаты. Они предсказывают одну и ту же тенденцию влияния водородоупругих напряжений на диффузионные процессы в системах металл-водород и отражают сходную температурную зависимость влияния водородоупругих напряжений на диффузионные процессы в системах металл-водород. Однако следует отметить, что при температурах ниже 400 К согласно модели, в основе которой лежат уравнения изотермической водородоупругости, наблюдается существенно более сильный эффект замедления. По мнению авторов, это может иметь следующее объяснение. Уравнения изотермической водородоупругости, на основе которых построена представленная в работе [3] новая модель поведения концентрационных неоднородностей учитывают, как уже отмечалось, возможность «восходящей» диффузии водорода. Эта фундаментальная особенность систем Ме-Н не учитывается в уравнениях водородоупругости, записанных по аналогии с уравнениями термоупругости. Отсюда следует, что новая водородоупругая модель, основанная на уравнениях изотермической водородоупругости, более полно отражает особенности явления водородоупругости и адекватна диффузионно-кооперативной природе систем металл-водород.

Таким образом, математическое описание явления водородоупругости на основе связанной системы уравнений изотермической водородоупругости может быть использовано для компьютерного моделирования различных водородоупругих эффектов в системах металл-водород.

1. Progress in Hydrogen Treatment of Materials. Edited by V.A. Goltsov, Coral Gables: «Kassiopeya Ltd.», Donetsk, 2001.
2. Водород в металлах / Под ред. Г. Алефельда и И. Фелькля. – М.: Мир, 1981. – Т. 1,2.
3. Ж.Л.Глухова, В.А.Гольцов. Явление водородоупругости в системах металл-водород // Межд. научн. журнал «Альтернативная энергетика и экология». – 2014. – №1(141). – С. 138-151.

УДК 539.5

НАДБАРЬЕРНОЕ ДВИЖЕНИЕ КРАЕВЫХ ДИСЛОКАЦИЙ В НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛАХ

Малашенко В.В., Малашенко Т.И.

ГУ «Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина», г. Донецк

ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк

malashenko@fti.dn.ua

Свободные поверхности кристалла, а также границы раздела в поликристаллах способны оказывать существенное, а иногда и определяющее влияние на различные свойства кристаллов, в том числе механические, и в частности, на динамическое скольжение дислокаций [1]. Особенно возрастает роль поверхности и межзеренных границ в наноматериалах, исследование которых является одним из наиболее перспективных направлений современной физики [2, 3].

При движении дислокаций в приповерхностных слоях кристалла возрастает роль так называемых сил изображения, действующих на дислокацию со стороны свободной поверхности или межкристаллитной границы. В большинстве работ по исследованию влияния сил изображения на поведение дислокаций, выполненных в последние годы, методами компьютерного моделирования решалась задача о выходе дислокации на поверхность либо анализировался процесс роста кристалла [4].

Поверхность, являясь структурным дефектом, может и сама содержать различные дефекты, например, точечные, и влиять не только на движение дислокаций, но и на их взаимодействие с точечными дефектами, содержащимися как на поверхности, так и в объеме кристалла.

Пусть бесконечная краевая дислокация движется под действием постоянного внешнего напряжения σ_0 в положительном направлении оси OX с постоянной скоростью v параллельно поверхности кристалла, совпадающей с плоскостью XOZ. Линия дислокации параллельна оси OZ, а ее вектор Бюргерса параллелен оси OX. Точкам кристалла отвечают значения $y \le 0$. Плоскость скольжения дислокации совпадает с плоскостью $y = -L$, а положение дислокации определяется функцией

$$X(y=-L,z,t) = vt + w(y=-L,z,t) \tag{1}$$

Здесь функция $w(y=-L,z,t)$ является случайной величиной, описывающей поперечные колебания краевой дислокации в плоскости скольжения.

Уравнение движения дислокации имеет следующий вид

$$m\left\{\frac{\partial X^2}{\partial t^2} - c^2\frac{\partial^2 X}{\partial z^2}\right\} = b\left[\sigma_0 + \sigma_{xy}^i(vt+w;\ z) + \sigma_{xy}^S(vt+w;\ z)\right] - B\frac{\partial X}{\partial t} \tag{2}$$

Здесь σ_{xy}^S – компонента тензора напряжений, создаваемых поверхностными точечными дефектами на линии дислокации, σ_{xy}^i – напряжение изображения.

Силу динамического торможения дислокации поверхностными точечными дефектами вычислим во втором порядке теории возмущений

$$F_S = \frac{n_s b^2}{4\pi m}\int dq_x dq_z |q_x| \cdot \left|\sigma_{xy}(q_x,q_z,y)\right|^2 \delta(q_x^2 v^2 - \omega^2(q_z)) \tag{3}$$

Здесь n_s – поверхностная концентрация точечных дефектов, $\delta(q_x^2 v^2 - \omega^2(q_z))$ – это δ-функция Дирака, $\omega(q_z)$ – спектр дислокационных колебаний, который имеет вид

$$\omega^2 = c^2 q_z^2 + \Delta_S^2; \quad \Delta_S = \frac{b}{L}\sqrt{\frac{D}{2m}} \approx \frac{c}{L}. \tag{4}$$

Выполним численные оценки. Возьмем типичные значения $c = 3\cdot 10^3$ м/с, $b = 3\cdot 10^{-10}$ м. Тогда для $L \approx 10b$ получим $\Delta_S \approx 10^{12}$ с$^{-1}$, для $L \approx 100b$ оценки дают $\Delta_S \approx 10^{11}$ с$^{-1}$. Выполняя интегрирование, получим выражение для силы торможения дислокации поверхностными дефектами

$$F_S = \frac{n_s b^2 \mu^2 \varepsilon^2 R^6}{mc}\left(\frac{\Delta_S^9 L^3}{v^{11}}\right)^{\frac{1}{2}} \exp\left(-\frac{2L\Delta_S}{v}\right). \tag{5}$$

Значение предэкспоненциального множителя не превышает силу электронного торможения, т.е. само по себе весьма мало, а экспонента делает эту величину пренебрежимо малой. Следовательно, можно говорить о блокировке механизма торможения дислокации, связанного с возбуждением дислокационных колебаний поверхностными примесями.

Рассмотрим теперь случай, когда краевая дислокация движется параллельно поверхности кристалла, содержащего точечные дефекты, случайным образом распределенные в его объеме.

Динамическое взаимодействие распределенных в объеме кристалла дефектов с дислокацией в зависимости от скорости дислокационного скольжения может иметь как коллективный характер, так и характер независимых столкновений [5–9]. Точечные дефекты тоже оказывают влияние на дислокационный спектр: они создают щель в области коллективного взаимодействия с дислокацией

$$\Delta_d = \frac{c}{b}\left(n_{0V}\varepsilon^2\right)^{1/3} = \frac{c}{l}; \qquad b\left(n_{0V}\varepsilon^2\right)^{-1/3} = l \approx l_d . \tag{6}$$

Здесь n_0 – безразмерная концентрация точечных дефектов, $n_0 = nR^3$, l – среднее расстояние между дефектами в кристалле.

Таким образом, вид колебательного спектра определяется конкуренцией взаимодействия дислокации с поверхностью и с точечными дефектами, дающими аддитивный вклад в формирование спектральной щели

$$\Delta^2 = \Delta_S^2 + \Delta_d^2 \tag{7}$$

Область доминирования сил изображения определяется неравенствами

$$(bc/v) >> L; \qquad l >> L . \tag{8}$$

Сила торможения в этой области зависит от расстояния до поверхности

$$F_d = \mu b n_{0V}\varepsilon^2 \frac{v}{c}\left(\frac{L}{b}\right)^2 \tag{9}$$

Чтобы оценить степень влияния поверхности на движение дислокаций, возьмем отношение сил торможения F_{d2} в приповерхностном слое, где влияние поверхности доминирует, и F_{d1} в слое, где оно не существенно

$$F_{d2}/F_{d1} = \left(L/l\right)^2 \tag{10}$$

Выполним численные оценки. Для значений $n_{0V} \approx 10^{-4}$, $\varepsilon \approx 10^{-1}$, $L \approx 10b$ получим $(F_{d2}/F_{d1}) \approx 10^{-2}$, то есть наличие поверхности приводит к уменьшению силы торможения на два порядка.

Оценим толщину приповерхностного слоя, в пределах которого поверхность оказывает существенное влияние на динамическое взаимодействие дислокаций с точечными дефектами. Для типичных значений $c = 3\cdot 10^3$м/с, $b = 3\cdot 10^{-10}$м, $n_{0V} \approx 10^{-2} \div 10^{-6}$, $v \approx 10^{-2} \div 10^{-1}c$ получим, что толщина оцениваемого слоя может составлять от нескольких нанометров до нескольких десятков нанометров.

Таким образом, силы изображения полностью блокируют влияние поверхностных точечных дефектов и значительно снижают влияние объемно распределенных точечных дефектов на динамическое скольжение дислокаций в наноматериалах.

1. Kodambaka S., S. V. Khare, W. Swich, K. Ohmori, I. Petrov, J. E. Greene. Dislocation-driven surface dynamics on solids // Nature. – 2004. – Vol. 429. – P. 49–52.
2. Головин Ю.И. Наноиндентирование и механические свойства твердых тел в субмикрообъемах, тонких приповерхностных слоях и пленках // ФТТ. – 2008. – Т. 50, № 12. – С. 2113–2142.
3. Малыгин Г.А. Пластичность и прочность микро- и нанокристаллических материалов // ФТТ. – 2007. – Т. 49, № 6. – С. 961–982.
4. Liu X. H., F. M. Ross, K. W. Schwarz. // Phys. Rev. Lett. – 2000. – Vol. 85, № 19. – P. 4088–4091.
5. Малашенко В.В. Динамическая неустойчивость дислокационного движения при высокоскоростной деформации кристаллов с высокой концентрацией точечных дефектов // ФТТ. – 2015. – Т. 57, № 12. – С. 2388-2390.
6. Малашенко В.В. Особенности динамики дислокаций в облученных металлах и сплавах с гигантской магнитострикцией // ПЖТФ. – 2012. – Т. 38, № 19. – С. 61-65.
7. Малашенко В.В. Коллективное преодоление дислокациями точечных дефектов в динамической области // ФТТ. – 2014. – Т. 56, № 8. – С. 1528-1530.
8. Malashenko V.V. Dynamic drag of dislocation by point defects in near-surface crystal layer / V.V. Malashenko // Modern Phys. Lett. B. – 2009. – Vol. 23, № 16. – P. 2041–2047.
9. Malashenko V.V. Dynamic drag of edge dislocation by circular prismatic loops and point defects // Physica B: Phys. Cond. Mat. – 2009. – Vol. 404, No. 21. – P. 3890–3893.

УДК 536.7

МОДЕЛЬ φ^6 ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ ВТОРОГО РОДА НА ЯЗЫКЕ ПАРАМЕТРА ПОРЯДКА И ЭНТРОПИИ

Пойманов В.Д.[1] , Метлов Л.С.[1,2]
[1]ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк
[2] ГУ «Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина», г. Донецк
lsmet@fti.dn.ua

В данной работе предлагается способ описания устойчивых аморфных состояний ниже критической точки ФП2. Широко распространенная модель, в которой разложение термодинамического потенциала вблизи критической точки осуществляется вплоть до четвертой степени параметра порядка (ПП) (будем называть ее моделью φ^4), допускает однозначную (точнее, двузначную) связь между модулем последнего и конфигурационной энтропией. Ввиду этого обстоятельства последнюю можно выбрать в качестве независимой переменной в ТД потенциале. Особенности, связанные с такой параметризацией, подробно обсуждались в [1]. Здесь же отметим, что в этой модели при переходе через критическую точку происходит кроссовер типа экстремума, в результате которого неупорядоченное состояние ($\varphi = 0$) теряет устойчивость. При этом энтропия последнего остается выше энтропии появившегося устойчивого упорядоченного состояния вплоть до абсолютного нуля, где она обращается в нуль согласно теореме Нернста. Чтобы сделать возможным описание аморфного состояния как устойчивой фазы, авторами была предложена модель φ^6 [2]. Представляет интерес изучить вопрос, как будет выглядеть проблема φ^6 на языке конфигурационной энтропии.

Выберем изначально свободную энергию в удобном виде

$$F = \frac{\varphi^6}{6} - \frac{\varphi^4}{4}(\varphi_s^2 + \varphi_b^2) + \frac{\varphi^2}{2}\varphi_s^2\varphi_b^2 - S_0 T.$$

так, чтобы параметры $\varphi_s^2 \leq \varphi_b^2$ соответствовали равновесным значениям ПП при заданной температуре

$$\frac{\partial F}{\partial \varphi} = \varphi(\varphi^2 - \varphi_s^2)(\varphi^2 - \varphi_b^2).$$

Константа S_0 обеспечивает выполнение теоремы Нернста. Можно показать, что $\varphi = 0$ и φ_b соответствуют устойчивому, а φ_s – неустойчивому состояниям при условии $0 \le \varphi_s^2 \le \varphi_b^2$, тем самым обеспечивая устойчивость аморфного состояния, чего не было в модели φ^4.

Энтропия в равновесных состояниях $s = -F_T'$.

$$S_b - S_0 = \tilde{S}_b = \frac{\varphi_b^2}{4}\left(\varphi_b^2 \frac{d(\varphi_s^2 + \varphi_b^2)}{dT} - 2\frac{d(\varphi_s^2\varphi_b^2)}{dT}\right).$$

$$S_s - S_0 = \tilde{S}_s = \frac{\varphi_s^2}{4}\left(\varphi_s^2 \frac{d(\varphi_s^2 + \varphi_b^2)}{dT} - 2\frac{d(\varphi_s^2\varphi_b^2)}{dT}\right).$$

Отметим важное соотношение между значениями энтропии в устойчивом φ_b^2 и неустойчивом φ_s^2 состояниях:

$$S_b - S_s = \frac{1}{6}\frac{d}{dT}[(\varphi_b^2 - \varphi_s^2)^3] < 0,$$

т.е., устойчивое состояние более упорядоченное. Вместе с тем для аморфного состояния она тождественно равна нулю, т.е., энтропии всех трех состояний можно упорядочить следующим образом:

$$S_b < 0 < S_s.$$

Это можно сделать, в частности, выбрав равновесные значения ПП в виде:

$$\varphi_s^2 = a_1\left(1 - \frac{T}{T_c}\right), \qquad \varphi_b^2 = a_2\left(1 - \frac{T}{T_c}\right).$$

Будем полагать $a_2 > 3a_1$. Мы рассматриваем только случай, когда критические температуры, соответствующие корням, одинаковы. Вычисление энтропии дает:

$$\tilde{S}_b = \frac{a_2^2(3a_1 - a_2)}{4T_c}\left(1 - \frac{T}{T_c}\right)^2 < 0, \qquad \tilde{S}_s = \frac{a_1^2(3a_2 - a_1)}{4T_c}\left(1 - \frac{T}{T_c}\right)^2 > 0,$$

как и следовало ожидать. При $T = 0$ энтропия равновесного состояния должна стремиться к нулю по теореме Нернста, откуда получаем добавку к свободной энергии, обусловленную этим

$$\Delta F = -S_0 T, \qquad S_0 = \frac{a_2^2(a_2 - 3a_1)}{4T_c} > 0.$$

Отметим, что энтропия S с учетом поправки на выполнение теоремы Нернста оказывается всегда положительной, чего не скажешь про $\tilde{S}$. Будем рассматривать температуры ниже критической точки. Тогда в устойчивом состоянии $\tilde{S}$ отрицательна вплоть до $T = T_c$, где она обращается в нуль, так что вещественными являются оба значения ПП.

Вводя обозначения

$$K = 2\varphi_s^2\varphi_b^2 = 2a_1a_2\left(1 - \frac{T}{T_c}\right)^2, \qquad L = \varphi_s^2 + \varphi_b^2 = (a_1 + a_2)\left(1 - \frac{T}{T_c}\right),$$

$$P = \frac{K}{L} = \frac{2a_1a_2}{a_1 + a_2}\left(1 - \frac{T}{T_c}\right), \quad \frac{4(S - S_0)(T_c - T)}{L} = \frac{4(S - S_0)T_c}{(a_1 + a_2)} = \xi,$$

запишем уравнение для ПП

$$\varphi^4 - 2P\varphi^2 + \xi = 0,$$

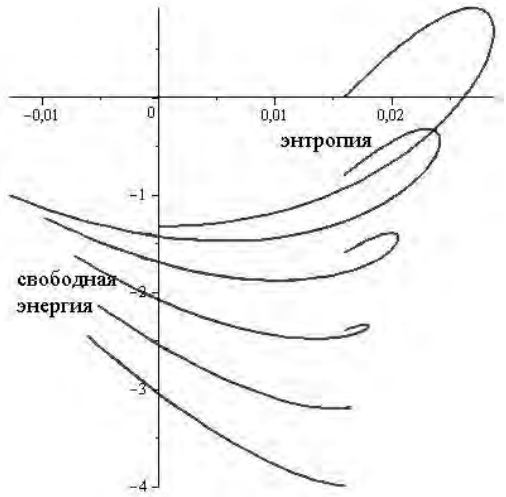
откуда получаем две ветви

$$\varphi^2 = P \pm \sqrt{P^2 - \xi}.$$

Таким образом, очевидно, что ниже критической точки связь неоднозначна, что и подтверждает параметрическое ее задание с помощью формул

$$F = \frac{\varphi^6}{6} - \frac{L\varphi^4 - K\varphi^2}{4} - S_0 T\,, \qquad S = -F'_T = -\frac{L\varphi^4 - 2K\varphi^2}{4(T_c - T)} + S_0.$$

Построенная по формулам зависимость для различных температур (0, 50, 100, 150, 200, 250 К) для критической температуры 250 К имеет вид:



Увеличению Т соответствует плавный переход от верхней кривой (0К) к нижней (250К). Очевидно, в отличие от модели φ^4, где данная зависимость однозначна, в этом случае зависимость уже неоднозначная. Правый конец каждой «петли» соответствует значению ПП, равному нулю, однако надо помнить, что, в модели φ^4 корень, соответствующий $\varphi = 0$, система «не чувствовала». Таким образом, на языке ПП получаем два метастабильных состояния – одно соответствует правому концу петли и может формально пониматься соответствующим неупорядоченному состоянию. Второй минимум соответствует энтропии, равной нулю при Т=0 (согласно теореме Нернста) и сдвигается по мере возрастания температуры до критической. Петля исчезает строго при Т=Тс, когда стирается различие между фазами.

1. Metlov L.S. Four variants of theory of the second order phase transitions // http://arxiv.org/abs/1309.6791
2. Метлов Л.С., Пойманов В.Д. Фазовый переход – порядок–беспорядок на языке конфигурационной энтропии // Вестник Челябинского государственного университета. Физика. – 2015. – № 22 (377). – Вып. 21. – С. 15.

УДК 539.2+535

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЗБУЖДЕНИЯ В НЕИДЕАЛЬНОЙ РЕШЕТКЕ – КВАНТОВЫЕ ТОЧКИ В МАССИВЕ МИКРОРЕЗОНАТОРОВ

Румянцев В.В.[1,2], Федоров С.А.[1], Гуменник К.В.[1], Петренко А.Г.[2]

[1]ГУ «Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина»

[2]ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк

rumyants@teor.fti.ac.donetsk.ua

Введение. В связи с разработкой устройств квантовой обработки оптической информации возникает необходимость формирования фотонных структур, позволяющих получить так называемый «медленный» свет [1]. Последний связан с эффективным уменьшением групповой скорости поляритонов в таких, например, системах, как массив связанных оптических резонаторов [2], в различных типах твердотельных многослойных полупроводниковых систем [3]. При создании вышеупомянутых устройств приходится решать ряд проблем, связанных с формированием поляритонных структур [4] – особого класса фотонных кристаллов [5], в которых реализуется

сильная связь квантовых возмущений (экситонов) среды и оптического поля. Поляритонной структурой, в частности, может быть пространственно периодическая атомная система, образованная слабо взаимодействующими ансамблями двухуровневых атомов и оптического поля в туннельно связанном массиве микрорезонаторов [6]. Особенностью такой структуры является возможность локализации поляритонов, что аналогично возможности локализации света в фотонных кристаллах [7] или локализации экситонов в квазипериодических структурах в физике твердого тела [8]. Повышенный в последнее время интерес к изучению оптических мод в системе микрорезонаторов связан также с созданием оптоэлектронных устройств [9]. В данном случае стоит отметить резонаторы на основе дефектов в фотонных кристаллах [7], в [10] было продемонстрировано достижение сильной связи между квантовой точкой и таким микрорезонатором. Авторы [4] полагают, что формирование в цепочке микрорезонаторов квантовых солитонов, связанных с поляритонами нижней дисперсионной ветви (НДВ), может быть привлекательным для целей квантовой обработки информации.

Исходя из представлений [4] об идеальных фотонных структурах и развитых авторами ранее экситоноподобных возбуждениях [11], в настоящем сообщении рассмотрен неидеальный поляритонный кристалл, как система связанных микропор (микрорезонаторов), содержащих квантовые точки. Исследованы особенности дисперсии электромагнитных возбуждений в такой неидеальной решетке микрорезонаторов, вызванные как вариацией резонаторов по расстояниям между ближайшими соседями, так и вариацией квантовых точек по составу.

Подчеркнем, что используемая поляритонная модель атомно-оптического взаимодействия справедлива лишь в случае ультрахолодных атомов с “замороженными” в микрорезонаторах пространственными степенями свободы. Этот случай реализуется при низких температурах порядка *мК*, когда можно пренебречь уширением спектральных линии. В этом случае реализуются чистые (термодинамически равновесные) квантовые состояния атомно-полевой системы.

Результаты численного моделирования. Одним из способов создания поляритонного кристалла является захват двухуровневых атомов идеальной [4] или неидеальной [12] фотонной структурой, представляющей собой массив микрорезонаторов. Рассмотрен массив микропор – двумерная решетка с произвольным числом подрешеток. Исследуемая система микропор представляет собой резонаторы разных $s(\alpha)$ типов (α – номер подрешетки), случайным образом размещенных в решетке. В каждом резонаторе находится квантовая точка (одноуровневая совокупность атомов) одного из $r(\alpha)$ сортов, взаимодействующая с локализованным в резонаторе квантованным электромагнитным полем. Причем каждый из туннельно связанных микрорезонаторов содержит по одной оптической моде.

Изучение спектра поляритонных возбуждений и особенностей разупорядочения, обусловленных наличием дефектов в исследуемой структуре, конкретизировано для случая одноподрешеточной квадратной решетки Бравэ. Полагаем, что в качестве дефектов исследуемой системы являются вакансии, которые содержатся как в атомарной, так и в резонаторной подсистемах, концентрации дефектов в подсистемах соответственно равны C_1^V и C_2^V.

На рис. 1, а представлены дисперсионные поверхности идеальной структуры $(C_1^V = C_2^V = 0)$, рис. 1, б отражает зависимость $\Omega_\nu(k_x, k_y, C_1^V, C_2^V)$ неидеальной

системы ($C_1^V = 0.43, C_2^V = 0.2$), причем рис. 1, в иллюстрируют изменение дисперсионных поверхностей при изменении параметра g, определяющего взаимодействие атомарной и фотонной подсистем (стрелка на рис. 1, б указывает на изменение величины «бутылочного горла» в связи с вариацией параметра g).

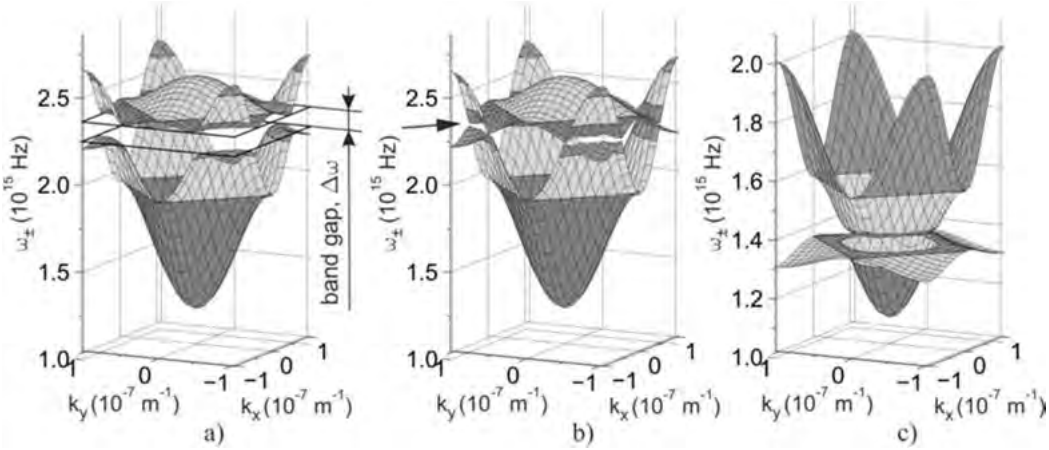


Рис. 1. Спектр $\Omega = \Omega_\nu(k_x, k_y)$ поляритонных возбуждений при учете разупорядочения, обусловленного наличием дефектов в исследуемой структуре

Заключение. Проведенное в работе исследование весьма актуально, поскольку оно открывает дополнительные возможности по созданию источников когерентного излучения, новых функциональных материалов на основе поляритонных структур таких, как пространственно периодические системы связанных микрорезонаторов, позволяющих контролировать распространение электромагнитных возбуждений в рассматриваемых композитных структурах.

1. Milonni P.W. Fast Light, Slow Light and Left-Handed Light. – Bristol: Institute of Physics Publishing, 2005. – 251 p.
2. Gersen H., Karle T.J., Engelen R.J.P., et al. Real-Space Observation of Ultraslow Light in Photonic Crystal Waveguides// Phys. Rev. Lett. – 2005. – V. 94. – P. 3903.
3. Turukhin A.V., Sudarshanam V.S., Shahriar M.S., et al. Observation of ultraslow and stored light pulses in a solid // Phys. Rev. Lett. – 2002. – V.88. – P. 023602–1.
4. Alodjants A.P., Barinov I. O., Arakelian S. M. Strongly localized polaritons in an array of trapped two-level atoms interacting with a light field // J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys. – 2010. – V.43. – P. 095502.
5. Joannopoulos J.D., Johnson S.G., Winn J.N., Meade R.D. Photonic Crystals. Molding the Flow of Light / Second Edition. – Princeton: Princeton University Press, 2008. – 305p.
6. Vahala K.J. Optical microcavities // Nature. – 2003. – V.424. –P. 839.
7. Lee R.K., Painter O., Kitzke B. et al. Emission properties of a defect cavity in a two-dimensional photonic bandgap crystal slab // J. Opt. Soc. Am. – 2000. – V.B 17. – P. 629.
8. Balili R., Hartwell V., Snoke D. et al. Bose-Einstein Condensation of Microcavity Polaritons in a Trap// Science. – 2007. – V.316. – P. 1007.
9. Калитиевский М.А. Связанные вертикальные микрорезонаторы// Письма в ЖЭТФ. – 1997. – Т.23. – С.74-78.
10. Englund D., Majumdar A., Faraon A.et al. Resonant excitation of a quantum dot strongly coupled to a photonic crystal nanocavity// Phys. Rev. Lett. – 2010. – V. 104. – P. 073904.
11. Rumyantsev V.V., Fedorov S.A., Gumennyk K.V., Sychanova M.V., Kavokin A.V. Exciton-like electromagnetic excitations in non-ideal microcavity supercrystals // Nature. Scientific Reports. – 2014. – V. 4. – P. 6945.
12. Rumyantsev V.V., Fedorov S.A., Gumennyk K.V., Sychanova M.V., Kavokin A.V. Polaritons in a nonideal periodic array of microcavities // Superlattices and Microstructures. – 2016. – V. 89. – P. 409-418.

УДК 538, 539

ОСОБЕННОСТИ АТОМНОГО ПОРЯДКА СТРОИТЕЛЬНОЙ СТАЛИ ПОСЛЕ ВИНТОВОЙ ЭКСТРУЗИИ

Самойленко З.А., Ивахненко Н.Н., Пушенко Е.И., Пашинская Е.Г., Варюхин В.Н.
ГУ «Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина»
ГО ВПО «Донецкий национальный университет экономики и торговли им. М. Туган-Барановского»
yulduz19.77@mail.ru

Пластическая деформация в материалах представляет собой сложный процесс, связанный с зарождением и эволюцией дефектов структуры на различных масштабных уровнях. Особенно эффективно она проявляется на макроскопическом масштабном уровне, когда пластическая деформация твердых тел развивается локализовано на всем протяжении процесса. Недостаточно изучен вопрос о влиянии высоких давлений на структуру и свойства углеродистых сталей. Как показали ранние исследования многокомпонентных металлооксидных соединений, физико-химические свойства материалов существенно зависят от искажений структуры и образований кластеров, когерентно связанных с основной решеткой.

Проведены экспериментальные исследования изменений атомного порядка структуры малоуглеродистой строительной стали 20Г2С после (ВЭ) в (//) и (⊥) сечениях заготовки по сравнению с исходным состоянием. Исходный образец представлял собой параллелепипед с размерами 20,1*48,4*67,9 mm и твердостью по Бринелю НВ (150-152). Перед (ВЭ) были проделаны операции: нагрев в печи до T=400°C, t=1h (НВ=143); ковка до сечения 28*43 mm (НВ=192); фрезеровка до сечения 24*38mm; отжиг при T=920°C, t=1h, охлаждение на воздухе. Далее образец подвергали (ВЭ) по схеме: первый проход – $T_{заг}$=850°C, $T_{уст}$=320°C, P_{max}=210 kg/cm^2, смазка – дисульфид молибдена + графит + масло; второй и третий проходы – $T_{заг}$=400°C, $T_{уст}$=320°C, P_{max}=200 kg/cm^2. Твердость заготовки в процессе прессования составила: первый проход НВ=(285–293), второй и третий проходы НВ=(293–302). Противодавление во всех случаях было одинаковое – 100 МРа. После третьего прохода заготовка треснула.

Микроструктурный анализ проводили на металлографическом микроскопе Axiovert 40 MAT с помощью программного обеспечения - Axiovision 4.6. В исходном состоянии распределение феррита и перлита по площади поперечного составляет 84.3 % и 14.9 %, соответственно. В деформированном состоянии в поперечном сечении, происходит измельчение колоний перлита. Зафиксировано также уменьшение площади, занятой ферритом до 82.6 % и увеличение площади, занятой перлитом до 16.7 %. В продольных сечениях шлифов наблюдается уменьшение площади перлита в среднем до 10 %, что обусловлено деформационным распадом цементита. Это явление обнаружено сравнительно недавно при интенсивной пластической деформации накатной высокоуглеродистой стали и связывается с интенсивной диффузией углерода из цементитных пластин в деформированный феррит.

С помощью анализа диффузного рассеяния рентгеновских лучей проведены экспериментальные исследования атомной структуры

малоуглеродистой стали по сравнению с исходным состоянием. Использовали длинноволновое CrK_{α} – излучение с V – фильтром и фотометод, чувствительный к регистрации диффузного рассеяния лучей слабой интенсивности. Съемка проводилась по методу шлифа.

Кристаллическая структура с дальним атомным порядком сформирована преимущественно в фазе α-Fe, тогда как в карбидной Fe_3C, и силицидной Fe_3Si или Fe_5Si_3, структура в расположении атомов имеет менее совершенный, мезоскопический порядок, характерный для кластеров с намечающимся дальним порядком и размытыми границами. Нормируя к 100% суммарную интегральную интенсивность когерентного рассеяния рентгеновских лучей, оценили концентрации фаз с дальним и мезоскопическим атомным порядком. Видно, что действие (ВЭ) на сталь 20Г2С способствует увеличению в 1.3 раза концентрации металлической фазы α-Fe с дальним атомным порядком. Это проявляется: 1 – в уширении и смещении в сторону больших углов линии от плоскостей (110) α-Fe с когерентно встроенными плоскостями карбидной и силицидной фаз; 2 – в изменении формы и смещении линии от плоскостей (200) α-Fe с когерентно встроенными плоскостями карбидной или силицидной фазы; а также 3 – в увеличении интенсивности и большеугловом смещении линии от плоскостей (211) α-Fe с когерентно встроенными плоскостями карбидной фазы. В то же время концентрация кластеров карбидной и силицидной фаз, некогерентно связанных с матричной фазой α-Fe, уменьшается в процессе винтовой деформации образцов. Увеличение интенсивности когерентного рассеяния и одновременное уменьшение интенсивности некогерентного рассеяния при переходе от исходного состояния к деформированному образцу с (//) сечением указывает на то, что в направлении основной диагонали заготовки в процессе (ВЭ) в атомной структуре преобладают процессы упорядочения по сравнению с разупорядочением.

Однако при анализе деформированных образцов с (⊥) сечением уменьшение интенсивности когерентного рассеяния и одновременное увеличение интенсивности некогерентного рассеяния свидетельствует о том, что в направлении, перпендикулярном оси заготовки, в процессе (ВЭ) в атомной структуре преобладают процессы разупорядочения по сравнению с упорядочением. Снижение интенсивности когерентного рассеяния свидетельствует об увеличении беспорядка в малоуглеродистой стали, проявляющегося в смещении атомов из узлов кристаллической решетки и характеризует наличие напряжений III рода в деформированных образцах (⊥) сечения.

Для семейства плотноупакованных плоскостей (110) α-Fe под действием (ВЭ) характерно «подстраивание» группы плоскостей (220) фазы Fe_3Si, наряду с плоскостями (022) карбидной фазы Fe_3C, что проявляется в виде широкого дифракционного отражения (110) с плоской вершиной от образца (//) сечения. Уширение дифракционной линии и появление плоского или раздвоенного максимума характеризует эффект «разбухания» атомной структуры соответствующей группы плоскостей (110) с формированием подгрупп, различающихся величиной межплоскостных расстояний. В нашем случае, для исходного образца величина межплоскостного расстояния $d_{init}(110)=2.008$ Å незначительно отличается от табличного значения $d_{\alpha\text{-}Fe}(110)=2.01$ Å. После деформации (ВЭ) для (//) сечения тонкая структура линии (110) свидетельствует

о том, что в структуре образца наряду с группой «растянутых» плоскостей с увеличенным межплоскостным расстоянием $d>d_{tab}(110)=2.028$Å сформировалась также группа «сжатых» плоскостей с уменьшенным расстоянием $d<d_{tab}(110)=1.99$Å. Для (⊥) сечения тонкая структура линии (110) характеризует присутствие в структуре двух групп «сжатых» плоскостей с межплоскостными расстояниями $d<d_{tab}(110)=1.984$ Å и $d<<d_{tab}(110)=1.951$ Å. В семействе основных плоскостей (200) с межплоскостным расстоянием $d_{tab}=1.428$ Å для образца (//) сечения наряду с группой плоскостей с близким табличному значению d(//)=1,433 Å выявляется группа «растянутых» плоскостей с d(//)=1,464 Å. Для образца (⊥) сечения, напротив, наряду с группой «сжатых» плоскостей с d(⊥)=1,417 Å, присутствует группа «сильно сжатых» плоскостей с $d(\perp)<<d_{tab}=1{,}400$ Å. В семействе диагональных плоскостей (211) с межплоскостным расстоянием $d_{tab}=1.166$ Å для образцов (//) и (⊥) сечений наряду со значениями межплоскостных расстояний, близкими к табличным: d(//)=1,170 Å и d(⊥)=1,167 Å, выявляются группы одинаково «растянутых» плоскостей с d(//)=1,177 Å и d(⊥)=1,1767 Å.

В образцах (//) сечения для кристаллов фазы α-Fe наблюдается существенное увеличение размеров от 240 Å до 340 Å, а кластеры силицидов Fe_3Si и Fe_5Si_3, напротив, испытывают уменьшение размеров от 200 Å до 120 Å. В образцах (⊥) сечения размеры кристаллов и кластеров этих фаз близки к значениям для исходного состояния. В то же время размеры кластеров карбидной фазы Fe_3C практически не изменяются в образцах всех трех состояний.

Приведенные результаты показывают, что кластеры силицидов Fe_3Si и Fe_5Si_3 проявляют большую пластичность и более сильную когерентную связь с кристаллами матричной фазы α-Fe. Они измельчаются при увеличении размеров кристаллов фазы железа в образцах (//) сечения и слабо изменяются в образцах (⊥) сечения. Кластеры же карбидной фазы Fe_3C проявляют устойчивость формы и во всех образцах характеризуются одинаковым размером, 150–160 Å.

1. Самойленко З.А., Ивахненко Н.Н., Пушенко Е.И., Пашинская Е.Г., Варюхин В.Н., Завдовеев А.В. // ЖТФ. 2013. Т. 83. Вып. 7. С. 82–87.

УДК 537.611.3

СПОНТАННЫЕ ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ В ДОМЕННЫХ ГРАНИЦАХ ОДНООСНОЙ МАГНИТНОЙ ПЛЕНКИ

Сирюк Ю.А.[1], Безус А.В.[1], Бондарь Е.Д.[1], Смирнов В.В.[2]
[1]ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк
[2] ГУ «Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина»
juliasiryuk@gmail.com

Введение. Магнитная доменная структура эпитаксиальных пленок феррита-граната представляет собой периодически чередующиеся области с антипараллельным направлением намагниченности, разделенные доменными стенками, т.е. доменными границами (ДГ). Доменные стенки, в свою очередь, являются неоднородными структурами, в которых происходят изменения

ориентации спинов от направления спинов в одном домене к направлению спинов в соседнем домене. Структура ДГ зависит от выбранного кристаллографического направления пленки, ее толщины, температуры и действия магнитных полей. При рассмотрении распределения спинов в ДГ предполагается, что при переходе через границу нормальная составляющая спинового магнитного момента не испытывает изменений, т.к. в этом случае полная магнитостатическая энергия минимальна. При этом намагниченность в ДГ лежит в плоскости стенки, и на поверхности стенки не возникают магнитные заряды. Это означает, что поворот спинов по толщине ДГ можно уподобить винтовому вращению. Такие доменные стенки называются доменными границами Блоха и представляют собой наиболее общий тип доменных границ в ЦМД-материалах, т.к. они минимизируют энергию размагничивания. Симметрия допускает два возможных направления поворота намагниченности в ДГ – правовинтовое и левовинтовое. В ДГ Нееля спины распределяются с нарушением правила непрерывности нормальной составляющей. При этом оказывается более выгодным поворот в плоскости параллельной плоскости пленки.

В эпитаксиальных пленках с осью легкого намагничивания, перпендикулярной развитой поверхности пленки, доменная граница Блоха наблюдается в широком температурном интервале вплоть до температуры Нееля. И только при приближении к точке компенсации, где растет величина константы кубической анизотропии и характеристическая длина пленки, ДГ Блоха переходит в ДГ Нееля. Если в пленке формировать решетку ЦМД импульсным магнитным полем, перпендикулярным плоскости пленки, то создается доменная граница ЦМД, имеющая сложную структуру. В границе ЦМД создается большое число поворотов спинов двух направлений (полярностей), как левовинтовых, так и правовинтовых. Линия, разделяющая два участка стенки Блоха с различными полярностями, проходит вертикально через пленку, и такую структуру назвали вертикальной линией Блоха (ВБЛ). Число линий Блоха в ЦМД должно быть четным, т.е. в стенке ЦМД могут находиться только пары линий Блоха. Длина окружности ЦМД представляет собой граничное условие, которое заставляет линии Блоха сближаться до интервала $s = \pi d/2N$, где d – диаметр ЦМД, N – число оборотов спинов, s – расстояние между ВБЛ [1].

Для ЦМД с диаметром 4–13 мкм получено максимальное значение $N = 90$, что соответствует 180 линиям ВБЛ. В жестких доменах имеются две силы (сила отталкивания ВБЛ и магнитостатическая сила), которые, уравновешивая сжимающие силы поверхностного натяжения стенки Блоха, дают статически устойчивый домен.

Ранее в работах [2, 3] исследовались спонтанные фазовые переходы (ФП) в жестких решетках ЦМД. Но при этом происходили изменения и в структуре доменных границ.

Цель настоящей работы – показать, что в доменных границах происходят спонтанные фазовые переходы, которые и вызывают фазовые переходы в решетках ЦМД. Из-за своей структуры доменная граница ЦМД более чувствительна к температурному изменению параметров пленки.

Для исследования была выбрана пленка с развитой поверхностью <111>, выращенная методом жидкофазной эпитаксии на гадолиний-галлиевой

подложке состава $(TmBi)_3(FeGa)_5O_{12}$ ($T_N = 437K$, $T_C = 120K$), где T_N – температура Нееля, T_C – температура магнитной компенсации. При комнатной температуре пленка имеет фактор качества $Q > 5$. При таком Q действием импульсного магнитного поля в доменной границе создаются ВБЛ [1]. Доменная структура наблюдается с помощью эффекта Фарадея.

Результаты эксперимента. Импульсным магнитным полем при 300К создается решетка ЦМД. Это равновесная решетка при температуре формирования (рис. 1А). Согласно [1], в границе ЦМД создается 180 ВБЛ. Это количество ВБЛ является максимальным для изолированного ЦМД. При этом расстояние между ВБЛ достигает величины $s = 0.23$ мкм.

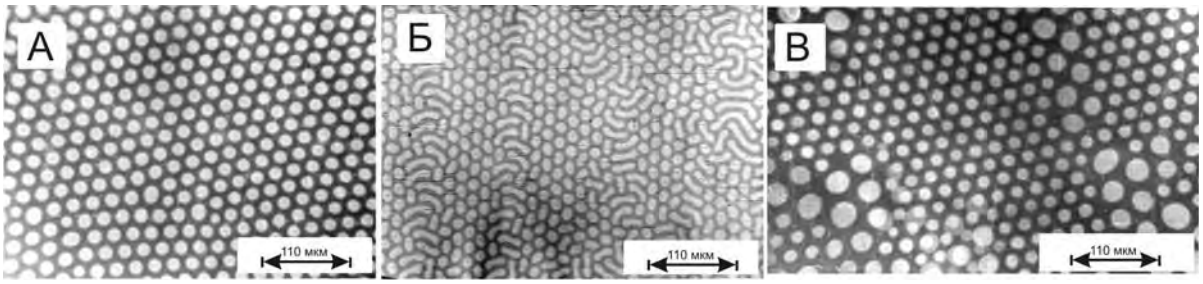


Рис. 1. Виды доменных структур пленки: А– РЦД при 300К; Б– ФП в РЦД при нагревании; В– ФП в РЦД при охлаждении.

При нагревании пленки в решетке ЦМД наблюдается несколько фазовых переходов первого рода с сохранением числа доменов (рис. 1, рис. 2) [2, 3]. Эти фазовые переходы вызваны фазовыми переходами в структуре доменных границ ЦМД. При фазовых переходах количество ВБЛ в границе уменьшается скачком путем аннигиляции ВБЛ (рис. 2). Вблизи температуры Нееля остается простая блоховская стенка.

При понижении температуры от 300 К к точке компенсации в решетке ЦМД происходят фазовые переходы первого рода с уменьшением числа частиц (рис. 1В, рис. 2). При этом увеличивается как диаметр ЦМД, так и ширина ДГ. В доменной границе также происходят фазовые переходы первого рода. Количество ВБЛ уменьшается путем раскручивания. Вблизи T_C наблюдается скачок доменной границы. Это уже ДГ Нееля.

Решетка, сформированная вблизи T_N ($0.98T_N$) имеет простую блоховскую стенку, что соответствует минимальной энергии доменной границы. При охлаждении пленки она сохраняется в широком температурном интервале, и фазовые переходы в ней не наблюдаются.

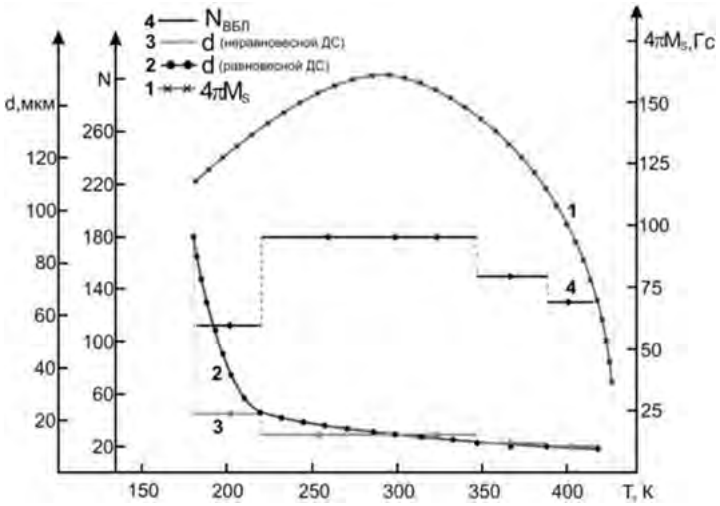


Рис. 2. Температурные зависимости характеристик пленки: 1– намагниченность насыщения; 2– диаметр ЦМД равновесной ДС; 3– диаметр ЦМД неравновесной ДС; 4– число ВБЛ в доменной границе

Выводы. Структура доменной границы ЦМД очень чувствительна к температурному изменению параметров пленки. В ней происходят спонтанные фазовые переходы первого рода, которые вызывают фазовые переходы в решетке ЦМД. Механизм фазовых переходов в ДГ при нагревании и охлаждении пленки имеет существенные отличия. Число ВБЛ в ДГ уменьшается при нагревании путем аннигиляции, а при охлаждении – путем раскручивания. Решетка ЦМД с простой блоховской стенкой наиболее устойчива и сохраняется в широком температурном интервале.

1. Малоземов А. Доменные стенки в материалах с цилиндрическими магнитными доменами / А.Малоземов, Дж.Слонзуски. – М.: Мир, 1982. – 384 с.
2. Мамалуй Ю.А., Сирюк Ю.А., Безус А.В. Решетки цилиндрических магнитных доменов вблизи точки компенсации // ФТТ. – 2003. – **45**, 9. – С. 1645-1652.
3. Сирюк Ю.А., Безус А.В. Спонтанные фазовые переходы в феррит-гранатовых пленках // ФТТ. – 2013. – **55**, 3. – С. 547-551.

УДК 537.87,537.611.45,535.326

ГРАНИЦА РАЗДЕЛА “ОПТИЧЕСКИ ИЗОТРОПНАЯ СРЕДА–ОДНОМЕРНЫЙ МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ФОТОННЫЙ КРИСТАЛЛ” КАК УПРАВЛЯЕМАЯ ЧАСТОТНО-СЕЛЕКТИВНАЯ ПОВЕРХНОСТЬ

Сухорукова О.С.
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк
tos1980@mail.ru

Исследовано влияние постоянного внешнего магнитного поля на величину и направление потока энергии переносимого эванесцентной волной ТМ- или ТЕ-типа в двухкомпонентном одномерном магнитном фотонном кристалле типа “центроантисимметричный антиферромагнетик–немагнитный диэлектрик”.

В многочисленных теоретических и экспериментальных работах последнего времени, связанных с изучением волновых свойств фотонных кристаллов с участием как “левой”, так и “правой” сред, отводится особая роль эванесцентным волнам. Это связано с тем, что указанный тип возбуждений принимает участие в формировании многочисленных аномальных свойств указанных композитных материалов и, в первую очередь, эффекта отрицательной оптической рефракции [1] и образования зон фотонного туннелирования [2, 3]. Ввиду этого задача исследования возможности максимального усиления эванесцентных волн в отмеченных композитных средах представляет особый интерес. Однако большинство исследований, касающихся данной тематики связано исключительно с немагнитными фотонными кристаллами. Вместе с тем в последнее время одним из активно развиваемых направлений в современной магнитооптике является изучение различных аспектов распространения электромагнитных волн в одно-, двух- и трехмерных магнитных фотонных кристаллах (МФК). Это, в частности,

продиктовано возможностью целенаправленного и эффективного влияния на характер распространения и локализации электромагнитных волн в таких средах с помощью легко реализуемых на практике внешних параметров: поля, давления, температуры. Что в свою очередь имеет фундаментальное значение для развития нанооптики, туннельной спектроскопии и электродинамики метаматериалов. Особый интерес, с точки зрения практических приложений, в этом плане представляют собой МФК, которые по своим электромагнитным характеристикам относятся к бианизотропным средам. Это связано с тем, что именно в данном случае значительная часть коэффициентов в уравнениях связи среды будет обладать резонансными особенностями в зависимости от частоты. Цель представляемой работы заключается в теоретическом изучении роли эванесцентных волн в процессах рефракции объемной электромагнитной волны TE- или TM- типа, падающей извне на поверхность полуограниченного одномерного двухкомпонентного МФК типа “немагнитный диэлектрик–антиферромагнетик со скомпенсированным антисимметричным магнито-электрическим взаимодействием”. Отметим, что подобная структура магнитоэлектрического взаимодействия может быть характерна также и для одномерных магнитных фотонных кристаллов (1D МФК) типа “ферромагнетик – немагнетик” с антиферромагнитным типом межслоевого упорядочения касательно намагниченных ферромагнитных слоев. Наличие в антиферромагнетике (АФМ) антисимметричного магнитоэлектрического взаимодействия приводит к тому, что в АФМ слоях возможно распространение спин-волновых возбуждений не только магнитного, но и электродипольного типа. В качестве примера МФК была рассмотрена одномерная магнитная сверхрешетка из чередующихся слоев антиферромагнетика со структурой [4, 5] и слоев немагнитного диэлектрика.

Был рассмотрен случай магнитно скомпенсированного основного состояния (OZ –легкая магнитная ось $L_0 \parallel OZ$, L_0 - равновесный вектор анти ферромагнетизма) и магнитно не скомпенсированного, формирующегося в присутствии постоянного внешнего магнитного поля ортогонального OZ (например $H_0 \parallel OX$). Исследовалась граница раздела двух полупространств где η – текущая координата вдоль нормали к границе раздела сред полагая, что нижнее полупространство занято отмеченным выше одномерным МФК.

Коллективный характер формирования рассматриваемой поверхностной волны с одновременным выполнением условия равенства нолю набега фазы для отраженной в условиях полного внутреннего отражения (ПВО) от поверхности МФК объемной волны с поляризацией TM - или TE –типа, позволяет назвать ее таммовской особой поверхностной волной с поляризацией TM - или TE -типа. При этом поток энергии, переносимый такой эванесцентной волной вдоль поверхности МФК, достигает максимальной величины. Качественно иные особенности, связанные с переносом энергии эванесцентными волнами, возникают в случае, когда они формируют в электромагнитном спектре МФК дополнительные разрешенные зоны [9]. Посредством метода эффективной среды исследованы особенности рефракции объемных электромагнитных волн p- и s-поляризации, падающих извне на поверхность рассматриваемого полуограниченного 1D МФК типа “легкоосный (ось OZ) антиферромагнетик - немагнитный диэлектрик” находящегося в магнитноскомпенсированной фазе и

в магнитнонескомпенсированной фазе В этом случае сохраняется структура при замене проницаемостей на их эффективные значения в мелкослоистой среде. Расчет показал, что в обеих отмеченных фазах на плоскости внешних параметров “частота – волновое число” возможно формирование зон фотонного туннелирования за счет гибридизации эванесцентных волн TE - или TM -типа в магнитной и немагнитной средах, образующих рассматриваемый мелкослоистый МФК. Для отмеченных сочетаний внешних параметров становятся возможными режимы как нормальной аномальной так и отрицательной оптической рефракции объемных магнитных поляритонов TE - или TM -типа. При этом для зон фотонного туннелирования все эти режимы реализуются исключительно за счет эффекта гибридизации эванесцентных волн TE - или TM – типа соответственно, распространяющихся в каждом их слоев рассматриваемого МФК. В магнитно нескомпенсированной фазе ($\vec{H}_0 \| OX$, $\vec{L}_0 \| OZ$) рассматриваемая эффективная среда по своим электродинамическим характеристикам становится не только невзаимной, но и бианизотропной. Это в свою очередь приводит к формированию целого ряда дополнительных аномалий в условиях отражения и распространения электромагнитной волны в одномерном МФК типа “нескомпенсированный АФМ со структурой немагнитный диэлектрик”. В частности, возможна реализация в условиях зоны фотонного туннелирования эффекта отрицательной фазовой скорости. Учитывая чувствительность импедансных характеристик магнитоупорядоченной среды (см., например, [4]), образующей рассматриваемый МФК, к постоянному внешнему магнитному и электрическому полю, выражения так же зависят от указанных внешних параметров. В результате как на перенос энергии эванесцентой волной, так и на условия формирования особой поверхностной волны, распространяющейся вдоль такого 1D МФК, можно целенаправленно влиять с помощью постоянных внешних электрического и магнитного полей.

1. Joannopoulos J.D., Meade R.D., Winn J.N. Photonic Crystal. – Singapore: Princenton Univ. Press, 2008. – 304 p.
2. Liang Wu, Sailing He, Linfang Shen. // Phys. Rev. B. – 2003. – V. 67. – P. 235103.
3. Bria D., Djafari-Rouhani B., Akjouj A. et al. // Phys. Rev. E. – 2004. – V. 69. – P. 066613.
4. Кулагин Д.В., Савченко А.С., Тарасенко А.С. и др. //ЖЭТФ. – 2012. – Т. 141, № 3. – С. 540.
5. Бучельников В.Д., Шавров В.Г. // ЖЭТФ. – 1996. – Т. 109, №2. – С. 706.
6. Бреховских Л.М. Волны в слоистых средах. – М.: Наука, 1973. – 343 с.
7. Кизель В.А. Отражение света. – М.: Наука, 1973. – 352 с.
8. Виноградов А.П., Дорофеенко А.В., Мерзликин А.М., Лисянский А.А. // УФН. – 2010. Т. 9. 180. № 3. – С. 249.
10. Басс Ф.Г., Булгаков А.А., Тетервов А.П. Высокочастотные свойства полупроводников со сверхрешетками. – М.: Наука, 1989. –288 с.

УДК 532.528

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИ-АКТИВНЫХ ДОБАВОК НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕЧЕНИЙ СО СВОБОДНЫМИ ГРАНИЦАМИ

Асланов П.В., Фоменко С.А.
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк
Aslanov.fnpme@gmail.com

Важной проблемой современного судостроения является снижение сопротивления трения морских объектов, позволяющие существенно повысить скорость их движения без увеличения мощности энергетической установки [1–3]. Наряду с изменением формы объектов в последнее время начинают широко использоваться различные способы воздействия на пограничный слой с целью снижения сопротивления трения. В их основе лежит управление пограничным слоем за счет вдува или отсоса жидкости из пристенной области, использование упругих покрытий, введение в пограничный слой добавок высокомолекулярных полимеров или мицеллообразующих поверхностно – активных веществ (МПАВ), а также создание газовых пленок (каверн) на поверхности движущихся в воде тел [4, 5].

Одним из наиболее эффективных и перспективных способов снижения сопротивления трения является вдув газа в пристенную область с созданием тонкой воздушной пленки на корпусе движущегося объекта. При этом достигается существенное снижение гидродинамического сопротивления. Однако практическая реализация этого способа связана с рядом трудностей. В первую очередь к ним относятся всплывание и низкая устойчивость каверн, необходимость создания больших запасов воздуха (газа) на борту для поддержания искусственной каверны.

Известно, что снижающие турбулентное трение добавки полимеров оказывают положительное влияние на начало и развитие пузырьковой кавитации при течении в трубах и при внешнем обтекании тел, существенно улучшая эффективность снижения сопротивления трения. Можно предположить, что такое влияние распространяется и на режим пленочной кавитации [6,7].

Нами были проведены эксперименты по влиянию добавок гидродинамически-активных полимеров и МПАВ на течения со свободными границами (каверны, струи) с немасштабными макетами в гидротрубе гравитационного типа в лаборатории гидродинамики больших скоростей Института гидромеханики НАН Украины. Сечение рабочего участка 340 × 340 мм. Скорость потока 8,9 м/сек. Стенки и дно лотка выполнены из стекла, что позволяло изучать геометрию пространственных каверн за кавитатором.

Каверна создавалась путем поддува воздуха в область разрежения за кавернообразующим насадком, установленном по оси потока с помощью ножа и державки.

На основании проведенных исследований было показано что введение снижающих турбулентное трение жидкостей добавок гидродинамически-активных полимеров и поверхностно – активных веществ в поток воды на границе с каверной увеличивает геометрические размеры каверны или уменьшает количество потребляемого газа на ее поддержание.

Добавки высокомолекулярных полимеров более эффективны для стабилизации каверны по сравнению с добавками ПАВ. Для достижения одинаковых эффектов по увеличению размеров каверны или уменьшению количества потребляемого для ее поддержания газа концентрация ПАВ (метаупона) должна быть на порядок больше концентрации полимера (полиэтиленоксида).

Полученные результаты имеют как теоретическое, так и прикладное значение.

1. Грейнер Л. Гидродинамика и энергетика подводных аппаратов.– Л.: «Судостроение». 1978. – 384 с.
2. Титов И.А., Егоров И.Т., Дробленков В.Ф. Ходкость быстроходных судов. – Л.: «Судостроение», 1979. – 256 с.
3. Басин А.М., Короткин А.И., Козлов Л.Ф. Управление пограничным слоем судна. – Л.: «Судостроение», 1968. – 491 с.
4. Пилипенко В.Н. Влияние добавок на пристенные турбулентные течения // В кн. : Итоги науки и техники. ВИНИТИ АН СССР. Сер.: Механика жидкости и газа. – 1980. – С.156-257.
5. Повх И.Л. Снижение сопротивления трения – основной источник экономии энергии // Изв.высш.учебн.заведений СССР. Энергетика. – 1984. – №5. – С. 59-68.
6. Эллис Усиление и подавление кавитационных эффектов в высокоскоростных потоках воды с растворенными макромолекулярными присадками. – «Мир», 1970. – №3. – С. 56.
7. Хойт Дж. Влияние полимерных добавок на кавитацию в струе жидкости // Теоретические основы инженерных расчетов. – 1976. – №2. – С. 342.

УДК 536.421.4

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ И ТЕПЛОМАССОБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В АГРЕГАТЕ ПЕЧЬ-КОВШ

Белоусов В.В., Бондаренко В.И., Недопекин Ф.В., Бодряга В.В.
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк
v.v.bilousov@gmail.com

В современной металлургии технология ковш-печь наиболее рационально обеспечивает возможность гибкого управления процессом формирования физико-химического состояния расплава для достижения поставленной цели: получения высококачественной стали с заданным химическим составом и свойствами.

Агрегат ковш-печь позволяет осуществлять следующие операции:

- снижение содержания серы в стали до необходимого уровня;
- производить сталь с содержанием легирующих элементов в заданных узких пределах;
- осуществлять отдачу металла на разливку в заданном интервале температур;
- обрабатывать сталь активными элементами (кальций, титан, бор и др.) с максимальным и стабильным усвоением;
- усреднять металл в ковше по температуре и химическому составу;
- изменять за счет микролегирования морфологию и количество неметаллических включений;
- в случае работы с машиной непрерывного литья заготовки (МНЛЗ) агрегат ковш-печь является буферной емкостью, позволяющей, при серийной разливке стали, подавать металл строго в необходимое время;
- в случае выпуска металла с превышением химического состава по вредным примесям за счет разбавления чистым металлом другой плавки исключить брак по химическому составу.

Агрегаты ковш-печь находятся в стадии непрерывного развития, что связано не только с появлением новых устройств, таких как трайбаппараты, устройства для порошковой продувки и др., но и с непрерывным расширением ассортимента марок стали, обрабатываемой в АКП. Это приводит к необходимости непрерывного совершенствования технологии обработки расплава стали и интеграции новых технологических приемов в существующие системы управления технологическим процессом. Одной из проблем при работе АКП является взаимосвязь между подводом тепла и интенсивностью перемешивания расплава. Несогласованность этих двух процессов может привести к существенным потерям тепла и даже в аварийной ситуации - прогара стенки ковша. Поэтому важное значение для обеспечения потребностей рынка имеет выбор рациональных режимов, приведут к существенному снижению энергозатрат. Определение этих режимов возможно лишь на основании математического моделирования, которое позволяет исследовать взаимообусловлены гидродинамические и теплофизические процессы и процессы барботажа.

В силу сложности рассматриваемых процессов наиболее перспективны для их описания математические модели смешанного типа. Для построения таких моделей экспериментальные данные целесообразно привлекать лишь по тем звеньям и характеристикам процессов продувки жидкого металла инертным газом, теоретический расчет которых затруднителен. Однако большинство экспериментов в металлургии провести невозможно из-за высокой температуры и агрессивности металла, поэтому предпочтение отдается математическому моделированию.

Авторы предлагают для учета газозахвата воздуха при разливке стали сверху использовать односкоростную математическую модель. В нашем случае вместо воздуха можно использовать инжектируемый в металл газ.

Математическая модель для этих сложных взаимообусловленных процессов описывается уравнением движения, неразрывности, переноса тепла, массы, газовой фазы, турбулентной кинетической энергии и скорости ее диссипации, а также уравнением для твердой фазы [1]

$$\frac{\partial \vec{V}}{\partial t} + \left(\vec{V}\nabla\right)\vec{V} = \nabla \nu_{\acute{y}} \nabla \vec{V} + \vec{g}\beta_T (T - T_0) + \vec{g}\beta_D (C - C_0) + f_V + \frac{3}{8}\frac{\beta\xi(V_{\tilde{a}z} - V_{\grave{i}\,z})^2}{R_0} - \frac{1}{\rho}\nabla p\,; \quad (1)$$

$$\rho c\left[\frac{\partial T}{\partial t} + \left(\vec{V}\nabla\right)T\right] = \nabla \lambda_{\acute{y}} \nabla T\,; \quad (2)$$

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \left(\vec{V}\nabla\right)C = \nabla D_{\acute{y}} \nabla C\,; \quad (3)$$

$$\nabla \vec{V} = 0\,; \quad (4)$$

$$\frac{\partial \beta}{\partial t} + \bar{V}_{\tilde{a}} \cdot grad\beta = f_\beta\,; \quad (5)$$

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \left(\vec{V}\nabla\right)k = \nabla \nu_{\acute{y}} \nabla k + G - \vec{g}\beta_T (T - T_0) - \vec{g}\beta_T (C - C_0) - \varepsilon\,; \quad (6)$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \left(\vec{V}\nabla\right)\varepsilon = \nabla \nu_{\acute{y}} \nabla \varepsilon + C_1 \nu G - \frac{\varepsilon}{k}\frac{\nu_t}{\sigma_t}\vec{g}\beta_T (T - T_0) - \varepsilon^2 / k\,; \quad (7)$$

$$\xi(y) = 1 - \left(1 + \frac{\tilde{n}}{W}(T_l - T_s)\right)\left[1 - \left(\frac{T_l - T}{T_l - T_s}\right)^{2/3}\right] + \frac{\tilde{n}}{W}(T_l - T_s); \quad (8)$$

где $\vec{V}$ – скорость расплава, $\nu = \nu_t + \nu$ – эффективная, ν – кинематическая, $\nu_t = k^2/\varepsilon$ – турбулентная вязкости; β_T , β_D – тепловой и диффузионный коэффициенты объемного расширения; C – концентрация примеси (углерода), $C_Г$ – концентрация газовой фазы: $\lambda_э = \lambda + \lambda_t$ – эффективная, λ молекулярная и $\lambda_t = \nu_t / 0{,}9$ – турбулентная теплопроводности; G – диссипативный член; T_0, T_L – температуры начальная и ликвидус; k – турбулентная энергия, ε – скорость диссипации турбулентной энергии, β – содержание газовой фазы.

Такая модель позволяет учитывать разность скоростей жидкой и газовой фаз, и предполагает использование стационарной формы, размеров и скорости газовых пузырей, что вполне допустимо в ковшевой металлургии.

1. Недопьокін Ф.В. Твердіння металів і металевих композицій / Недопьокін Ф.В., Кондратенко В.М., Білоусов В.В. і др – Підручник для ВНЗ під грифом МОН України. Видання друге, доопрацьоване. – Київ: Наукова думка НАН України, 2009. – 448 с.
2. The Mathematical Model of Hydrodynamics and Heat and Mass Transfer at Formation of Steel Ingots and Castngs / V. I. Bondarenko, V. V. Bilousov , F. V. Nedopekin, J. I. Shalapko // Archives of Foundry Engineering. – 2015. – Vol. 15, Iss. 1. – P. 13-16.

УДК: 536.421.4+548.527

ОБУЧАЮЩАЯ СИСТЕМА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ И ТЕПЛОМАССООБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В МЕТАЛЛУРГИИ

Бондаренко В.И., Бодряга В.В., Недопекин Ф.В., Белоусов В.В.
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк
vitalii.bondarenko@donnu.ru

Процесс информатизации учебных заведений открывает путь электронным учебникам и обучающим системам. Разработанная авторами электронная обучающая система включает в себя теоретическую часть и лабораторные работы.

Подробное изложение математических моделей для различных видов гидродинамических и теплообменных процессов доступно в теоретической части электронного учебника. При этом учтены особенности восприятия текста с экрана электронного устройства (рис. 1).

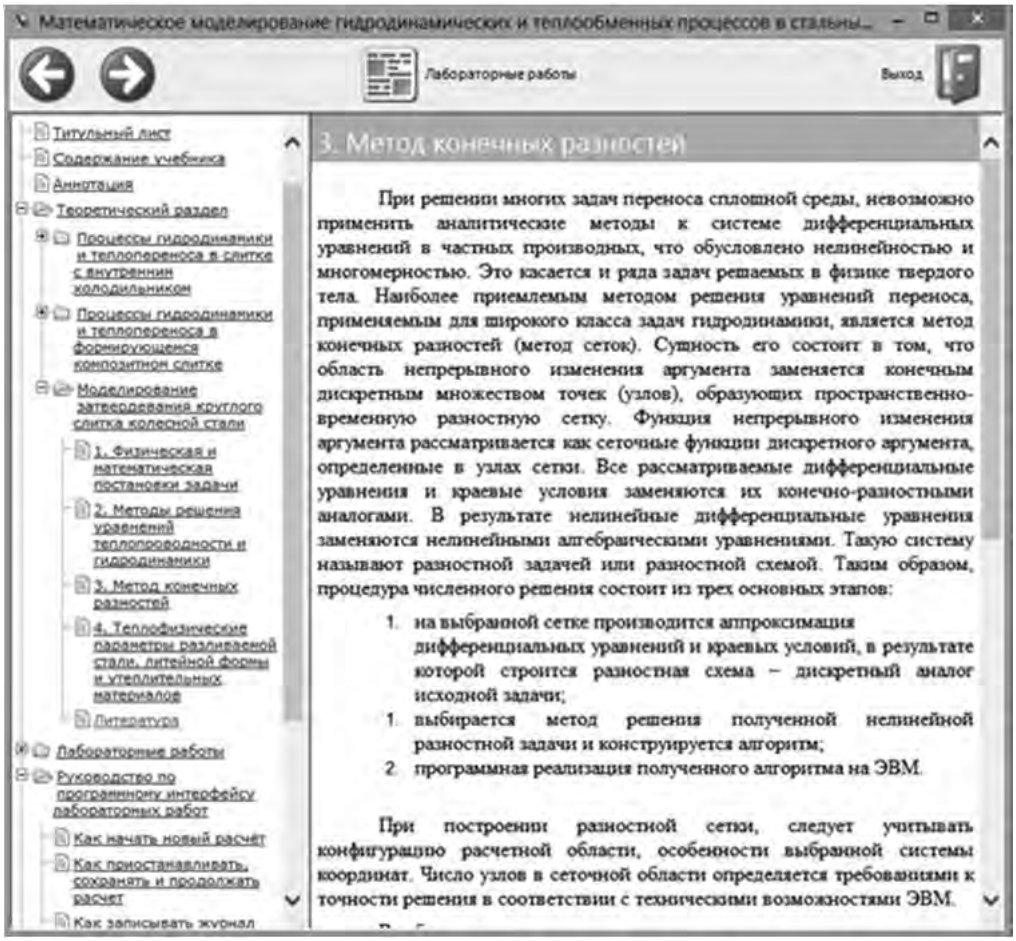


Рис. 1. Экран электронного учебника

Существенную часть обучающей системы составляют лабораторные работы. Запуск лабораторных работ осуществляется с помощью отдельной программы-оболочки.

Данная оболочка является легко расширяемой и позволяет редактировать список лабораторных работ, добавлять работы или удалять.
В обучающей системе для моделирования гидродинамических и тепломассообменных процессов в металлургии, основанной на результатах работы[1], предложены теоретические основы и лабораторные работы по расчету гидродинамических и теплофизических процессов в:
1. биметаллическом слитке;
2. слитке с внутренним холодильником;
3. круглом стальном слитке колесной стали.

Выбор этих трех технологий объясняется взаимообусловленным влиянием гидродинамики на теплофизику формирования слитка.

В основу математического моделирования указанных процессов положена следующая обобщенная модель.

Процессы, происходящие в расплаве и в стенках изложницы, описываются системой уравнений в цилиндрических координатах и краевыми условиями:
- уравнение Навье – Стокса[2]:

$$\frac{\partial \vec{V}}{\partial t} + \left(\vec{V}\nabla\right)\vec{V} = -\frac{1}{\rho}\nabla P + \nabla \nu \nabla \vec{V} + \vec{g}\beta(T - T^0); \qquad (1)$$

- уравнение теплопереноса

$$\tilde{N}_p \rho \left[\frac{\partial T}{\partial t} + \left(\vec{V}\nabla\right)T\right] = \nabla \lambda \nabla T; \qquad (2)$$

- уравнение неразрывности

$$\frac{\partial\left(rV_r\right)}{\partial r} + \frac{\partial\left(rV_z\right)}{\partial z} = 0; \qquad (3)$$

где: $\vec{V}$ – вектор скорости, м/с; t – размерное время, с; ρ – плотность, кг/м3; P – давление, н/м2; ν – кинематический коэффициент вязкости, м2/с; $\vec{g}$ – ускорение свободного падения, м/с2; β – коэффициент объемного расширения 1/К; r, z – текущие координаты, м; $\tilde{N}_p$ – коэффициент удельной теплоемкости при постоянном давлении, Дж/кг К; λ – коэффициент теплопроводности Вт/мК; T^0 – начальная температура, К.

Модель основана на конечно-разностной аппроксимации нелинейных уравнений в частных производных переноса импульса, энергии, неразрывности и условий однозначности.

Лабораторные работы представляют собой прикладные расчетные программы, созданные с помощью разработанной авторами информационной технологии[4].

В процессе моделирования студент должен задавать теплофизические параметры расплава, охлаждающего стержня, стенок изложницы и прибыли, а также параметры струи: скорость поступления, начальную температуру расплава и др. (рис. 2). В ходе расчета студент получает распределение линий тока, изотермы, эпюры компонент скорости, температуры и доли твердой фазы (рис. 3).

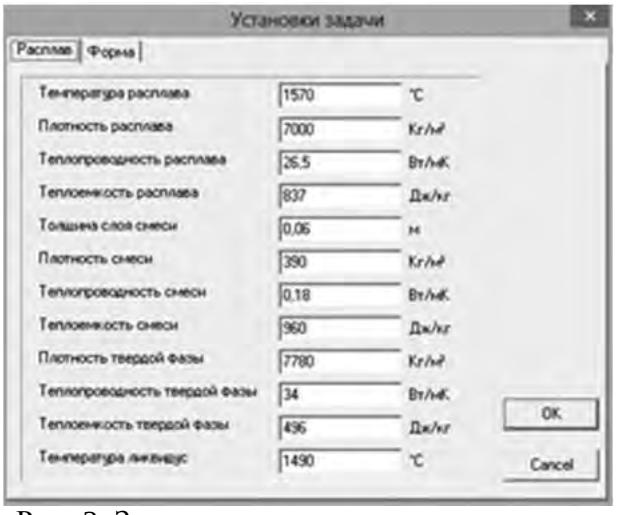


Рис. 2. Задание начальных параметров для выполнения лабораторной работы на примере моделирования затвердевания слитка с внутренним холодильником

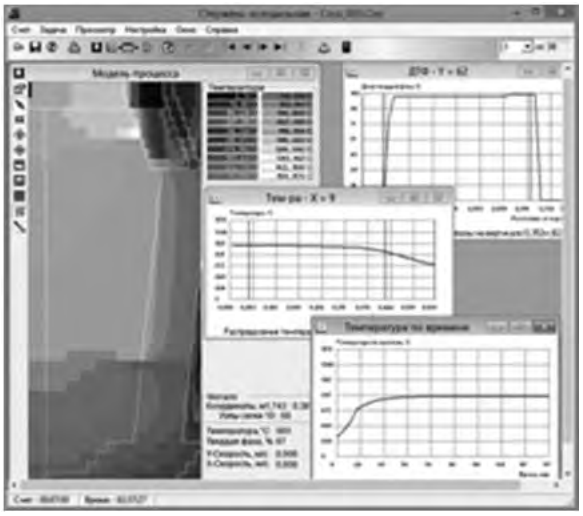


Рис. 3. Выходной поток данных в ходе выполнения лабораторной работы на примере моделирования затвердевания слитка с внутренним холодильником

Обучающая система для моделирования гидродинамических и тепломассообменных процессов в металлургии внедрена в учебном процессе на кафедре неравновесных процессов, метрологии и экологии им. И.Л.Повха физико-технического факультета.

1. Затвердевание металлов и металлических композиций / Недопекин Ф.В., Белоусов В.В., Кондратенко В.М., и др.– Киев. Наукова думка, Киев, 2009. – 412 с.
2. Недопекин Ф.В. Математическое моделирование гидродинамики и тепломассопереноса в слитках. – Ижевск: изд. Удмуртского университета, 1995. – 236 с.
3. Огурцов А.П., Недопекин Ф.В., Белоусов В.В. Процессы формирования стального слитка: математическое моделирование заполнения и затвердевания. – Днепродзержинск: ДГТУ, 1994. – 180 с.
4. Программная система для моделирования задач тепломассопереноса / Бондаренко В.И. // Вестник Донецкого университета. Сер. А. Естеств. науки. – 2009. – №2. – С. 103-111.

УДК 517.946

ЗАДАЧА СТЕФАНА

Бородин М. А.

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк

michaelborodin2@gmail.com

В этой работе мы доказываем существование глобального классического решения в многомерной двухфазной задаче Стефана. Задача Стефана в классической постановке представляет собой математическую модель процесса распространения тепла в среде, находящейся в различных фазовых состояниях, например, жидком и твердом. В результате плавления или кристаллизации области, занятые жидкой и твердой фазами, будут изменяться. Поэтому будет изменяться поверхность, разделяющая эти фазы.

Эта неизвестная поверхность называется свободной границей. Процесс распространения тепла в каждой из фаз описывается уравнением теплопроводности. Пусть D – ограниченная область в R^3, граница которой состоит из двух $C^{2+\alpha}$ поверхностей ∂D_1 и ∂D_2 таких, что ∂D_1 лежит внутри ∂D_2. Пусть среда, находящаяся в двух фазовых состояниях, заполняет область D, u(x, t) – температура среды. Температура кристаллизации, то есть температура перехода из жидкого состояния в твердое, равна единице. Требуется найти функцию u(x, t) в области $D_T = D \times (0,T)$, где T > 0, удовлетворяющую следующим условиям

$$\Delta u - a(u)\frac{\partial u}{\partial t} = 0 \quad \text{в} \quad \Omega_T \cup G_T,$$

$$\Omega_T = \{(x,t) \in D_T : 0 < u(x,t) < 1\}, \quad G_T = \{(x,t) \in D_T : u(x,t) > 1\},$$

где $a(u)$ – кусочно-постоянная функция, равная a_1 в Ω_T и a_2 в G_T .

На известной границе области DT заданы условия $u(x,t) = 0$ на $\partial D_1 \times [0,T)$, $u(x,t) = \varphi(x,t) > 1$ на $\partial D_2 \times [0,T)$.

На свободной (неизвестной) поверхности $\gamma_T = \partial\Omega_T \cap D_T = \partial G_T \cap D_T$законы сохранения массы и энергии приводят к двум условиям: условию равенства температуры u(x, t) температуре плавления и условию Стефана, которое учитывает выделение тепла за счет скрытой теплоты плавления

$$u^+(x,t) = u^-(x,t) = 1, \qquad \sum_{i=1}^{3}\left(\frac{\partial u^-}{\partial x_i} - \frac{\partial u^+}{\partial x_i}\right)\cos(n,x_i) + \lambda\cos(n,t) = 0,$$

где $u^+(x,t), u^-(x,t)$ обозначают граничные значения функции u(x, t) на γ_T, взятые соответственно со стороны областей Ω_T, G_T, n – нормаль к поверхности γ_T, направленная в сторону возрастания функции u(x, t), λ – коэффициент скрытой теплоты плавления.

Начальные условия

$$u(x,0) = \psi(x) \quad \text{в} \quad D,$$

$$\psi(x) = 0 \quad \text{на} \quad \partial D_1, \quad \psi(x) = \varphi(x,0) \quad \text{на} \, \partial D_2,$$

$$\Omega_0 = \{x \in D : 0 < \psi(x) < 1\}, \qquad G_0 = \{x \in D : \psi(x) > 1\}, \; \gamma_0 = \partial\Omega_0 \cap D.$$

Задача сводится к квазилинейному параболическому уравнению с разрывными коэффициентами в фиксированной области. Затем при помощи малого параметра ε сглаживаются коэффициенты и исследуется полученное приближенное решение. Создан аналитический аппарат, позволяющий получить равномерные оценки приближенного решения на сечениях t = const. После этого, учитывая равномерные оценки, совершен предельный переход при ε → 0. Предел приближенного решения является классическим решением задачи Стефана. Наш главный результат состоит в следующей теореме

Теорема. Пусть D – ограниченная область в R^3, граница которой состоит из двух $C^{2+\alpha}$ поверхностей ∂D_1 и ∂D_2 таких, что ∂D_1 лежит внутри ∂D_2, $D_T = D \times (0,T)$,

$$\psi(x) \in C^{2+\alpha}, \varphi(x,t) \in H^{2+\alpha, 1+\alpha/2}(\overline{D_T}), \min|\nabla\psi(x)| > 0,$$

выполнены соответствующие условия согласования при $t = 0, x \in \partial D$. Тогда существует единственное решение задачи, причем свободная (неизвестная) поверхность принадлежит классу $H^{2+\alpha, 1+\alpha/2}$ [1].

1. Borodin M.A. The Stefan problem // Journal of Mathematical Sciences. – 2011. – Vol. 178, No. 1. – P. 13-40.

УДК 621.548

ЗАЩИТА ЛОПАСТЕЙ ТУРБИНЫ ВЕТРЯНОЙ УСТАНОВКИ ПРИ НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЯХ

Гюльмагомедов К.С., Казибеков Р.Б.
ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный технический университет», г. Махачкала, Россия
kaziakhmed@mail.ru, kazib.rus11@mail.ru

В последнее время возобновляемые источники энергии привлекают к себе большое внимание, они являются одним из главных решений проблемы энергетики в России. Наша страна имеет колоссальные ресурсы в области возобновляемой энергетики, по экспертным оценкам, потенциал ресурсов возобновляемой энергетики оценивается величиной свыше 1,5 трлн. кВт/ч. Значительный потенциал для дальнейшего развития в России имеют ветряные электростанции.

В число основных проблем в области ветряной электроэнергетики является обеспечение тепловой защиты лопастей ветряных установок, особенно в условиях мороза, гололеда и других тяжелых погодных условиях [1].

Образование гололеда на лопастях ветряных установок очень опасны, как для природы вокруг нас, так и значительными потерями электрической энергии. Необходимо найти средства и методы противостоять этой проблеме. В районах, относящихся к суровым погодным условиям, энергетики сталкиваются с трудностями – возникновением гололеда на лопастях колеса ветряной установки. В любой момент, образовавшийся лед, может сорваться с установки и улететь вниз на большое расстояние, это, рано или поздно, приведет к пагубным последствиям для рабочего персонала. При возникновении льда на ветряных установках, ее показатели изменяются в худшую сторону, приводящую к падению производительности всей электроустановки. Уменьшается вырабатываемая энергия, из-за увеличения силы тяги и увеличения силы подъема, которые аналогично увеличиваются из-за возникновения льда на рабочих лопастях ветряной установки. Большое количество льда, образовавшегося на ветряной установке, приводит к большим потерям [2].

Расход энергии приведен в табл. 1.

Таблица 1

Величины потери энергии лопастях ветряной установки

Частота покрытия льдом [дней в году]	Потери энергии за 1 год
Меньше 1	Незначительные
От 1 до 10	Малые
От 10 до 30	От 5 до 15%
От 30 до 60	От 15 до 25%
Свыше 60	Свыше 25%

Решение таких проблем в мире происходят по различным способам, которые применяются учеными в области возобновляемой энергетики и воздушных и летательных устройств.

В воздушных и летательных средствах для уменьшения вероятности льда используются традиционные методы. К ним относят такие методы как: с применением спирта, электрический и т.д.

При электрической защите крыла по всей длине ее передней части устанавливается противообледенители электрического и теплового действия, работающие за счет электрообогревательных элементов.

Эти электрообогревательные элементы это пластины небольшого сечения, состоящие из сплава, стойкой к коррозии. Они проложены между стеклотканью и закреплены к лентам.

Защита с применением спирта обычно устанавливается на крыле электрической установки со стеклянным и с пластиковым основным элементом каркаса крыла, состоящей из распределительной камеры и двух трубок. С помощью этих двух трубок спирт доставляется до кончика лопасти. Спирт доходит до носовой части лопасти через отверстия.

Другим шагом продвижения устройств с тепловой защитой ветряных установок стала конструкция, в которой на рабочие части лопастей электроустановки прикладывалось покрытие, состоящее из резины. Этот способ защиты лопастей тоже оказался не эффективным. Его недостатком оказалось то, что при длительной эксплуатации установка выходила из строя из-за выделения масла, что в свою очередь приводила к уменьшению эффективности действия защиты [3].

Многие эти методы в общем применимы для защиты рабочих частей лопастей. Однако мы должны рассматривать пользу этих способов для ветряных установок, которые, в отличие от летательных и воздушных аппаратов, работают в стационарном режиме, и которые нуждаются в защите на протяжении всего времени работы. Характер воздушного потока для ветряных установок отличается от потока для летательных аппаратов. Также самолеты и вертолеты находятся под постоянным наблюдением диспетчеров, тогда как ветряные электростанции находятся далеко от населения, и за ними не осуществляется контроль.

Необходимо построить устройство, подходящее под реальные масштабы ветряной установки, с тепловой защитой лопастей и защитой от

заносов снегом. Это устройство предлагается построить на основе естественного отвода тепла от движущихся частей ветряной установки, которая возникает с появлением центробежных сил.

Установленная мощность ветряной электростанции возрастет при увеличении скорости ветра при метели и непогоде. При этом часть первичной энергии уйдет для потребителей, а остаток пойдет на плавку льда.

Схема защиты лопастей ветряной установки показана на рис. 1. Под воздействием силы, воздух (2) перейдет к лопастям (3) турбины, это приводит к подкачке воздуха к каналу (1). При этом возникает естественная вентиляция воздушного потока ветряной установки при ее движении.

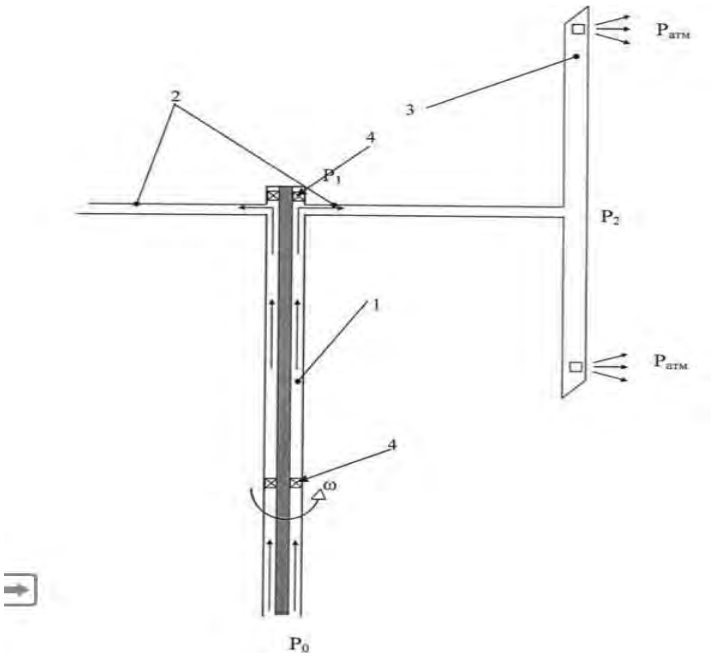


Рис. 1. Схема тепловой защиты лопастей ветряной установки

1. Тепловая защита / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/тепловая защита (дата обращения: 15.03.2016).
2. Федеральный институт интеллектуальной собственности / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www1.fips.ru/wps/portal/IPS_Ru (дата обращения: 15.03.2016).
3. Методы борьбы с обледенением винтов / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://aviaciaportal.ru/metody-borby-s-obledeneniem-vintov/ (дата обращения: 15.03.2016).

УДК 628.16

УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ БЫТОВЫХ СТОЧНЫХ ВОД

Лучина А.Ю., Недопекин Ф.В., Семко А.Н.
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк
anastasiia.luchyna@gmail.com

Ситуация с природными запасами воды в республике очень сложная, а очищаемые сточные воды недостаточно соответствуют показателям качества и санитарно-гигиеническим нормам [1]. Отечественные канализационные очистные сооружения значительно износились и устарели, на данный момент они являются технологически несовершенными и не обеспечивают выполнение требований, предъявляемых к качеству очистки бытовых сточных вод.

Поэтому возникает необходимость развития технологий и эффективных сооружений для очистки сточных вод от органических веществ и соединений азота биологическим методом, а так же создания методики расчета сооружений биологической очистки, учитывающей качественные и количественные характеристики поверхностного стока.

Для успешного решения задач, связанных с прогнозированием, оперативным управлением и контролем над качеством процесса водоочистки, необходимо комплексное описание гидродинамических, гидрохимических и гидробиологических процессов [2].

Комплексная оптимизация систем водоотведения предполагает определение рационального потокоотведения, размещения аэрационных устройств в очистных сооружениях и определение рациональной степени очистки сточных вод с учетом гидрологических характеристик приемника сточных вод [3].

Основная трудность процесса биологической очистки бытовых сточных вод заключается в том, что удовлетворительную работу очистных сооружений необходимо обеспечить в постоянно изменяющихся условиях их эксплуатации (изменение состава, объема сточных вод, возникающие неполадки в оборудовании и т.д.).

Для удаления из поверхностных сточных вод органических загрязнений и соединений азота в технологической схеме их очистки нередко применяют биологические сооружения. Основным таким сооружением, хорошо зарекомендовавшим себя стабильной работой с высокой степенью очистки, является аэротенк. Сточная вода в аэротенке очищается активным илом, который представляет собой сложный биоценоз различных организмов. Тип аэротенка, технологический режим работы, химический состав поступающей сточной воды оказывают большое влияние на формирование биоценоза аэротенка. Необходимо отметить, что гидродинамика аэротенка также влияет на формирование поля распределения активного ила, а концентрация активного ила в различных областях аэрационных сооружений и доставка кислорода к хлопкам ила определяют окислительную способность всего объема аэротенка [4].

Для исследования были изучены технологические схемы работы на очистных сооружениях в пгт. Новый Свет (Украина) и в г. Тимашевск (РФ) общей производительностью 6 тыс. $м^3$/сутки и 8 тыс. $м^3$/сутки соответственно [5].

Для определения соотношений циркуляционных потоков в системе аэрационная колонна – аэротенк предлагается математическая модель, позволяющая определить поле скоростей в зависимости от геометрических параметров и глубины расположения циркуляционной колонны в объеме сооружения.

Для этого рассматривается цилиндрическая область, соответствующая геометрическим параметрам внешнего объема, заполненного водой. В этот объем устанавливается колонна цилиндрической формы, жидкость в которой отделена от жидкости в объеме боковыми гранями. В верхней части колонны располагается диспергатор воздушных масс. Задача реализована на ЭВМ в пакете прикладных программ ANSYS Fluent 15.0

Гидродинамические процессы в системе аэротенк – аэрационная колонна описываются уравнениями Навье-Стокса и неразрывности, а также уравнениями k-ε-модели турбулентности (для транспорта кинетической энергии турбулентности и диссипации турбулентности) [4]:

$$\rho\left(\vec{u}\cdot\nabla\right)\vec{u}=\nabla\left[-p\vec{I}+\left(\eta+\eta_T\right)\left(\nabla\vec{u}+\left(\nabla\vec{u}\right)^T\right)\right];$$

$$\nabla\vec{u}=0;$$

$$\frac{\partial}{\partial t}\left(pk\right)+\frac{\partial}{\partial x_i}\left(pku_i\right)=\frac{\partial}{\partial x_j}\left[\left(\mu+\frac{\mu_t}{\sigma_k}\right)\frac{\partial k}{\partial x_j}\right]+G_k+G_b+p\varepsilon-Y_M+S_k;$$

$$\frac{\partial}{\partial t}\left(p\varepsilon\right)+\frac{\partial}{\partial x_i}\left(p\varepsilon u_i\right)=\frac{\partial}{\partial x_j}\left[\left(\mu+\frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon}\right)\frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j}\right]+C_{1\varepsilon}\frac{\varepsilon}{k}\left(G_k+C_{3\varepsilon}G_b\right)-C_{2\varepsilon}\rho\frac{\varepsilon^2}{k}+S_\varepsilon.$$

Система уравнений дополняется начальными и граничными условиями в виде условий непроницаемости и прилипания.

При решении задачи предполагается: процесс стационарный; жидкость считается изотермической и несжимаемой; физические характеристики считаются однородными и изотропными; деформацией свободной поверхности можно пренебречь; процессы в установке считаются симметричными относительно оси; химические реакции не учитываются.

Математическое и компьютерное моделирование гидродинамических потоков жидкости позволило визуально представить распределение циркуляционных токов воды вне аэрационной колонны и определить зоны высокой скорости потока (зоны турбулизации потока), зоны смешивания и стабилизации.

Полученное поле распределения скоростей (рис. 1) характеризуется неравномерным распределением ила по объему аэротенка. Уменьшение скорости циркуляции жидкости в центре кольца способствует коагуляции активного ила с образованием крупных хлопьев, которые дробятся в потоках воды, имеющих большую скорость.

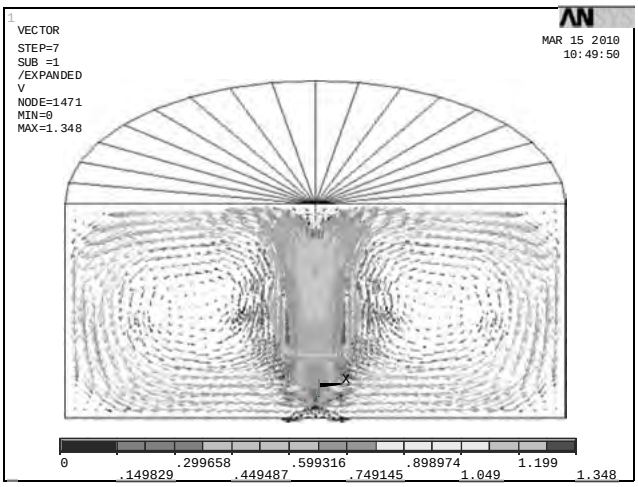


Рис. 1. Векторное поле скоростей в системе аэрационная колонна – аэротенк, полученное в пакете программ ANSYS Fluent 15.0

Таким образом, с помощью предложенной математической модели можно с большой достоверностью проектировать габаритные размеры аэротенка с циркуляционной колонной, обеспечивающие стабильное протекание биохимических процессов с различным активным илом при различной интенсивности аэрации в циркуляционной колонне и возникающей турбулентности потоков за колонной. Результаты моделирования показали, что существующие скорости потоков достаточны для того, чтобы частицы находились во взвешенном состоянии и были распределены равномерно по всему объему жидкости.

1. СанПиН 4630–88. Правила охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами: Утв. Гос. комитетом СССР по охране природы 22.03.1991. – М. 1974. – 12 с.
2. Понкратова С. А., Емельянов В. М., Сироткин А. С., Шулаев М. В. Математическое моделирование и управление качеством очистки сточных вод // Вестник Казанского технологического университета. – 2010. – Вып. 6. – С. 76-85.
3. Бурханов А. И., Потоловский Р. В., Акимов О. Ю., Романов В. А. Комплексная оптимизация и управление системами водоотведения // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. 2012. Вып. 1(20). URL: http://vestnik.vgasu .ru/attachments/BurkhanovPotolovskyAkimovRomanov-2012_1_20_.pdf
4. Bezkrovna M., Kazak O., Luchyna A. Recommendation of sewage treatment facilities and improvement of their efficiency // Interdisciplinary Integration of Science in Technology, Education and Economy. Monograph: edited by Shalapko J. and Zołtowski B. – Poland, 2013. – P. 122-127.
5. Берёза Г. Н., Бескровная М. В., Лучина А. Ю. Модернизация существующих очистных сооружений с целью повышения эффективности биологической очистки // Комунальне господарство міст. – 2014. – №. 114. – С. 88-93.

УДК 532.5

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПАДА СТРУЙ, ФОРМИРУЕМЫХ ФОРСУНКАМИ В ДВС С ИСКРОВЫМ ЗАЖИГАНИЕМ

Масленников Д.А.
ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк
maslennikov_donntu@mail.ru

Концепция формирования рабочей смеси в двигателях с искровым зажиганием и системой непосредственного впрыска очень сильно зависит от качества распыления топлива. Чем меньше диаметр капли, тем быстрее она испаряется. В то же время, необходимо обеспечить достаточное количество топлива в камере сгорания, смешивание топлива со свежим зарядом воздуха и испарение топлива, эти процессы оказывают решающее влияние на горение рабочей смеси в бензиновых двигателях. На практике процесс распыления топлива оказывает существенное влияние на протекание процесса сгорания что в последствии влияет на состав выхлопных газов.

Силы аэродинамического сопротивления препятствуют движению струи, и под воздействием их струя разбивается на отдельные капли. При увеличении

скорости истечения и плотности среды, куда происходит истечение, аэродинамические силы возрастают. Чем больше эти силы, тем раньше струя теряет свою форму, распадаясь на отдельные капли. Силы поверхностного натяжения и силы сцепления топлива, наоборот, своим действием стремятся сохранить форму струи, т. е. удлинить сплошную часть струи.

Начальные возмущения струи возникают вследствие: турбулентного движения топлива внутри сопла форсунки, влияния кромок соплового отверстия, шероховатости стенок его, сжимаемости топлива и пр. Начальные возмущения ускоряют распад струи.

Процесс распада топливной струи на капли начинается в соплах форсунки [1, 2] или непосредственно после истечения из них [3]. Впрыск и распыление топлива можно разделить на две различные зоны. Зона, в которой струя топлива находится в двух фазах жидкая фаза и фаза начального распада на капли, обозначается как зона первичного распада топливной струи. Во второй зоне (в отдалении от отверстия форсунки) осуществляется распад крупных капель на более мелкие, струя топлива разделяется на капли. Отдельные зоны показаны на рис. 1.

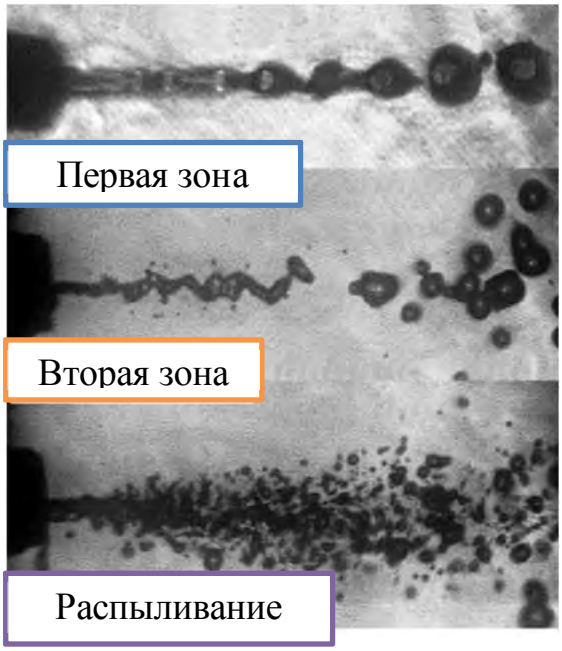


Рис. 1. Зоны распада струи топлива

Во время первичного распада вблизи отверстия форсунки, внутреннее (ядро) струи топлива распадается на крупные капли и группы капель [4]. В этой зоне, большое количество топлива, находится в жидкой фазе. Во второй зоне, происходит интенсивное испарение топлива и под воздействием действующих силы аэродинамического сопротивления струя разбивается на отдельные капли, происходит вторичный распада топливной струи и капель большого диаметра [5]. Кроме того, температура окружающего воздуха вызывает ускорение процесса испарения топлива. На распад струи главным образом влияет скорость истечения топлива и плотность среды, куда происходит истечение; в меньшей степени влияет турбулентность струи топлива.

Распад и дробление струи на капли является сложным процессом в котором решающую роль играют силы: инерции, вязкости и поверхностного натяжения. Соотношение этих сил могут быть выражены с помощью двух безразмерных величин, характеризующих процесс распада струи жидкого топлива на капли

В зависимости от значения величины Re и We принято выделять четыре режима распада струи топлива рис. 2.

Первый режим (распада Релея) выражен капиллярным распадом струи топлива (область I). Слабое аэродинамическое воздействие газа на струю

топлива наблюдается при втором режиме распада струи (область II). Струя распадается вследствие быстрого развития односторонних волнообразных колебаний. Третий режим характеризуется сильным аэродинамическим воздействием газа на струю топлива, что приводит к уменьшению размера капель (область III). Распыливание топлива наблюдается при большой скорости струи, при больших разницах давления впрыска и противодавления, когда величина Re и We принимают высокие значения (область IV) – струя распадается уже на выходе из отверстий форсунки, и при этом образуются капли значительно меньше, чем диаметр сопла (рис. 2).

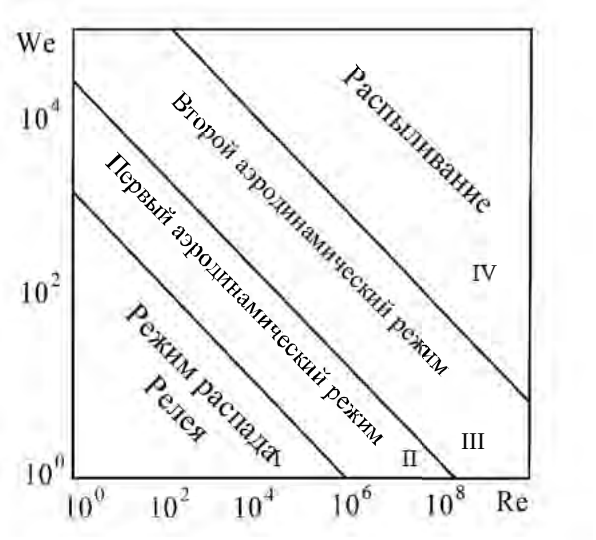


Рис. 2. Режимы распада струи топлива

Помимо вторичного распада капель топлива, наблюдается соударение их в струе что также имеет значительное влияние на процесс смесеобразования в цилиндре двигателя. Изменение диаметра капли влияет на число Вебера, также могут меняться механизмы столкновения. Столкновение капель топлива приводит к коагуляции или коалесценции при значении числа Вебера выше критического (We = от 10 до 12 для бензина).

Увеличение диаметра капель увеличивает число Вебера. В зависимости от диаметра, более крупные капли могут снова распадаться на более мелкие или распадаются взрываясь [5]. Таким образом, решение этого вопроса теоретическим путем встречает огромные трудности при описании этого процесса и вычислении размера капель в потоке топлива, так как они могут изменятся во время этого процесса.

Представленная в данной статье физическая картина распада струи позволяют определить пути целенаправленного воздействия на процесс распыливания топлива, обеспечивающего высокое качество смесеобразования и сгорания в двигателях с искровым зажиганием и системой непосредственного впрыска. Тем самым воздействовать на энергетические и экологические показатели ДВС.

1. Arcoumanis C.: Gavaises M.; French B.: Effect of Fuel Injection Process on the Structure of Diesel Sprays. SAE Technical Paper 970799, 1997.
2. Bayvel L.; Orzechowski Z.: Liquid Atomization. Taylor & Fransis, 1993.
3. Lohfink C., Baecker H., Tichy M.: Experimental Investigation on Catalyst-Heating Strategies and Potential of GDI Combustion Systems. SAE Technical Paper 2008-01-2517, 2008.
4. Maslennikov D.: Badawcza identyfikacja właściwości systemu spalania z bezpośrednim wtryskiem paliwa i zapłonem iskrowym. 149 s. Rozprawa doktorska. Politechnika Poznańska, 2012 DrOIN 1457.
5. Ohnesorge, W.: Formation of drops by nozzles and the breakup of liquid jets. W: Zeitschrift für Angewandte Mathematik und Mechanik, Band 16, 1996.

УДК 53.088

ОПТИМИЗАЦИЯ СУЖАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ФУНКЦИИ ХЭВИСАЙДА В РАБОЧЕЙ ЧАСТИ АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ ТРУБЫ

Пометун Е.Д., Болонов Н.И., Лебедев В.Н.
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк
Alternativa19031992@rambler.ru

Резюме. Получены профили скорости при различных конфигурациях сужающего устройства стратифицированной аэродинамической трубы. Данные результаты позволяют оптимизировать конструкцию сужающего устройства для моделирования ступенчатого испытательного сигнала в диапазоне скоростей от 2м/с до 10м/с.

Ключевые слова: сужающее устройство, динамические характеристики в динамических условиях, стратифицированная аэродинамическая труба.

Введение. В соответствии с нормативными документами [1] динамическая погрешность средства измерений (СИ), как часть суммарной погрешности, может быть выделена, только если СИ является линейным динамическим звеном. В то же время, в промышленности широко используются первичные преобразователи, которые не могут быть описаны линейными дифференциальными уравнениями.

Примером нелинейного преобразователя является термоанемометр постоянной температуры (ТА ПТ). Сложная зависимость между выходным электрическим сигналом и физическими параметрами, приводит к возникновению ряда статических и динамических погрешностей [2, 3]. Часть явлений, имеющих место при взаимодействии преобразователя с исследуемой средой, в настоящее время остается неизученной. Целью данной работы является модернизация стенда [4, 5] с целью более точного воспроизведения скоростного ступенчатого сигнала (функции Хэвисайда), необходимого для измерения динамических характеристик (ДХ) первичных измерительных преобразователей (ПИП) в динамических условиях.

Основная часть. Аэродинамический стенд [4], для создания физического воздействия, моделирующего функцию Хэвисайда, использует конфузор, разделенный тонкой перегородкой на две равные части (рис. 1).

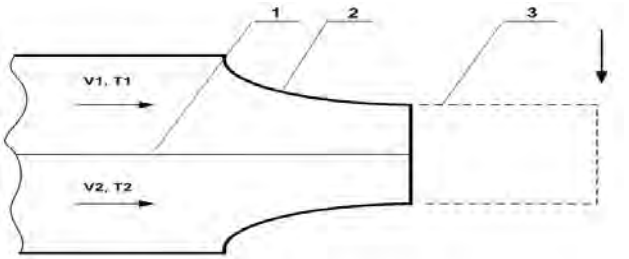
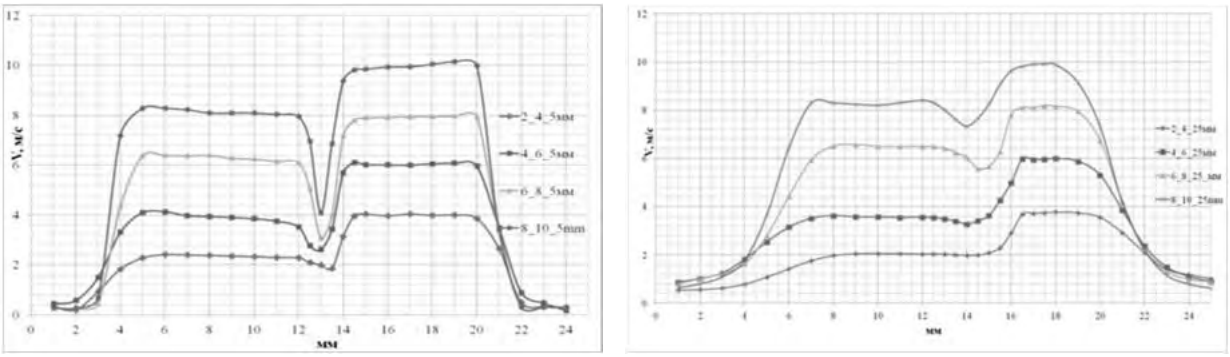


Рис. 1. Схема конфузора: 1 – перегородка, 2 – конфузор, разделенный перегородкой, 3 – прямоугольная насадка. Стрелкой обозначено направление перемещения ПИП ТА

Вследствие прилипания потока к поверхности пластины, разделяющей страты, за пластиной формируется след, искажающий характеристический сигнал. С целью изучения особенностей такого течения, были измерены профили скорости на различных расстояниях от среза конфузора равных:

0мм, 5мм, 15мм, 25мм, 35мм, 45мм и 60мм, для скоростей: 2..4 м/с, 4..6 м/с, 6..8 м/с и 8..10 м/с, при этом, первому значению соответствует скорость в верхнем канале, а второму – в нижнем. Температура воздуха в процессе измерений была постоянной и равна 22ºС Измерение выполнялось с помощью ТА ПТ (тип 094Т11) с 8 мкм проволочным ПИП, разработанном на кафедре ФНПМЭ ДонНУ. Для предварительной обработки и хранения данных использовался измерительный комплекс и виртуальная лаборатория, построенная на базе LabVIEW фирмы NI. Результаты измерений для расстояний от среза конфузора равных 5 мм и 25 мм представлены на рис. 2, а и рис. 2, б, соответственно.



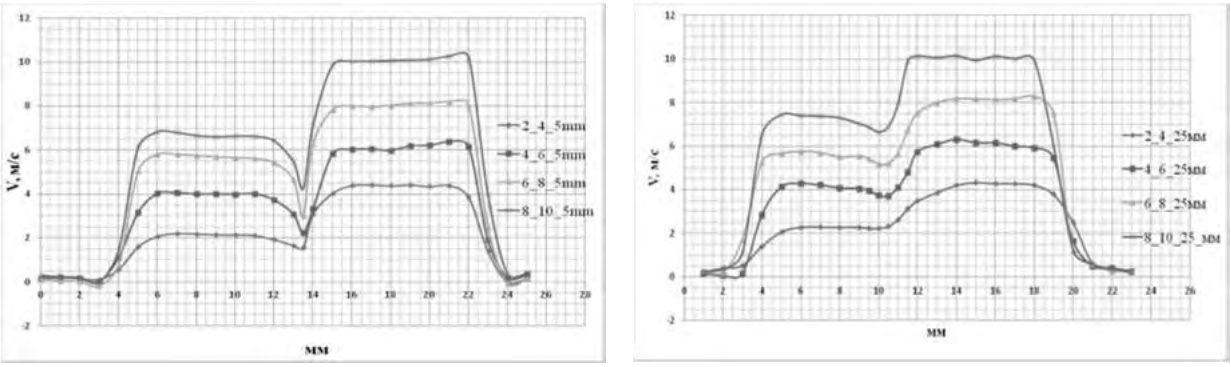
а б

Рис. 2. Профили скорости на расстоянии от среза конфузора равном: а) 5 мм, б) 25 мм

С увеличением расстояния от среза конфузора, в результате смешения слоев, относительная величина минимума уменьшается, но при этом увеличивается расстояние между установившимися значениями скорости в каждой из страт. Увеличение этого расстояния приводит к искажению ступенчатого сигнала и уменьшает частотный диапазон исследуемых преобразователей.

Для уменьшения влияния эффекта прилипания, на срезе конфузора, монтировались прямоугольные насадки различной длины, ограничивающие расширение затопленной струи (рис. 1). Профили скорости, измерялись на срезе конфузора и насадок различной длины, причем величина скорости и ее перепад между слоями в процессе измерений были идентичными.

Результаты измерений представлены на рис. 3.



а б

Рис. 3. Профили скорости на срезе насадки длиной: а) 5 мм, б) 25 мм.

Сравнивая профили скорости (рис. 2. и рис. 3) можно сделать вывод, что использование насадки позволяет уменьшить искажения профиля скорости, вызванное влиянием перегородки. На низких скоростях (2..4 м/с) эффект незначителен, но с увеличением скорости влияние насадки увеличивается, и при скоростях 8..10 м/с, минимум в центре между конфузорами составляет около 15 % от максимальной скорости с насадкой и около 50 % – без насадки (рис 3, а). Анализ показал, что оптимальное расстояние (длина насадки) для диапазона скоростей 2…10 м/с составляет 15÷25 мм. Результаты измерений для расстояния 25 мм представлены на рис. 3, б.

Таким образом, модификация конструкции конфузора позволяет более точно моделировать функцию Хэвисайда, используемую для измерения динамических характеристик ПИП в динамических условиях

Выводы:

1. Определены оптимальная конфигурация сужающего устройства в стратифицированной аэродинамической трубе для физического моделирования функции Хэвисайда.
2. Внесены изменения в конструкцию, позволяющие уменьшить искажения, вызванные влиянием перегородки, разделяющей слои стратифицированного течения.
3. Отработана методика измерений, получены профили скорости при различных условиях и режимах.
4. Полученные данные рекомендуются использовать при конструировании стратифицированных аэродинамических труб.

1. Земельман М.А., Тронова И.М. Методические материалы по применению ГОСТ 8.009-84 «ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений.
2. ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений: ГОСТ 8.009 – 84 – Взамен ГОСТ 8.009 – 72. – [Введ. 01. 01.86.]. – М.: Стандартинформ, 2006. – 26 с.
3. Ярин Л.П. и др. Термоанемометрия газовых потоков/ Л.П.Ярин, А.Л.Генкин, В.И.Кукес. –Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ие, 1983, -198 с.
4. Пат. 95326 U. Україна, МПК G01P 21/00, G01K 15/00. Спосіб прямого визначеннядинамічних характеристик термоперетворювачів / М.І. Болонов, Д.А.Чупіс, Д.М. Кузнецов; заявник і патентовласник Донецький національний університет. – № u201405589; заявл. 26.05.2014; опубл. 25.12.2014, Бюл. № 24.
5. Пометун Е.Д. Моделирование функции хэвисайда в рабочей части аэродинамической трубы/ Е.Д. Пометун, Н.И. Болонов, В.В. Белоусов, В.Н. Лебедев// Сборник статей 9-й международной научно-практической конференции «Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения». – Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2016. – С. 267-269.

УДК 621.227+532.5:622

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ФОРМЫ СОПЛА ГИДРОПУШКИ ДЛЯ ДОСТИЖЕНИЯ МАКСИМАЛЬНОГО ИМПУЛЬСА ВЫСОКОСКОРОСТНОГО УЧАСТКА СТРУИ

Семко А.Н., Шерстюк Ю.В.
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк
loktyushina.julia@yandex.ru

Силовое воздействие высокоскоростной импульсной струи жидкости на преграду широко используется в различных технологических процессах. Однако из-за низкой производительности гидроимпульсных установок коммерческое применение импульсных струй в настоящее время ограничено. Повысить производительность и эффективность гидроимпульсных установок можно путем оптимизации конструкции.

В данной работе сделана попытка оптимизировать форму сопла гидропушки (ГП) с целью достижения максимального значения импульса высокоскоростного участка струи.

Схема ГП, в которой реализуется инерционный принцип, приведена на рис. 1. Под действием давления сжатого газа тяжелый поршень разгоняется вместе с водой в стволе. Вода достигает сужающегося сопла и втекает в него, ускоряясь. Ускорение воды происходит за счет перераспределения энергии между частицами нестационарно движущейся жидкости. При этом кинетическая энергия частиц воды возле свободной поверхности значительно превышает среднюю по объему энергию. Достигнув среза сопла, вода истекает из него ультраструей. Скорость струи в этот момент максимальная, затем она быстро убывает со временем как показано на рис. 2.

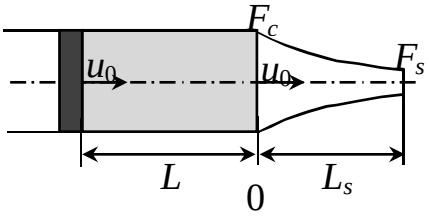


Рис. 1

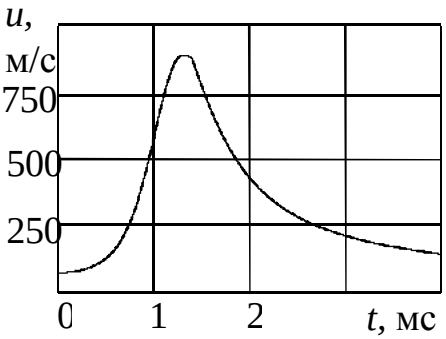


Рис. 2

Максимальная скорость струи $u_{\max}$ оказывает существенное влияние на эффективность выстрела и силовое воздействие струи на преграду. Согласно данным многочисленных экспериментальных исследований эффективность силового воздействия струи на преграду повышается с увеличением скорости струи $u_{\max}$. Если динамическое давление струи $p_c = \rho u_{\max}^2/2$ меньше предела прочности образца на сжатие $\sigma_{пр}$, то образец не разрушается. Экспериментально определено, что эффективное разрушение образца происходит тогда, когда давление струи в 10 раз превышает его предел прочности на сжатие: $p_c > 10\sigma_{пр}$ [1, 2]. Поэтому максимальная скорость струи выбирается по

назначению ГП и не может быть меньше требуемой. На практике динамическое давление струи обычно определяют по формуле Бернулли для несжимаемой жидкости $p_c = \rho u_{\max}^2 / 2$, которая дает ошибку вычислений около 7 % при давлениях порядка 1000 МПа. При больших давлениях ошибка возрастает и надо учитывать сжимаемость жидкости. Поэтому уравнение Бернулли широко применяется для оценочных расчетов.

В струе определяющую роль играет высокоскоростной участок, скорость которого лежит в интервале $u_{\max} \le u \le u_{\min}$. Минимальную скорость высокоскоростного участка выберем такой, чтобы удельная кинетическая энергия и динамическое давление струи при этой скорости было в два раза меньше максимальных значений. Исходя из этих соображений, получим минимальную скорость высокоскоростного участка струи: $u_{\min} = u_{\max} / \sqrt{2}$. Как показали расчеты [3], энергия высокоскоростного участка струи для разных сопел составляет 60–70 % от полной энергии струи. Из этих соображений сделан вывод о малом влиянии на эффективность выстрела ГП участка струи, скорость воды на котором меньше $u_{\min}$.

Импульс высокоскоростного участка струи рассчитывается по формуле [4]

$$I = F_s \int_{t_1}^{t_2} \rho u^2 dt,$$

где t_1 и t_2 – начальное и конечное время высокоскоростного участка, скорость которого лежит в интервале $u = \in [u_{\max}, u_{\min}]$, ρ – плотность воды, F_s – площадь выходного сечения сопла, u – скорость струи.

Задача решалась в рамках модели идеальной несжимаемой жидкости, течение квазиодномерное, изоэнтропическое; влияние воздуха в сопле и деформации корпуса не учитывались. Начало координат совмещено со входом в сопло. За начальный принят момент времени, когда передний фронт жидкости достигает входа в сопло.

Расчеты проводились для лабораторной гидропушки, исходные данные которой взяты из работы [5]: радиус ствола и входа в сопло $R_c = 33$ мм, радиус выхода из сопла $R_s = 5$ мм, длина сопла $L_s = 253$ мм, начальная скорость поршня и заряда жидкости $u_0 = 76{,}2$ м/с, масса поршня $m_p = 2{,}25$ кг, масса жидкости $m = 0{,}85$ кг. Изначально рассматривалось двойное коническое сопло, с координатой точки излома, равной 100 мм, и радиусом сопла в точке излома, равным 19 мм, как это показано на рис. 3. Кривая 1 на рис. 3 – зависимость радиуса двойного конического сопла от координаты,

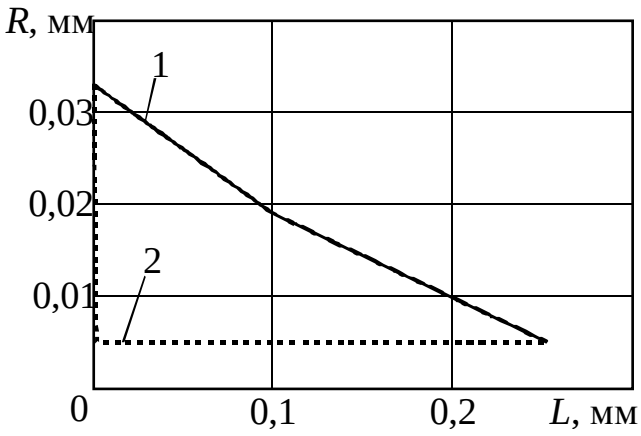


Рис. 3

а кривая 2 – оптимальная форма сопла, полученная в результате расчетов. Точка излома варьировалась от 0 до 253 мм по оси *x* и от 5 до 33 мм по оси y.

На рис. 4 приведено поле значений импульса высокоскоростного участка струи. Видно, что импульс высокоскоростного участка струи достигает максимума в точке (0, 5) мм, т.е. наиболее быстром сужении сопла до минимального значения. В этом случае получается длинный параллельный участок трубы, скорость течения в котором изменяется незначительно. На практике для получения компактной струи используют коллиматор, представляющий собой длинное отверстие с той или иной формой поперечного сечения, проделанное в поглощающем материале.

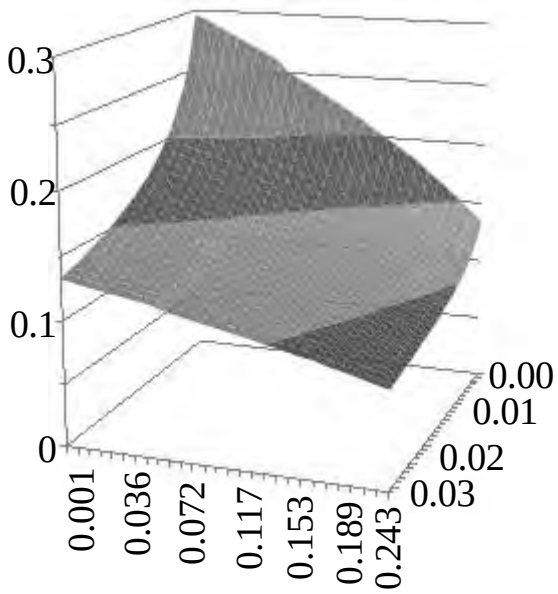


Рис. 4

1. Шехтман Н.В., Криворотько С. Д., Николаев В.П. Опыт разрушения бетона и железобетона импульсными водометами на Днепрогэс–II // Гидротехн. стр-во. – 1976. № 5. – С. 18–21.
2. Петраков А.И., Криворотько О.Д. Разрушение горных пород импульсными струями воды // Уголь. –1982. – № 3. – С. 12–15.
3. Семко А.Н., Решетняк В.В. Сравнение эффективности сопел разной формы для сверхзвуковой гидропушки // Вестник Донецкого университета. Серия А: Естественные науки. – 2009. – № 2. –С. 61–69.
4. Импульсные струи жидкости высокой скорости и их применение: монография / под общ. ред. Семко А.Н. – Донецк: ДонНУ, 2015. – 370 с.
5. Semko A. Internal ballistics of a powder impulsive water device / A. Semko // Proc. 14th International Conference on Jetting Technology. Belgium, Brugge, 21–23 September, BHR Group Conference Series Publication, 1998. 32. – P. 195–202.

УДК 532.517

РАЗДЕЛИМОСТЬ СТАТИСТИК ПЕРЕМЕЖАЕМОГО ТУРБУЛЕНТНОГО ТЕЧЕНИЯ

Силенко Е.М., Силенко С.Е., Худяков И.И., Пригода Н.А.
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк
turbdon@mail.ru

Разнообразные турбулентные течения, например сдвиговые течения, характеризуются наличием зон перемежаемости между полностью турбулентным течением и прилежащим нетурбулентным ламинарным потоком. Вертикальная и горизонтальная структуры морских гидрофизических полей также характеризуются пятнами, слоями, внутри

которых локализуется турбулентное перемешивание. Поэтому, зондирование таких полей приводит к перемежаемости получаемых данных.

В этой связи, в процессе распознавания турбулентных и нетурбулентных зон, с целью их разделимости для нахождения статистических характеристик, актуальным является выбор исходного сигнала и первичного измерительного преобразователя (ПИП), обеспечивающих в процессе измерений наибольший контраст между турбулентными и нетурбулентными зонами течения.

Этому вопросу посвящена классическая работа [1], в которой рассмотрены различные типы сигналов и ПИП. В процессе исследований анализировались следующие сигналы:

- сигнал от ПИП, чувствительного к продольной осевой компоненте турбулентной пульсации скорости u';
- сигналы, характеризующие пространственные производные пульсаций скорости u', например, du'/dr или du'/dy;
- сигнал, пропорциональный продольной осевой компоненте завихренности ω_x.

В итоге был выбран сигнал пропорциональный продольной компоненте завихренности. Используемый в работе [1] ПИП завихренности содержал четыре проволочных термоанемометрических элемента, которые крепились на четырех или восьми ножках, причем эти элементы должны быть с большой точностью согласованы между собой по характеристикам. Поэтому изготовить данный ПИП значительно труднее, чем большинство других термоанемометрических датчиков, используемых при исследовании турбулентности. Понятно, что такой ПИП является скорее лабораторным инструментом исследования и использование его в реальных турбулентных потоках, а тем более в натурных гидрофизических исследованиях довольно затруднительно.

В этой связи, в развитие работы [1], для таких исследований были рассмотрены различные типы магнитогидродинамических (МГД) измерительных преобразователей, которые получили широкое распространение в практике гидродинамических исследований, что обусловлено их высокими эксплуатационными и метрологическими характеристиками [2].

Такие ПИП позволяют проводить измерения вектора осредненной скорости [2] и ее турбулентных пульсаций [3]. Варьируя конструктивными особенностями МГД ПИП, а именно, изменением типа и пространственного распределения магнитного поля, формой и местом установки измерительных электродов, был предложен МГД ПИП для измерения вихревых компонент скорости движущейся жидкости, как осредненной, аналогом которой является угловая скорость потока, так и ее турбулентных пульсаций [4].

Принципиальная возможность реализации такого МГД ПИП основывается на создании в жидкой среде пространственного аксиально симметричного магнитного поля и измерении интегральной разности потенциалов с электродов, один из которых – протяженный – выполнен

кольцевым, соосным магнитному полю контуром, а второй – точечный – размещен на оси симметрии. Практически это легко реализуется установкой двух проводящих электродов – точечного и кольцевого вблизи цилиндрического магнита, один из полюсов которого выполнен в виде тела вращения.

В постоянном магнитном поле такое измерение приводит к сигналу, пропорциональному пульсациям завихренности ω_x. Если магнитное поле переменное, то спектральная плотность полученная в результате обработки измеренного сигнала имеет максимум на частоте $f_m = \frac{1}{4\pi}(\overline{rot\vec{U}_0})_x$, где $\vec{U}_0$ – скорость набегающего потока; ось x – направлена по оси ПИП, навстречу потоку.

Следовательно, по максимуму f_m можно определить компоненту осредненной завихренности или угловую скорость закрученного потока. Следует отметить, что метод определения осредненной завихренности является прямым, то есть не требует градуировки ПИП.

Измерение завихренности актуально не только в задачах разделимости перемежаемого турбулентного сигнала. Завихренность является средством описания многих важных явлений гидродинамики. Как определено в работе [5] – «измеритель завихренности является неоценимым для множества экспериментальных и теоретических приложений в различных областях гидродинамики».

1. V. Kibens, L.S.G. Kovasznay, L.J. Oswald. Turbulent – Nonturbulent Interface Detector. (Rev. Sci. Instrum. 45. №9, 1138-1144, 1974).
2. Силенко Е.М., Чеплюков В.Г. Использование магнитогидродинамического метода в измерителях поля скорости потока жидкости. / Физическая гидродинамика. Сборник научных трудов. – Донецк, ДонГУ, 1990. С. 93-98.
3. А.с. №1144057 (СССР), МКИG01P5/08. Устройство для измерения пульсаций скорости потока электропроводной жидкости. / Е.М. Силенко и др. (СССР). – Заявл. 06.01.84, Опубл. 1985. – Бюл. №9. –стр. 161.
4. А.с. №1691757 (СССР), МКИG01P5/08. Устройство для измерения угловой и тангенциальной скоростей потока электропроводной жидкости. / Е.М. Силенко и др. (СССР) – Заявл. 20.02.87, Опубл. 1991. Бюл. №42.
5. Сэффмен Ф. Динамика завихренности. // Современная гидродинамика. Успехи и проблемы.: Пер. с англ. // Под. ред. Дж. Бэтгелора, Г. Моффата. – М.: Мир, 1984. – С. 77-90.

УДК 532.542; 532.771; 532.5.013.12

ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ СНИЖЕНИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ТУРБУЛЕНТНОГО ТРЕНИЯ В РАСТВОРАХ МИЦЕЛЛООБРАЗУЮЩИХ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ

Симоненко А.П., Дмитренко Н.А., Асланов П.В.
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк
zan.nikita@gmail.com

Важным резервом повышения эффективности работы различных гидравлических систем является использование явления снижения

гидродинамического сопротивления турбулентного трения (ГСТТ) жидкостей в напорных трубопроводах добавками водорастворимых высокомолекулярных полимеров (ВП), с линейной структурой макромолекул (эффект Томса), и некоторых мицеллообразующих поверхностно-активных веществ (МПАВ).

Анализ основных причин, сдерживающих широкое применение явления снижения ГСТТ в промышленных масштабах, показал, что одной из них является отсутствие у потенциальных потребителей достаточных знаний по основным закономерностям этого явления и влиянию различных факторов на его величину.

Многочисленными исследованиями, выполненными у нас в стране и за рубежом, установлено, что ВП и композиции на их основе могут эффективно использоваться в разомкнутых гидравлических системах, к которым в первую очередь следует отнести системы водяного пожаротушения, аварийного откачивания воды, а также для повышения эффективности работы гидроструйных машин. В то же время добавки МПАВ, которые в отличие от ВП обладают обратимой механической деструкцией, целесообразно применять в замкнутых системах тепло- и холодоснабжения, в водокольцевых насосах для откачивания метана из угольных шахт и т.д.

Свойством снижать гидродинамическое сопротивление при турбулентном режиме движения жидкостей обладают коллоидные МПАВ, которым свойственно не только концентрироваться на границе раздела фаз, но и образовывать в растворах анизометрические мицеллярные структуры. Коллоидные ПАВ включают в себя следующие типы соединений: ионогенные (анионактивные, катионактивные, амфолитные) и неиногенные. В рамках настоящей работе в процессе исследований были использованы анионактивные ионогенные МПАВ.

Результаты физико-химических и гидродинамических исследований, проведённых с использованием различных МПАВ, показали, что явление снижения ГСТТ наблюдается только в растворах, содержащих анизометрические мицеллы, которые начинают образовываться при второй критической концентрации мицеллообразования ($ККМ_2$).

Основные закономерности. Наиболее полные данные по влиянию гидродинамически-активных МПАВ на сопротивление турбулентного трения получены путём изучения течений их мицеллярных растворов в трубах. К основным из них следует отнести следующие:

а) при ламинарном режиме течения в гладкой и шероховатой трубах введение добавок МПАВ, с концентрациями в растворе выше $ККМ_2$, приводит к увеличению коэффициента гидродинамического сопротивления турбулентного трения (для случаев расчёта числа Рейнольдса (*Re*) по вязкости воды) и не влияет на его величину, когда число *Re* рассчитывается по соответствующей вязкости раствора;

б) под воздействием больших гидродинамических напряжений анизометрические мицеллы МПАВ в потоке подвергаются механической деструкции (разрушению), что первоначально приводит к уменьшению

величины эффекта снижения сопротивления, а в дальнейшем и к его полному исчезновению [1]; при уменьшении напряжения трения растворы МПАВ полностью восстанавливают свою гидродинамическую эффективность;

в) зависимость величины эффекта снижения ГСТТ от концентрации МПАВ в растворе носит экстремальный характер; при этом максимальный эффект достигается при некоторой его оптимальной концентрации в растворе $C_{опт}$; при $C < C_{опт}$ вязкость раствора МПАВ равна или незначительно превышает вязкость растворителя, при $C > C_{опт}$ величина гидродинамического эффекта уменьшается за счёт увеличения вязкости раствора [1, 2];

г) в шероховатых трубах значительное снижение величины ГСТТ в растворах МПАВ наблюдается лишь в ограниченной области чисел *Re*; при дальнейшем их увеличении эффективность воздействия добавок уменьшается;

д) для каждого числа *Re*, в гладких и шероховатых трубах, существуют предельные значения местных коэффициентов сопротивления турбулентного трения, ниже которых в растворах МПАВ снизить гидродинамическое сопротивление не удаётся; этим предельным значениям соответствует «асимптотический» профиль распределения скоростей с протяжённой переходной областью; предельно-допустимое минимальное гидродинамическое сопротивление трения в трубах, за счёт введения добавок МПАВ, описывается асимптотами; для случаев, когда число *Re* рассчитывается по вязкости растворителя (воды) в гладких трубах зависимость коэффициента гидродинамического сопротивления трения λ от числа Рейнольдса $Re_в$, при максимальном снижении ГСТТ, имеет вид:

$$1/\sqrt{\lambda} = 9{,}85 \cdot \lg\left(Re_{\text{в}}\sqrt{\lambda}\right) - 22{,}1;$$

в то же время, когда числа *Re* рассчитываются по соответствующей каждому сдвиговому напряжению вязкости раствора МПАВ ($Re_р$), зависимость приобретает вид:

$$1/\sqrt{\lambda} = 8{,}51 \cdot \lg\left(Re_{\text{р}}\sqrt{\lambda}\right) - 13{,}5;$$

е) снижение гидродинамического сопротивления турбулентного трения в напорных трубопроводах сопровождается уменьшением пульсаций давления в турбулентных потоках растворов МПАВ и вибраций труб.

Влияние различных факторов. На величину эффекта снижения ГСТТ существенное влияние оказывают температура и солёность растворов.

Специальными исследованиями, на примере натриевых солей лауриновой, миристиновой, пальмитиновой и стеариновой кислот, установлена температурная область проявления эффекта снижения ГСТТ, которая находится между кривой, соединяющей соответствующие для используемых МПАВ точки Крафта и кривой для верхних температур, при которых начинают разрушаться анизометрические мицеллы.

Зависимость величины эффекта снижения ГСТТ в растворах анионактивных МПАВ от концентрации электролитов носит экстремальный характер. При этом, на первой стадии добавки электролитов способствуют образованию анизометрических мицелл, уменьшая $ККМ_2$; дальнейшее увеличение концентрации солей в растворе приводит к высаливанию МПАВ, которое сопровождается полной потерей раствором свойства обладать сниженным гидродинамическим сопротивлением.

Анионактивные МПАВ эффективно снижают гидродинамическое сопротивление в щелочных средах. В то же время катионактивные МПАВ имеют наибольшую эффективность в кислых средах. Амфолитные МПАВ эффективны в нейтральных, кислых и щелочных средах.

Выводы. На основе обзора литературных источников, а также с использованием полученных авторами результатов исследований (перечень основных научных публикаций по которым приведён в работе [3]), систематизированы основные закономерности снижения ГСТТ в мицеллярных растворах МПАВ при их течениях в трубах и определено влияние различных факторов на его величину. Полученные результаты позволяют эффективно использовать гидродинамически-активные МПАВ на практике, а также углубляют знания по физическому истолкованию механизма их воздействия на турбулентность.

1. Повх И.Л., Ступин А.Б., Симоненко А.П. Применение поверхностно-активных веществ для уменьшения турбулентного трения жидкостей в технологических аппаратах // Аэродинамика в технологических процессах. – М.: Наука. – 1981. – С. 230-240.
2. Ступин А.Б. Применение гидродинамически-активных добавок полимеров и поверхностно-активных веществ в энергосберегающих технологиях / А.Б. Ступин, П.В. Асланов, А.П. Симоненко, Н.В. Быковская, С.А. Фоменко // Прикладна гідромеханіка. – 2001. – Т.3(75), №1. – С. 74-81.
3. Симоненко А.П. Гидродинамически-активные композиции на основе полимеров и поверхностно-активных веществ для решения проблем экологической безопасности и энергосбережения: автореф. дис. д-ра техн. наук. Донецк. 2013. – 44 с.

УДК 536.2

ЗАДАЧА ИДЕНТИФИКАЦИИ ТЕМПЕРАТУРОПРОВОДНОСТИ ПРИ НЕПРЕРЫВНОМ ЛИТЬЕ

Толстых В.К., Бодряга В.Е.
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк
bodryaga@gmail.com

Производство качественных слитков является актуальной проблемой. Она может решаться поиском новых технологий разливки, варьированием состава металла и температурно-временных режимов и др. По мере развития математического аппарата, стал возможен поиск наилучшего решения

поставленных задач без дорогостоящих экспериментальных разливок. Однако для максимально точного учета параметров физического процесса, требуется как подготовка специалиста для выполнения математических операций, так и значительные машинные ресурсы.

Но даже в этом случае есть вероятность получения неточных результатов. Это связано с тем, что в теплофизические и гидродинамические уравнения входят эмпирические и полуэмпирические коэффициенты моделей. Использование таких параметров уравнений, незнание оптимальных значений этих коэффициентов для каждого конкретного объекта может стать причиной существенных погрешностей.

Для поиска оптимальных значений параметров уравнений формулируются задачи параметрической идентификации.

Будем моделировать установившиеся тепловые процессы в цилиндрическом непрерывном слитке с использованием эффективных теплофизических параметров, посредством следующего уравнения теплопроводности с соответствующими граничными условиями [1]:

$$V\frac{\partial T}{\partial z}=\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(ra\frac{\partial T}{\partial r}\right),\ (r,z)\in\sum=[0,R]\times[0,Z], \tag{1}$$

$$T\Big|_{\substack{0\le r\le R\\ z=0}}=T_0,\ \left.\frac{\partial T}{\partial r}\right|_{\substack{r=0\\ 0<z<Z}}=0,\ T\Big|_{\substack{r=R\\ 0\le z\le z_C}}=T_{\tilde{N}},\ a\left.\frac{\partial T}{\partial r}\right|_{\substack{r=R\\ z_C<z\le Z}}=-\alpha'\left(T-T_v\right), \tag{2}$$

где V – скорость литья, T – температура слитка, a – эффективный коэффициент температуропроводности, R – эффективный радиус слитка, Z – длина вертикальной части МНЛЗ, T_C – температура слитка в зоне кристаллизатора, T_0 – температура заливаемого в установку металла, z_c – нижняя граница кристаллизатора, T_v– температура охладителя в зоне вторичного охлаждения (ЗВО), $\alpha'=\dfrac{\alpha}{c\rho}$, α – коэффициент теплоотдачи в ЗВО, c – теплоемкость, ρ – плотность.

Предполагаем, что все параметры модели (1)–(2) за исключением температуропроводности, заданы точно. Это означает, что все упрощения и погрешности модели учитываются эффективной температуропроводностью a.

Представим температуропроводность в виде полиномиальной зависимости от температуры $a(T)=\sum\limits_{i=0}^{n}c_iT^i$, где вектор коэффициентов $\mathbf{c}=\{c_0,c_1,...c_n\}$, который и необходимо найти из минимума расхождения модельной температуры T и экспериментально измеренной T_e на конкретной установке в виде:

$$J(\mathbf{c})=\int_0^Z\left[\mathrm{T}(\mathrm{r},\mathrm{z})-\mathrm{T_e}(\mathrm{z})\right]^2 2\pi dz\to\min. \tag{3}$$

При решении задач такого типа может возникнуть проблема масштабируемости.

Как показали расчёты температурных режимов по (1)–(2), коэффициенты вектора $\mathbf{c}$ в степенном ряду $a(T)$, оказывают разное влияние на решение $\mathrm{T(r,z)}$. Для выравнивания чувствительности модели (1)–(2) к искомым коэффициентам было выполнено следующее масштабирование [2]:

$$a \equiv a(T) = \sum_{i=0}^{n} \frac{1}{T_c^i} c_i T^i \qquad (3)$$

где $\frac{1}{T_c^i}$ – коэффициент масштабирования, T_c – характерная температура процесса – температура затвердевания слитка. В нашем случае принималась $T_c = T_{sol}$.

При этом задача идентификации модели (1)–(2) сводится к задаче параметрической идентификации вектора $\mathbf{c} = \{c_0, c_1, ... c_n\}$ размерности $n+1$.

Численный расчет значения температуропроводности является важным шагом на пути к точному решению задач теплопроводности, где ее значение зачастую используется. С помощью эксперимента данную величину измерить невозможно. Точность искомого коэффициента (качество идентификации) будет контролироваться величиной расхождения модельной температуры T и экспериментально измеренной T_e на конкретной установке в виде:

$$J(\mathbf{c}) = \int_0^Z \left[T(r,z) - T_e(z)\right]^2 2\pi dz \to \min . \qquad (3)$$

Для решения задачи используются значения температуры, экспериментально полученные на машине непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) Днепровского металлургического комбината. Замеры температуры производились на середине грани слитка с помощью оптического пирометра. На рассматриваемой нами части МНЛЗ имеется пять измерений.

Экспериментально полученные значения температуры (таблица)

Таблица

Величина	1	2	3	4	5
$Z, м$	0,9	1,5	2,4	4,2	7,28
$T, К$	1373	1336	1298	1269	1258

Воспользовавшись методами интерполяции (рис. 1) получим значения температуры по всей длине рассматриваемого слитка с шагом $0,072$ м.

Оптимальное значение вектора $\mathbf{c}$ рассчитывается градиентным методом:

$$\mathbf{c}^{k+1} = \mathbf{c}^k - b^k \nabla J\left(\mathbf{c}^k\right), \quad k = 0,1,..$$

где $\nabla J\left(\mathbf{c}^k\right)$ – градиент целевой функции (3) на итерации k, b^k – шаг метода.

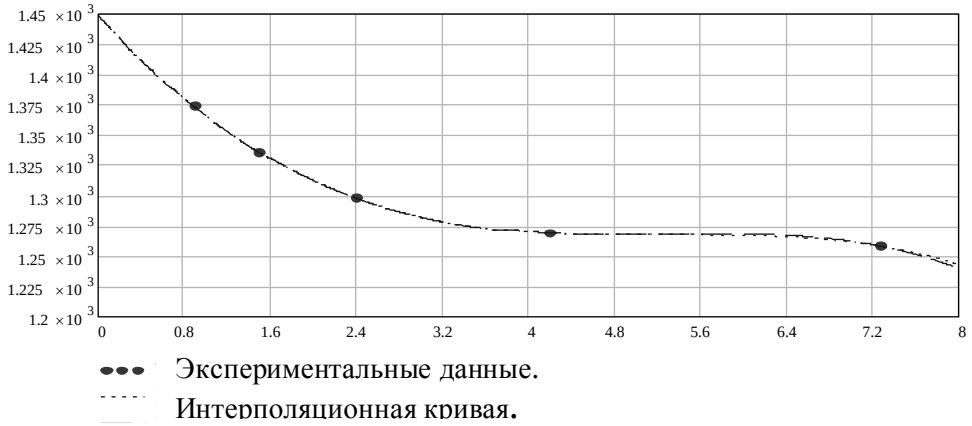


Рис. 1 Интерполяция температуры по экспериментальным данным

Расчёты будут проводиться со следующими значениями величин: $V = 1 \cdot 10^{-2}\ м/с$, $R = 0,21\ м$, $Z = 7,28\ м$, $T_0 = 1799\ K$, $T_{sol} = 1709\ K$, $T_C = 1423\ K$, $z_c = 1\ м$, $T_h = 293\ K$.

В постановке (1)–(2) малое изменение любого компонента вектора $\mathbf{c}$ приводило к малому изменению функции (3), т.е. чувствительность критерия качества $J(\mathbf{c})$ была приблизительно одинаковой ко всем компонентам $\mathbf{c}$. Это стало возможным благодаря проведенному масштабированию задачи, что, в свою очередь, позволило решать рассматриваемую задачу идентификации.

1. Огурцов А.П., Недопекин Ф.В., Толстых В.К., Володин Н.А. Прямая оптимизация теплофизических процессов. - Донецк: Юго-Восток, 1997.-150 с.
2. Толстых В.К. Идентификация теплофизических параметров в виде полиномов, зависящих от температуры / Недопекин Ф. В., Бодряга В. Е. // Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика. – 2009. – Випуск №1. – С. 193-199.

УДК 532.517.2: 518.12

ПРОФИЛИ СКОРОСТИ В ТРУБАХ С ПЕРИОДИЧЕСКИ ИЗМЕНЯЮЩИМСЯ ПОПЕРЕЧНЫМ СЕЧЕНИЕМ (ТПИПС)

Финошин Н.В., Попова А.Е.
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк
albina1770@yandex.ru

Резюме. В данной работе проведены экспериментальные исследования профилей скорости в различных сечениях трубопровода с периодически изменяющимся поперечным сечением. Установлено наличие вихрей Тейлора-Гёртлера в выходных сечениях конфузоров.

Ключевые слова: трубопровод с периодически изменяющимся поперечным сечением (ТПИПС), профили скорости, вихри Тейлора-Гёртлера.

Введение. В работе [1] отмечается, что одним из методов снижения полного гидродинамического сопротивления является генерация вихревых систем в пристеночном потоке. Масштабы вихревых структур и их интенсивность влияют на сопротивление движущихся в среде тел или же на сопротивление движущейся в трубопроводе среды.

Вихревые структуры образуются на искривленных обтекаемых поверхностях. В пограничном слое, формируемом над искривленной поверхностью, зарождается неустойчивость, обусловленная взаимодействием центробежных сил и сил давления. Она способствует образованию продольно ориентированных стационарных вихрей – вихрей Тейлора-Гёртлера, которые представляют собой противоположно вращающиеся пары, оси которых параллельны направлению набегающего потока.

В работе [2] была сделана попытка определить критерий появления вихрей, т. е. критерий центробежной неустойчивости.

В работе [3] также отмечается, что неустойчивость Гёртлера может возникать в пограничном слое на искривленной поверхности и интенсивно влиять на его характеристики: усиливать тепло- и массоперенос, изменять сопротивление трения и т. д.

Таким образом, можно утверждать, что изучение вихревых структур, естественно формируемых в турбулентном пограничном слое, условий их возникновения и развития, остается актуальным и сегодня.

Основная часть. В данной работе была поставлена задача экспериментально определить профили продольной компоненты скорости воздуха в различных сечениях ТПИПС. По характеру распределения этих профилей сделать вывод о наличии в данной трубе с периодически изменяющимся поперечным сечением вихрей Тейлора-Гёртлера.

Экспериментальные исследования проводились на аэродинамическом стенде АС-5.

Трубопровод с периодически изменяющимся переменным сечением (ТПИПС) состоит из 6 участков. Схема одного такого участка приведена на рисунке 1, с указанием 7 сечений, в которых были проведены измерения профилей скорости.

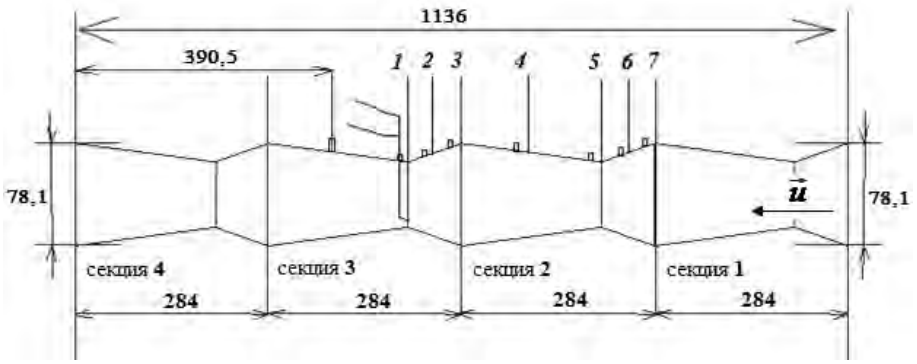


Рис. 1. Схема одного участка ТПИПС, состоящего из четырех конфузорно-диффузорных секций: 1, 5 – сечения на выходе из конфузорных участков; 2, 4, 6 – средние сечения ТПИПС; 3, 7 – сечения на выходе из диффузорных участков

Для измерения профилей скорости в различных сечениях ТПИПС использовалась напорная микротрубка Пито-Прандтля, изготовленная из двух медных капиллярных трубок с внешним диаметром $d = 1{,}3$ мм.

На рисунке 2 приведены профили средней скорости на выходе из конфузора секции **2** (сечение *5*) и на выходе из конфузора секции **3** (сечение *1*). Из графиков распределения профилей скорости на срезе конфузоров видно, что оба профиля скорости имеют четко выраженные пики в пристеночной области. Эти пики в профилях скорости наблюдаются в пределах 5 *мм* от стенки конфузоров.

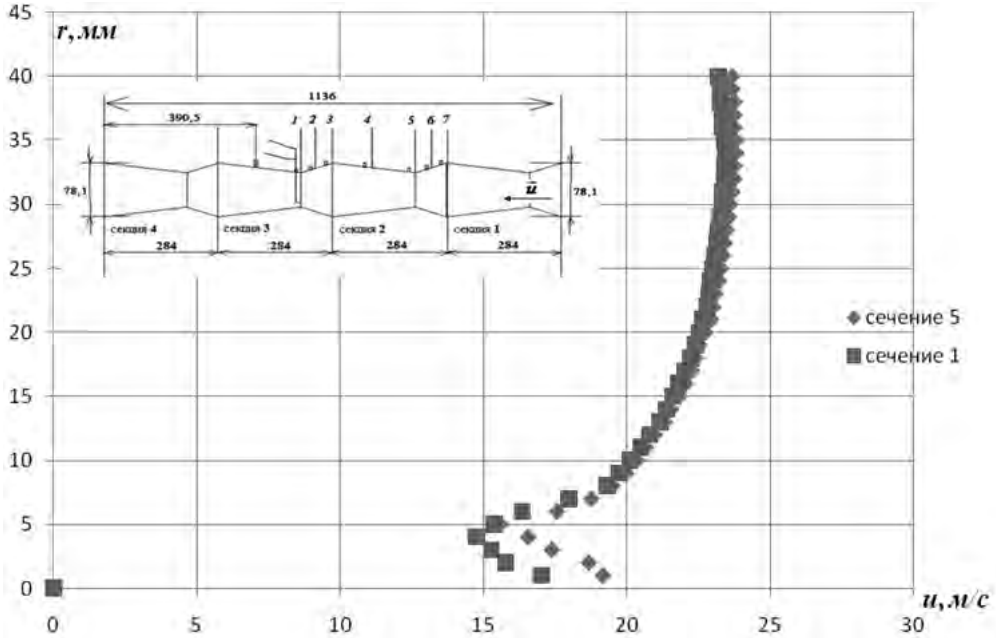


Рис. 2 Профили средней скорости на выходе из конфузора сечение *1* (секция **3**), сечение *5* (секция **2**)

Появление пиков в профиле скорости в пристеночной области свидетельствует о появлении в этой области устойчивых вихрей Тейлора-Гёртлера.

В средних сечениях конфузоров и диффузоров, а также в выходных сечениях диффузоров профили скорости не имеют перегиба.

Данные экспериментальные исследования являются начальным этапом в обнаружении зон вихрей Тейлора-Гёртлера в конкретном трубопроводе с периодически изменяющимся поперечным сечением.

Как показали профили скорости, вихри Тейлора-Гёртлера были обнаружены в районе выходных сечений конфузоров.

Предположительно зарождение этих вихрей начинается на некотором расстоянии выше по течению от среза конфузоров и затухают ниже по течению от выходного сечения конфузора (в начальной части диффузора).

В дальнейших исследованиях предполагается определить зоны существования вихрей Тейлора-Гёртлера и их геометрические размеры.

Планируется также исследовать влияние режима течения на образование вихрей Тейлора-Гёртлера, на размер и протяженность этих вихрей.

Выводы.

1. Проведены экспериментальные исследования профилей скорости в различных сечениях трубопровода с периодически изменяющимся поперечным сечением.

2. В выходных сечениях конфузоров обнаружено наличие вихрей Тейлора-Гёртлера.

3. Сделано предположение о том, что вихри Тейлора-Гёртлера возникают в зоне ниже среднего сечения конфузора и вырождаются в зоне до среднего сечения диффузора.

1. Войскобойник А.В., Войскобойник В.А. Продольные вихревые структуры при обтекании криволинейной поверхности // Вісник Донецького університету, Сер. А: Природничі науки. – 2006. – Вип. 1. – С. 184-191.
2. Авраменко А.А., Кобзарь С.Г., Халатов А.А. Экспериментальное и теоретическое исследование турбулентной неустойчивости Тейлора-Гёртлера в пограничном слое на вогнутой поверхности // Инженерно-физический журнал. – 1977. – Т. 70. - № 2. – С. 279-283.
3. Иванов А.В., Качанов Ю.С., Мищенко Д.А. Возбуждение гёртлеровских вихрей над искревленными поверхностями турбулентностью набегающего потока // Теплофизика и аэромеханика. – 2011. – С. 156-165.
4. ДСТУ 3215-95. ГСИ. Метрологическая аттестация средств измерительной техники. Организация и порядок проведения.
5. ГОСТ 12.3.018-79. Системы вентиляционные. Методы аэродинамических испытаний. – Введ. 01.01.81. – М.: Изд-во стандартов, 1979. – 11 с.
6. ГОСТ 17.2.4.06-90. Методы определения скорости и расхода газопылевых потоков, отходящих от стационарных источников загрязнения. – Введ. 01.01.91. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 18с.
7. ГОСТ 8.542–86 Государственный специальный эталон и государственная поверочная схема для средств измерений скорости воздушного потока. – Введ.01.01.87. – М.: Изд-во стандартов, – 5с.
8. ГОСТ 8.187-76. Государственный специальный эталон и общесоюзная поверочная схема для средств измерений разности давлений до $4 \cdot 10^4$ Па. – М.: Издательство стандартов, 1976. – 5 с.

УДК 538.4

ПРИМЕНЕНИЕ УРАВНЕНИЯ ЛАГРАНЖА ВТОРОГО РОДА К ИССЛЕДОВАНИЮ ТУРБУЛЕНТНЫХ ВРАЩАТЕЛЬНЫХ ТЕЧЕНИЙ

Шамота В.П., Фалько А.Л., Козловская И.К.
Донецкий институт железнодорожного транспорта
kaf.vmf@yandex.ru

Различные технологические устройства, в которых жидкость приводится во вращательное движение, находят широкое применение во многих отраслях промышленности. В большинстве случаев течение в них

носит выраженный турбулентный характер. Это относится и к устройствам, в которых вращательное движение создается с помощью электромагнитных полей [1].

Значительная часть известных работ, посвященных теоретическому исследованию течения жидкости, порождаемого электромагнитными полями, основывалась на решении системы уравнений движения и электродинамики Навье-Стокса-Максвелла. Однако найденные таким образом значения скорости течения жидкости и ее распределения оказались весьма далеки от реальных [2]. Как некий альтернативный подход можно было бы назвать развивающиеся в последнее время полуэмпирические модели вращательных течений, порождаемых электромагнитным полем [3], в которых было достигнуто вполне приемлемое соответствие с экспериментами. Однако все эмпирические и полуэмпирические методы нуждаются в теоретическом обосновании, раскрывающем сущность протекающих процессов.

Наряду с уравнениями динамики для анализа движения сложных механических систем используются уравнения Лагранжа второго рода, устанавливающие связь между кинетической энергией механическое системы и обобщенными силами, действующими на отдельные ее части. Строго говоря, жидкость, как механическая система, при турбулентном течении имеет очень большое число степеней свободы, поэтому записать полную систему уравнений Лагранжа для такого течения весьма проблематично. Задача существенно упрощается, если ограничиться анализом только некоторого усредненного вращения, задаваемого углом поворота жидкости как сплошного твердого тела, принимаемым в качестве обобщенной координаты q. Этот угол поворота измеряется во всех известных экспериментах тем или иным способом.

Если обозначить через $\Omega = \dot{q}$ среднюю угловую скорость вращения жидкости, а через J_z усредненный момент инерции относительно оси вращения, то часть кинетической энергии, связанная непосредственно с вращением будет равна $T_1 = J_z\Omega^2/2$. Все вторичные течения жидкости, как стационарные, так и нестационарные (турбулентные пульсации), также связаны с усредненным движением, однако эту связь можно установить лишь экспериментальным путем. В первом приближении можно допустить, что часть кинетической энергии вторичных течений, зависящая от усредненной угловой скорости вращения жидкости, также пропорциональна квадрату угловой скорости Ω $T_2 = c\Omega^2/2$. Таким образом, полная кинетическая энергия будет пропорциональна квадрату угловой скорости Ω $T = a\Omega^2/2$, где a – коэффициент инерции данной механической системы.

На частицы жидкости действуют внешние силы: тяжести и электромагнитная. Ограничимся случаем, когда сила тяжести параллельна оси вращения жидкости. При этом обобщенная сила, соответствующая действию сил тяжести окажется равной нулю. Обобщенная электромагнитная сила может быть найдена как отношение работы, совершаемой этой силой, к углу поворота q. Распределение электромагнитной силы, действующей на жидкий проводник, помещенный во вращающееся магнитное поле, известно

[4]. По этому распределению сил легко находится обобщенная электромагнитная сила $Q_э$.

Кроме указанных сил действуют еще сила вязкого трения, величина которой определяется законом Ньютона, и сила турбулентного трения, которая является результатом перемешивания отдельных слоев течения вследствие хаотичного движения отдельных частиц жидкости. Для каждой из указанных сил можно ввести свою диссипативную функцию Φ_m, такую, что $Q_m = -\frac{\partial \Phi_m}{\partial \dot{q}}$.

После подстановки всех выражений в уравнение Лагранжа второго рода и преобразования к безразмерному виду, получается обычное дифференциальное уравнение относительно Ω, решение которого легко находится. Это решение ранее получено эмпирическим путем после обработки ряда экспериментов. Разработанный энергетический подход позволяет не только получить выражения для коэффициентов инерции и диссипации, но и теоретически обосновать результаты, полученные в [5].

1. Повх И.Л., Капуста А.Б., Чекин Б.В. Магнитная гидродинамика в металлургии. – М: Металлургия, 1974. – 240с.
2. Yu.M. Gelfgat end I. Priege. MHD flows in a rotating magnetic field (a review) // Magnitnaya Gidrodinamika. – 1995. – № 31(2). – P. 214 – 230.
3. V.P. Shamota. Rotating of conducting fluid by an electromagnetic field. // Magnitnaya Gidrodinamika. – 1997. – № 33(1). – P. 52 – 55.
4. Кескюла В.Ф. Магнитное поле и вторичные токи индукционного вращателя // Сборник трудов ТПИ. – Таллин, 1965. – Серия А, № 231. – С. 87-98.
5. A.B. Kapusta and V.P. Shamota. Quasi-laminar and turbulent flows jf a conducting fluid created by a rotating magnetic field // Magnitnaya Gidrodinamika. – 1996. – № 32(1). – P. 43–49.

УДК 004.934.2

АНАЛИЗ СХОДСТВА ГОЛОСОВ НА ОСНОВЕ СРАВНЕНИЯ ПРОСОДИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕЧЕВОГО СИГНАЛА

Барташ Б.А., Котенко В.Н., Котенко Ю.В., Шарий Т.В.
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк
kodos69@gmail.com

Сегодня голосовая биометрия остается актуальной проблемой в речевых технологиях, а анализ сходства голосов является ключевой задачей в рамках этого направления.На первом этапе сравнения голосов производится параметризация речевого сигнала. Итоги многочисленных исследований свидетельствуют о большом влиянии просодических параметров на восприятие речевых сигналов человеком. Просодия [1, 2] – это совокупность тональных, амплитудных и временн*ы*х фонетических проявлений, соответствующих таким характеристикам участков речевого сигнала, как: частота основного тона (ЧОТ), энергия и длительность. При этом, важнейшим просодическим параметром является ЧОТ [3]: во-первых, любая просодическая информация может быть передана посредством ее изменений; во-вторых, это значимая индивидуальная характеристика диктора.

ЧОТ представляет собой частоту колебаний голосовых связок. При образовании вокализованных звуков речи воздушный поток проходит через колеблющиеся голосовые связки, поэтому в их спектре четко прослеживается данная частота и ее гармоники. На невокализованных участках речи основной тон отсутствует. В связи с этим, при сравнении голосов дикторов, основанном на ЧОТ, анализировались только гласные и звонкие звуки.

Определение частоты основного тона производилось на основе спектров Фурье речевого сигнала и заключалось в поиске первого пика в серии спектральных пиков на частотах, кратных основному тону. Быстрое преобразование Фурье выполнялосьв перекрывающихся окнах анализа размером 512 отсчетов (что соответствует длительности 32 мс при частоте дискретизации сигнала 16 кГц). Разрешение по частоте спектра– 31,25 Гц. Чтобы избежать ошибочного принятия не первой гармоники основного тона поиск максимума производился в интервале 92–248 Гц для дикторов мужского пола и 124–434 Гц для дикторов женского пола. Для уменьшения ошибки оценки спектральных составляющих сигнал также взвешивался окном Хэмминга.

В ходе исследований был создан программный продукт, с помощью которого пользователи могут открывать файлы с речью, отображать спектрограмму речевого сигнала, определять частоту основного тона диктора и процент сходства голосов выбранных дикторов (рис. 1).

Рис. 1. Главное окно приложения анализа сходства голосов

Было записано и проанализировано 90 речевых образцов, сказанных 9 дикторами. Участки речи с голосами, которые субъективно воспринимаются как похожие, имели больший процент сходства. Однако эксперименты показали негативное влияние посторонних шумов на точность определения частоты основного тона и сравнения голосов. Дальнейшие исследования направлены на разработку более робастных биометрических методов.

1. Чистович Л. А. Физиология речи. Восприятие речи человеком / Л.А. Чистович, А.В.Венцов, М.П.Гранстрем. – М.: Наука, 1976. – 388 с.
2. Каргин А. А. Анализ речевых сигналов с учетом просодических характеристик / Каргин А.А., Шарий Т.В. // *Сборник трудов X международной конференции «Интеллектуальный анализ информации ИАИ-2010», Киев.* – 2010. – С.339-344.
3. D. Gerhard. Pitch Extraction and Fundamental Frequency: History and Current Techniques // *University of Regina, Dep. OfComputerScienceTech. Rep.* – 2003. – №6.

УДК 004.7

ИССЛЕДОВАНИЕ ВИДЕОТРАФИКА В СРЕДЕ SCILAB

Бельков Д.В., Едемская Е.Н.
ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк
belkov65@list.ru

В современных телекоммуникационных системах передачу потоков разных служб обеспечивает единая сеть. Поскольку источники каждой службы могут иметь разные скорости передачи информации или изменять ее

в процессе сеанса связи, то потокам пакетов свойственны пачечность и фрактальность. Фрактальный трафик сохраняет поведение и внешние признаки при рассмотрении в разном масштабе. Поэтому методы моделирования и расчета сетевых систем, основанные на использовании Пуассоновских потоков, не дают точной картины процессов, происходящих в сети. Учет фрактальности трафика позволит более точно описать и воспроизвести видеотрафик, что обеспечит возможность получения заданных показателей качества обслуживания [1].

Целью данной работы является исследование структуры видеотрафика, направленное на выявление его характерных особенностей. В работе решаются следующие задачи: оценивается плотность распределения, автоковариационная функция (АКФ) изучаемого временного ряда, определяется степень фрактальности (показатель Херста). Исследование выполнено в среде Scilab. Изучаемый временной ряд показан на рис. 1. Он представляет собой измерения объемов (байт) последовательно поступающих фреймов. Исследуется поток фреймов MPEG-4 фильма «Звездные войны 4». Согласно лицензии данные свободно доступны для анализа [2].

Оценка плотности распределения выполнена на основании гистограммы относительных частот, показанной на рис. 2. Изучаемый ряд не подчиняется нормальному распределению.

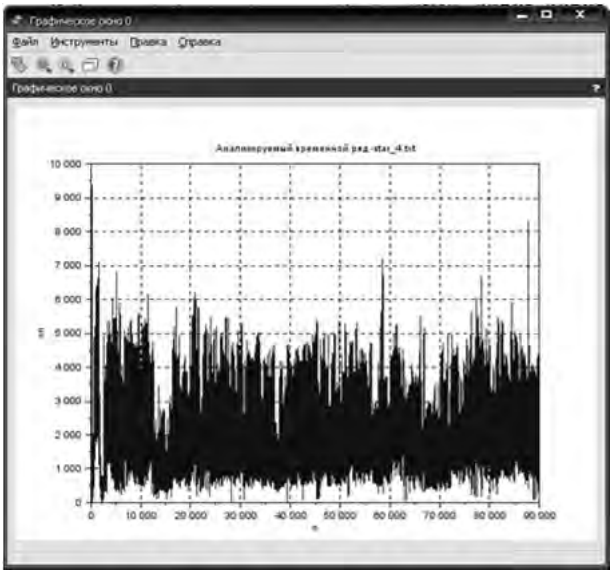


Рис. 1. Изучаемый временной ряд

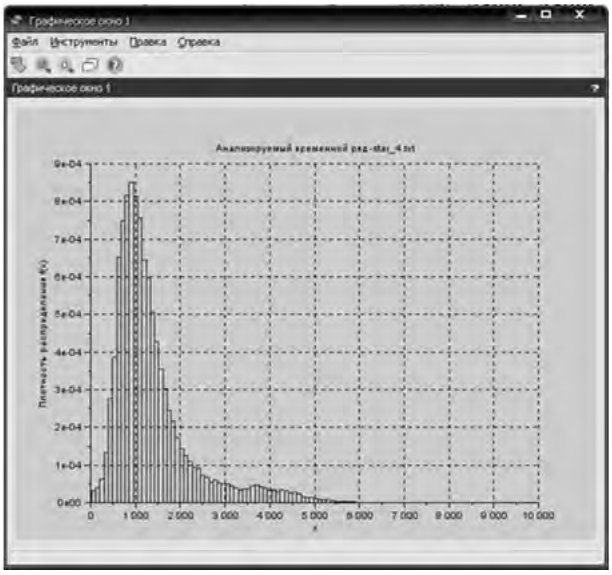


Рис. 2. Плотность распределения временного ряда

Автоковариационная функция временного ряда приведена на рис. 3. Она симметрична и уменьшается по степенному закону с ростом временного лага tau.

Показатель Херста H является мерой длительности долгосрочной зависимости процесса. Значение $H=0,5$ указывает на отсутствие долгосрочной зависимости. При $0 \leq H < 0,5$ временной ряд является трендонеустойчивым (антиперсистентным). Он более изменчив, чем случайный ряд, поскольку состоит из частых реверсов спад-подъем. При

0,5<H≤1 ряд трендоустойчив. Для определения значения H в работе используется метод спектрального анализа временных рядов. На рис. 4 в логарифмических координатах показан график спектральной плотности изучаемого процесса. Наибольшую мощность сигнал имеет на низкой частоте. С увеличением частоты мощность падает по степенному закону с показателем b, причем b = 2H - 1. По этой формуле можно найти показатель Херста H. Для изучаемого ряда он равен 0,6909. Процесс является персистентным (трендоустойчивым).

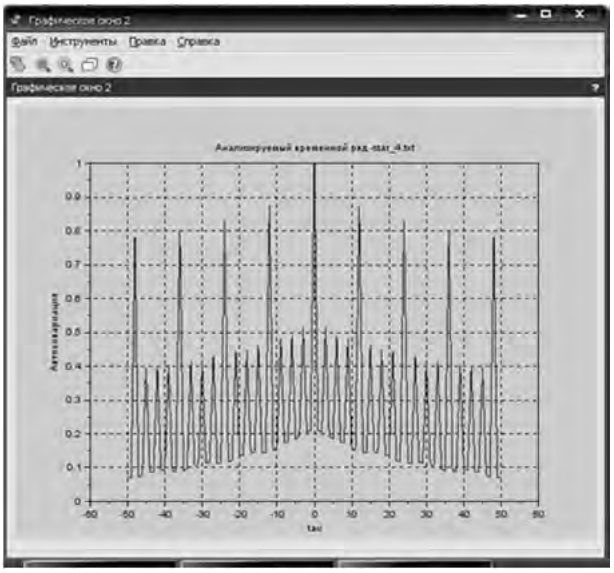


Рис. 3. АКФ временного ряда

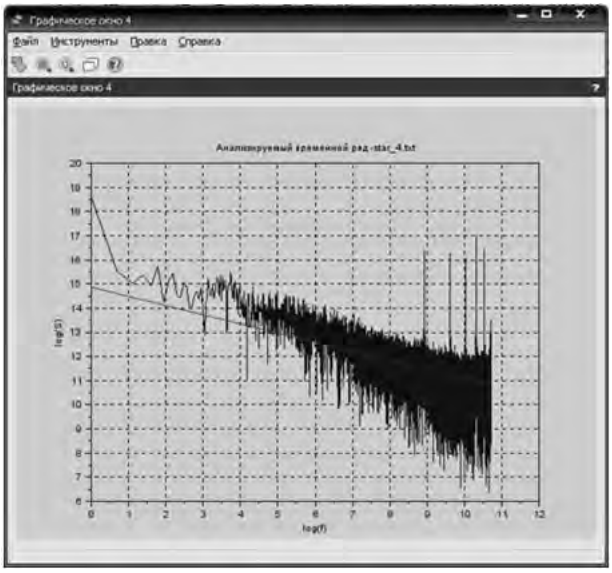


Рис. 4. Спектральная плотность временного ряда

Работа посвящена исследованию структуры видеотрафика. Получены следующие результаты: изучаемый временной ряд не подчиняется нормальному распределению и является персистентным.

1. Урьев Г.А. Исследование фрактальных свойств потоков трафика реального времени и оценка их влияния на характеристики обслуживания телекоммуникационных сетей. Автореферат диссертации. – М.: МЭИ, 2007. – 21 с.
2. MPEG-4 and H.263 Video Traces for Network Performance Evaluation. URL: http://www.tkn.ee.tu-berlin.de/research/trace/trace.html

УДК 004.932.75’1

ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ СКАНИРОВАННЫХ ДОКУМЕНТОВ НИЗКОГО КАЧЕСТВА

Гукай А.Е., Котенко В.Н., Лялин Р.О., Шарий Т.В.

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк

bumagniypacket@yandex.ru

Оптическое распознавание символов (Optical Character Recognition, OCR) остается привлекательным направлением для научных исследований

и бизнеса [1, 2], а тотальная оцифровка документов особенно актуальна сейчас, в эру Big Data, когда данные должны эффективно храниться и готовиться для оперативного анализа. Несмотря на популярность и высокое качество коммерческих OCR-приложений, в случае с зашумленными изображениями, их эффективность стремительно падает.

Авторами предложен робастный метод предварительной цифровой обработки изображений сканированных документов. На данном этапе производятся следующие операции: медианная фильтрация, бинаризация, выделение контуров текстовых областей, поворот документа, построчная и побуквенная сегментация. Медианная фильтрация позволяет значительно подавить фоновый шум. Для бинаризации применяется алгоритм Оцу, для выделения контуров текста – алгоритм Сузуки. Предложен метод адаптивной сегментации, позволяющий дополнительно отфильтровать незначащие для текста пиксели. На этапе распознавания символов применяются машины опорных векторов (SVM) как хорошо зарекомендовавший себя инструмент в задачах машинного обучения и распознавания образов.

В ходе работы создан инструментальный комплекс для исследований и описана методология работы с ним. На тестовых изображениях результаты распознавания колебались для разных параметров SVM, документов и шрифтов в пределах 72-98%, что можно считать удовлетворительным и перспективным результатом, т.к. это превышает средние показатели современных OCR-программ для зашумленных сканированных документов. В дальнейшем качество распознавания текста может быть улучшено за счет дополнительной постобработки изображений символов в виде расчета более эффективных и компактных дескрипторов изображения (например, гистограмм ориентированных градиентов).

1. Pai N. Optical Character Recognition: An Encompassing Review / N. Pai, V.S. Kolkure // International Journal of Research in Engineering and Technology. – 2015. – Vol. 4. – P. 407-409.
2. Marinai S. Machine Learning in Document Analysis and Recognition / S. Marinai, H Fujisawa. – Springer Berlin Heidelberg, 2008. – 433 p.

УДК 621.362

СИСТЕМА ОХЛАЖДЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

Евдулов Д.В., Евдулов О.В.
ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный технический университет», Россия, г. Махачкала
ole-ole-ole@rambler.ru

В настоящее время при проектировании радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) отдельной задачей является разработка соответствующей системы отвода теплоты от ее элементов [1]. Подобного рода системы позволяют обеспечить необходимый температурный режим РЭА, что повышает ее

надежность и продолжительность бесперебойной работы. В настоящей работе представлена комбинированная система охлаждения элементов РЭА, выполненная на основе использования тепловых аккумуляторов с плавящимися веществами с принудительным воздушным теплоотводом.

Конструкция устройства приведена на рис. 1.

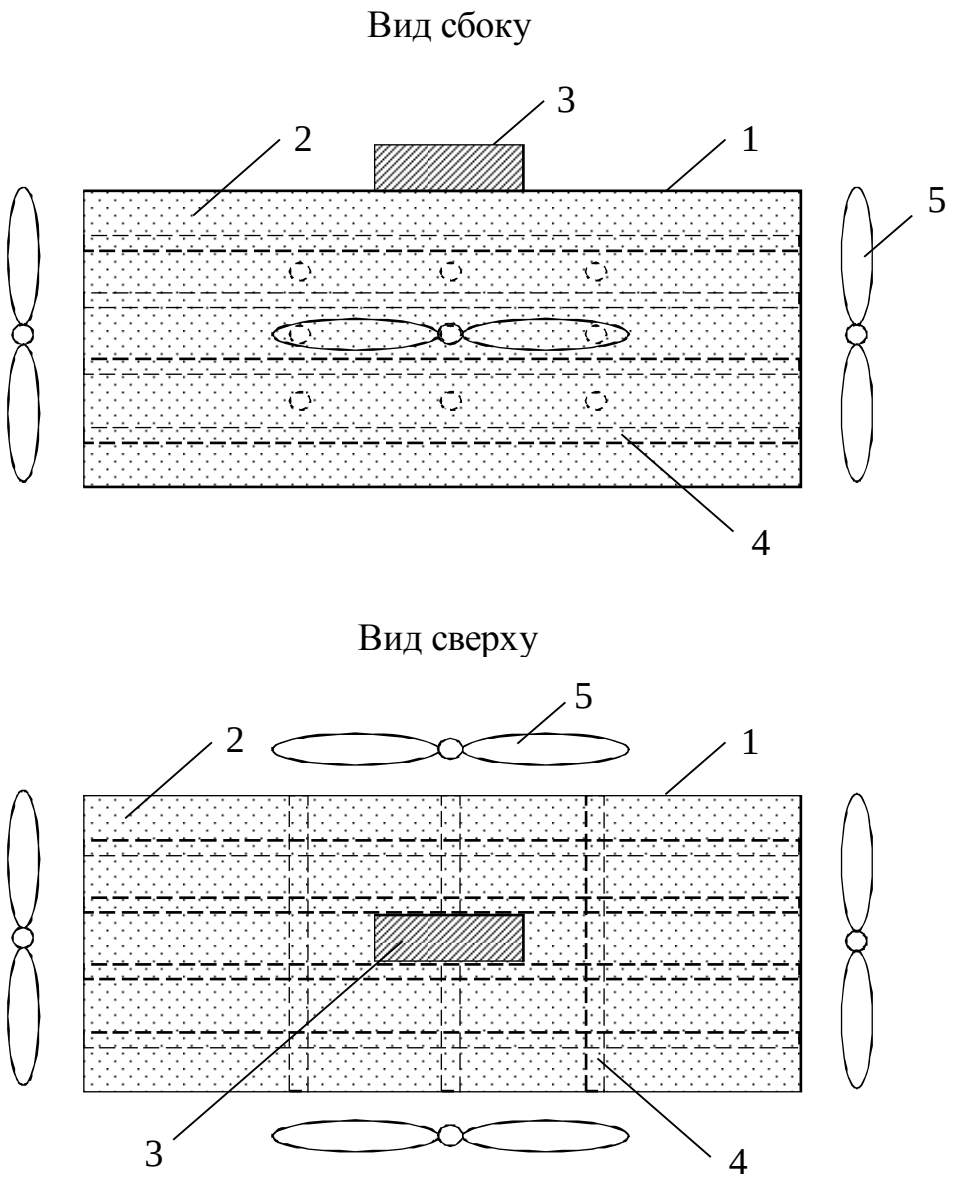


Рис. 1. Конструкция системы

Устройство содержит тонкостенный металлический контейнер 1, заполненный теплоаккумулирующим веществом 2, на одной из торцевых поверхностей которого размещается элемент РЭА 3. В металлическом контейнере 1 выполнены сквозные горизонтально расположенные воздуховоды 4, разделенные на две группы. Воздуховоды первой группы имеют протяженность по ширине контейнера 1 так, что их начала и концы соответствуют его двум противоположным боковым стенкам (длина воздуховодов равна ширине контейнера). Воздуховоды второй группы имеют

протяженность по толщине контейнера 1 так, что их начала и концы соответствуют его передней и задней стенкам (длина воздуховодов равна толщине контейнера). При этом обе группы воздуховодов ориентированы друг относительно друга перпендикулярно. Во время паузы в работе элемента РЭА 3 осуществляется прокачивание воздуха через воздуховоды 4 посредством двух пар вентиляторов 5, запитываемых от источника электрической энергии (на рис. 1 не показан). Первая пара вентиляторов осуществляет прокачивание воздуха через первую группу воздуховодов, а вторая пара вентиляторов – через вторую группу воздуховодов. В каждой паре один вентилятор работает на вдув воздушного потока, а второй – на его выдув.

В процессе цикла работы элемента РЭА 3 тепло, поступающее от него, передается металлической емкости 1 и через поверхность соприкосновения рабочему веществу 2. Происходит прогрев рабочего вещества 2 до температуры плавления и процесс плавления. Температура оболочки металлической емкости 1 и, соответственно, элемента РЭА 3 не будет существенно возрастать по сравнению с температурой плавления рабочего вещества 2, пока существуют обе фазы (твердая и жидкая). По окончании цикла работы элемента РЭА 3 остывание и затвердевание рабочего вещества 2 происходит за счет принудительного прокачивания воздуха вентиляторами 5 через воздуховоды 4.

Прокачка воздуха через две группы перпендикулярно расположенных воздуховодов 4 позволит интенсифицировать процесс охлаждения и затвердевания рабочего вещества 2 по сравнению с прототипом за счет увеличения площади теплоотвода, что связано с увеличением количества воздуховодов.

1. Дульнев Г.И. Тепло- и массообмен в радиоэлектронной аппаратуре. – М.: Высшая школа, 1984.
2. Алексеев В.А., Чукин В.Ф., Шишанов А.В. Прогнозирование теплового режима бортовой радиоэлектронной аппаратуры // Системотехника. – 2004. – № 2.

УДК 621.375.4

ВЛИЯНИЕ ВЫХОДНОЙ ЕМКОСТИ ТРАНЗИСТОРА И АКТИВНЫХ ПОТЕРЬ В НАГРУЗОЧНОЙ ЦЕПИ НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАСЫЩЕННОГО УСИЛИТЕЛЯ КЛАССА F_3

Ефимович А.П.
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк
yefymovych@gmail.com

Одними из важнейших параметров, которые необходимо учитывать при разработке транзисторных усилителей мощности (УМ), являются выходная емкость транзистора (C_{out}) и активные потери в нагрузочной цепи усилителя. Это особенно важно для УМ нагрузочные цепи которых

совместно с C_{out} образуют резонансные контуры, настроенные на основную (первую) и высшие гармоники. Примерами таких усилителей могут служить УМ класса F_3 [1] и его разновидность насыщенный УМ класса F_3 [2, 3], имеющие одинаковые нагрузочные цепи, но отличающиеся формами тока на стоке транзисора. В настоящее время сильно возрос интерес к насыщенному УМ класса F_3, что вызвано его большим стоковым КПД (η_D) и выходной мощностью (P_{out}) по сравнению с традиционным (не насыщенным) УМ класса F_3 [1]. Вместе с тем для данного усилителя нет никаких сведений о том, каким образом величина C_{out} влияет на его энергетические характеристики с учетом активных потерь в нагрузочной цепи.

В данной работе был рассмотрен высокочастотный (ВЧ) насыщенный УМ класса F_3 (рис. 1). Нагрузочная цепь усилителя была выполнена по схеме, предложенной в [3], позволяющая с учетом C_{out} за счет подстройки емкостей C_4 и C_5 настраивать независимо друг от друга нагрузочные импедансы на первой и третьей гармониках $Z(f_0)$ и $Z(3f_0)$.

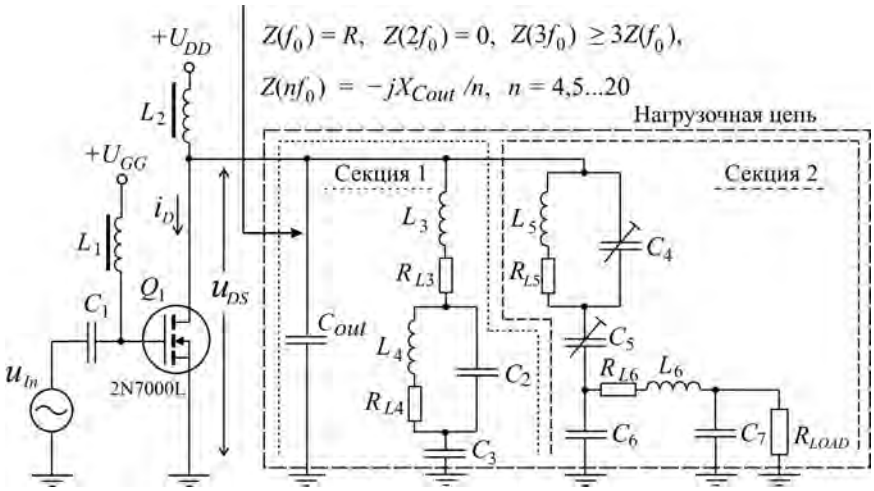


Рис. 1. Схема исследуемого УМ класса F_3

Значения элементов секции 1 нагрузочной цепи (рис. 1) рассчитываются по формулам, приведенным в [4],

$$L_3 = 1/(6\omega_0^2 C_{out}), \qquad L_4 = 5/3(L_3), \qquad C_2 = 12/5(C_{out}), \qquad (1)$$

где $\omega_0 = 2\pi f_0$, f_0 – рабочая частота, C_3 – разделительный конденсатор. В секции 2 на рис. 1 L_5C_4 – контур, настроенный на третью гармонику $(3f_0)$. Величина C_5 выбирается такой, чтобы на f_0 элементы L_5 и C_4 совместно с C_5 образовывали последовательный контур. Поэтому на f_0 транзистор нагружен на нагрузочное сопротивление (R), которое трансформируется в сопротивление нагрузки (R_{LOAD}) с помощью П-контура, образованного эементами C_6, C_7 и L_6.

В [3] было показано, что за счет емкостного импеданса $Z(nf_0) = -jX_{Cout}/n$, создаваемого C_{out} на высших гармониках $(n = 4,5,...)$ можно при $X_{Cout} \geq R$ $(1/\omega_0 C_{out} \geq R)$ дополнительно повысить η_D и P_{out}

насыщенного УМ класса F_3. Достигалось это за счет роста амплитуд высших гармоник напряжения сток-исток (u_{DS}) при увеличении реактивного сопротивления X_{Cout}. При этом на кристалле транзистора уменьшалась площадь перекрытия форм u_{DS} и тока стока i_D, что приводило к снижению рассеиваемой мощности потерь в транзисторе.

Следует отметить, что расчетные значения L_3, L_4 и C_2 в (1) зависят от выбора C_{out}. Поэтому представляет интерес рассмотреть влияние на η_D и P_{out} не только C_{out}, но и активных потерь в L_3 и L_4, которые не учтены в (1). В данной работе активные потери во всех катушках индуктивности учитывались с помощью последовательно включенных сопротивлений R_L (рис. 1) и затем пересчитывались в добротности по формуле $Q_L = X_L / R_L$, где $X_L = \omega_0 L$. Поскольку L_5 и L_6 не зависят от выбора C_{out}, добротности Q_{L5} и Q_{L6} были заданы постоянными 100 и 120. Для простоты значения Q_{L3} и Q_{L4} выбирались равными ($Q_{L3} = Q_{L4}$). Значение величины C_{out} учитывалось путем сравнения X_{Cout} со значением $Z(f_0) = R$. В данном случае $R = 200$ Ом. Импеданс $Z(3f_0)$ был чисто активным, при котором выполнялось условие высокоэффективной работы УМ класса F_3 ($Z(3f_0) \geq 3Z(f_0)$).

Моделирование усилителя выполнялось методом гармонического баланса. В моделировании использовалась упрощенная модель полевого транзистора 2N7000L [3]. Напряжение питания было равно $U_{DD} = 25$ В. Напряжение смещения $U_{GG} = 1{,}86$ В обеспечивало угол отсечки 90°. Рабочая частота была равна $f_0 = 13{,}56$ МГц.

На рис. 2 приведены зависимости η_D и P_{out} от величины добротностей Q_{L3} и Q_{L4}, полученные при различных значениях X_{Cout} для насыщенного УМ класса F_3. В том случае, когда $X_{Cout} = (5-10)R$, уменьшение добротностей Q_{L3}, Q_{L4} со значений ∞ (L_3, L_4 без потерь) до 10 снижало η_D

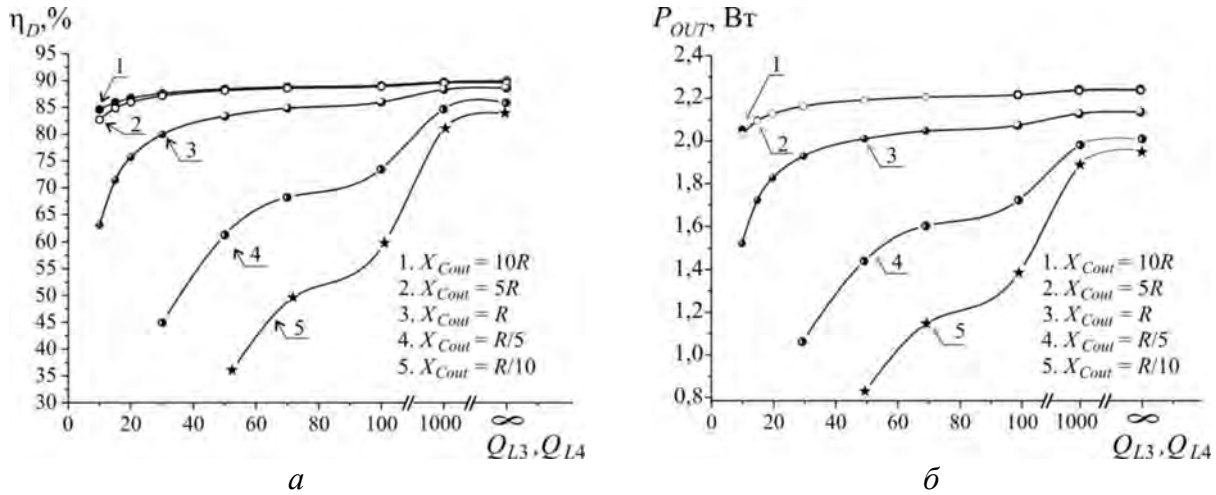


Рис. 2. Зависимости η_D (*а*) и P_{out} (*б*) от величин $Q_{L3} = Q_{L4}$ при различных значениях X_{Cout} для насыщенного УМ класса F_3

не более чем на 6,9 % (рис. 2, *а*). Выходная мощность усилителя при этом снижалась на 9,3 % (рис. 2, *б*). Когда $X_{Cout} = (0{,}1-1)R$ уменьшение Q_{L3} и Q_{L4} оказывало гараздо большее влияние на снижение величин η_D и P_{out} (рис. 2). В этом случае уменьшение Q_{L3}, Q_{L4} со значений ∞ до 100 уже снижало η_D на 2,6 % при $X_{Cout} = R$ и на 24,9 % при $X_{Cout} = 0{,}1R$ (рис. 2, *а*). Значение P_{out} снижалось на 2,9 % при $X_{Cout} = R$ и на 28,7 % при $X_{Cout} = 0{,}1R$ (рис. 2, *б*).

Возрастание влияния величины добротностей Q_{L3} и Q_{L4} на η_D и P_{out} при снижении X_{Cout} объясняется тем, что с ростом C_{out} в секции 1 происходит возрастание резонансных токов, протекающих в индуктивностях. В свою очередь это приводит к генерации мощности потерь на R_{L3} и R_{L4}.

Таким образом, для получения высоких значений η_D в насыщенном УМ класса F_3 необходимо использовать транзисторы с малыми выходными емкостями, значения которых обеспечивают выполнение условия $X_{Cout} > R$. При этом с ростом X_{Cout} происходит расширение (в сторону уменьшения добротности) диапазона значений Q_{L3} и Q_{L4}, при которых может быть получен высокий η_D.

1. Raab F.H. Maximum Efficiency and Output of Class-F Power Amplifiers // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. – 2001. – Vol. 49, No.6. – P. 1162-1166.
2. Moon J. Jee S., Kim J., Kim B. Behaviors of Class-F and Class-F^{-1} Amplifiers // IEEE Transactions on Microwave Theory and Tec niques, Vol. 60, No. 6, June 2012. – P. 1937-1951.
3. Ефимович А.П., Крыжановский В.Г. Исследование энергетических характеристик насыщенного усилителя класса F // Радиотехника. Межвед. науч.-техн. сб. Харьков, 2014. – Вып. 178. – С.84-92.
4. Grebennikov A.V. Circuit design technique for high efficiency class F amplifiers // Proc. of IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Digest. – 2000. – Vol. 2. – P. 771-774.

УДК 004.934.2

ОБНАРУЖЕНИЕ ГОЛОСОВОЙ АКТИВНОСТИ НА ЭТАПЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

Котенко В.Н., Котенко Ю.В., Шапран В.Н., Шарий Т.В.
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк
lbemkol@gmail.com

Обнаружение голосовой активности (Voice Activity Detection, VAD) [1–3] заключается в выявлении во входном акустическом сигнале участков звучащей речи для их отделения от участков фонового шума или тишины. Данная задача весьма актуальна в цифровой обработке звука. Например, в стандарте GSM G.729 [4] используется два модуля VAD для кодирования речевых данных. Алгоритмы VAD применяются в робастных системах распознавания речи, важных в социальной робототехнике и других технических областях.

Типовой процесс VAD состоит из двух этапов: извлечения признаков и принятия на их основе решения о звучании речи. Признаки рассчитываются в окнах анализа длиной 20–30 мс с перекрытием 10 мс. Исследовался алгоритм обнаружения голосовой активности на основе статистики следующих кратковременных характеристик акустического сигнала:

1. Коэффициент вариации энергии сигнала, рассчитываемой в каждом окне по формуле:

$$E = \frac{1}{N}\sum_{i=0}^{N-1} x_i^2 \,, \tag{1}$$

где x_i – i-ый отсчет сигнала; N – размер окна анализа (количество отсчетов в окне).

2. Стандартное отклонение частоты смены знака в окне сигнала, определяемой как:

$$ZCR = \frac{1}{2N}\sum_{i=0}^{N-2}\left|\mathrm{sgn}(x_{i+1}) - \mathrm{sgn}(x_i)\right| \tag{2}$$

где sgn(·) – функция знака; x_i – i-ый отсчет сигнала; N – размер окна анализа.

3. Минимум энтропии сигнала, рассчитываемой в окне сигнала как:

$$S = -\sum_{i=0}^{N-1} x_i \cdot \log_2 x_i \,, \tag{3}$$

где x_i – i-ый отсчет сигнала; N – размер окна анализа.

В ходе исследований был создан программный продукт на языке C# .NET, способный анализировать звуковые файлы на наличие голосовой активности (рис. 1).

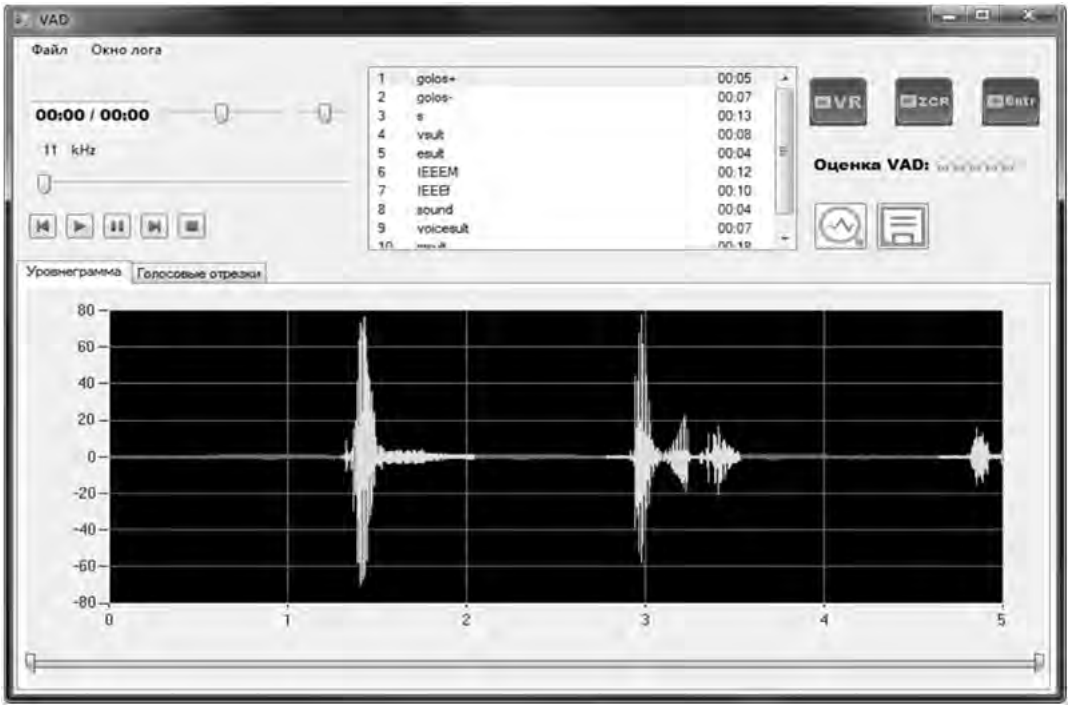


Рис. 1. Главное окно приложения VAD

На основе предварительно записанных и обработанных посторонними шумами аудиофайлов с речью экспериментально установлено, что статистики энергии и частоты смены знаков для речевых сегментов имеют большие значения, чем для тишины или шумов. В то время как минимум энтропии для речи имеет более низкое значение по сравнению с неречевыми участками. Таким образом, на основе сравнения данных характеристик с установленными пороговыми значениями можно делать предварительные выводы о наличии голосовой активности в звуковом сигнале.

1. S. Graf et al., Features for voice activity detection: a comparative analysis // *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, 2015*. – 2015:91.
2. P. Ghosh, A. Tsiartas, S. Narayanan. Robust voice activity detection using long-term signal variability // *IEEE Transactions on Audio, Speech and Language Processing*. – Vol. 19(3). – 2011. – P. 600-613.
3. ETSI. Universal mobile telecommunication systems mandatory speech codec speech processing functions, AMR speech codec; voice activity detector (3GPP TS 26.094 version 4.0.0 release 4). – 2001.
4. ITU. ITU-T Recommendation G.729 Annex B A silence compression scheme for G.729 optimized for terminals conforming to Recommendation V.70. – 1996.

УДК 004.932

АДАПТАЦИЯ РОЕВОГО АЛГОРИТМА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ВЫДЕЛЕНИЯ ГРАНИЦ ОБЪЕКТОВ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ

Котенко В.Н, Полищук И.Н., Шарий Т.В., Котенко Ю.В.
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк
djzuumik@gmail.com

Технологический прогресс в области компьютерного зрения привёл к необходимости создания систем искусственного интеллекта, способных производить идентификацию объектов на изображениях. Распознавание границ объектов является нетривиальной задачей, для решения которой предложено множество методов, каждый из которых доказал свои преимущества в узкоспециализированных областях с исходным набором специфических исходных параметров. Задача выделения границ находит применение в различных сферах, начиная от распознавания лиц, заканчивая поиском дефектов в изделиях на производстве.

В задачах выделения границ объектов на изображении наиболее распространёнными являются следующие алгоритмы: LoH, K-means, Prewitt, детектор границ Canny, перекрёстный оператор Roberts. Большинство алгоритмов основано на определении градиента яркости. В качестве параметра обычно выступает порог. Изменение данного параметра очень сильно влияет на результаты обработки изображения.

Большинство существующих алгоритмов детектирования границ используют информацию небольшого участка изображения для определения

принадлежности пикселя к границе. Таким образом, не используется часть данных, которые могут помочь в решении задачи выделения границ.

Площадь покрытия при определении контуров объектов имеет большое значение для точности локализации границы. Для решения задачи с использованием широкой области поиска в работе предложено использовать алгоритм детектирования границ роем частиц (ДГРЧ). В ходе работы концептуальная модель алгоритма роя частиц:

$$y_i(t+1) = \begin{cases} y_i(t), \text{если } f(x_i(t+1)) \le f(y_i(t)) \\ x_i(t+1), \text{если } f(x_i(t+1)) > f(y_i(t)) \end{cases} \quad (1)$$

$$Y(t) \in \{y_0(t), y_1(t), ..., y_s(t)\},$$
$$f(Y(t)) = \max\{f(y_0(t), f(y_1(t), ..., f(y_s(t))\}, \quad (2)$$

была адаптирована для решения задачи выделения границ путём представления частицы в виде кривой.

Так как большая часть пикселей на границе имеет одинаковую или близкую яркость, введены два новых параметра:

1. Гомогенность кривой.
2. Похожесть пикселей кривой.

Для подсчёта средней гомогенности кривой H_C использован оператор гомогенности (общности) H_p пикселя P и соседних восьми пикселей. Формально оператор был определён следующим образом:

$$H_p = \max(\left|I_p - I_{N_i}\right| \; i = 1...8), \quad (3)$$

где P – текущий пиксель, для которого считается H_p;

N_i – это i-тый сосед пикселя P;

I_p – яркость пикселя P.

Введён порог ε показывающий на сколько, в среднем, пиксели внутри ограничиваемой области похожи между собой. ε – число от 0 до 255 включительно, вычисляемое экспериментально перед началом работы алгоритма, путём проверки участков на среднюю гомогенность пикселей.

Так как кривая – это потенциальная граница, то пиксели, принадлежащие кривой, должны отличаться от пикселей фона более чем на это пороговое значение ε. Поэтому справедлива следующая формула:

$$H_p = \begin{cases} H_p, \text{если } H_p > \varepsilon \\ 0, \text{если } H_p \le \varepsilon \end{cases}, \quad (4)$$

Гомогенность кривой – параметр, показывающий среднюю гомогенность пикселей, принадлежащих текущей кривой:

$$H_C = \frac{1}{L_C} \sum_{i=1}^{s} H_{P_i} \quad (5)$$

где s – количество пикселей в кривой;

P_i – i-тый пиксель кривой C;

H_{P_i} – оператор гомогенности i-го пикселя.

L_C – длина кривой C, которая вычисляется по формуле:

$$L_C = \sum_{i=1}^{s-1} \sqrt{(x_{P_{i+1}} - x_{P_i})^2 + (y_{P_{i+1}} - y_{P_i})^2} \quad (6)$$

где (x_{p_i}, y_{p_i}) – координата пикселя P_i.

Второй параметр, – похожесть пикселей кривой U_c, показывает какая, в среднем, разница между яркостью начального пикселя кривой и яркостями остальных пикселей. Похожесть пикселей кривой определяется по формуле:

$$U_C = \frac{1}{L_C} \sum_{i=2}^{s} \left| I_{P_i} - I_{P_1} \right| \quad (7)$$

Выведена функция оценки кривой в качестве границы с использованием описанных выше параметров H_C и U_c:

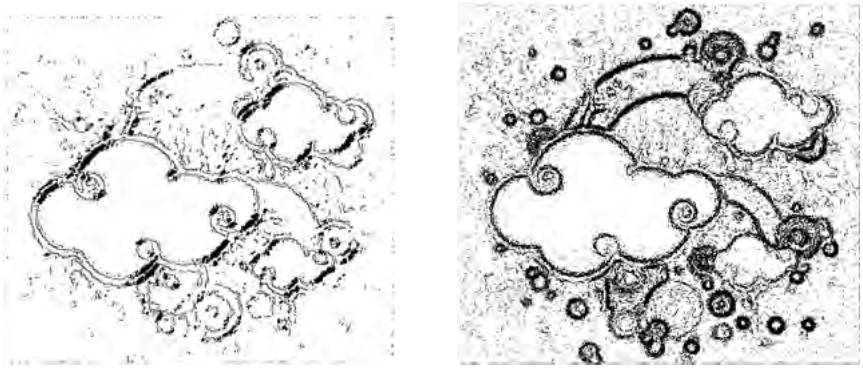
$$f_C = \begin{cases} -\infty, \text{если } H_C \le \varepsilon \\ (H_C - U_C) * L_C, \text{если } H_C > \varepsilon \end{cases}. \quad (8)$$

Формула (8) показывает, что если средняя гомогенность кривой меньше порога (кривая неотличима от фона), то функция принимает бесконечно малое значение. Если же средняя гомогенность кривой больше заданного порога, то результатом функции будет являться произведение длины кривой на разность средней гомогенности кривой и похожести пикселей кривой.

Подстановка найденной оценочной функции f_C в формулы 1 и 2 для нахождения оптимальной позиции позволяет получить глобальную лучшую позицию Y, которая является искомой границей. Повторение данной операции для каждого пикселя даёт возможность получить набор кривых, которые представляют собой выделенные границы изображения.

Для тестирования алгоритма ДГРЧ разработано приложение на языке C#.

Экспериментально доказано, что применение метода позволяет получить границы изображения за приемлемый промежуток времени с высокой точностью локализации и отсутствием разрывов в кривых даже при наличии значительных шумов. На рис. 1 показано сравнение результатов работы алгоритма Canny и алгоритма ДГРЧ.

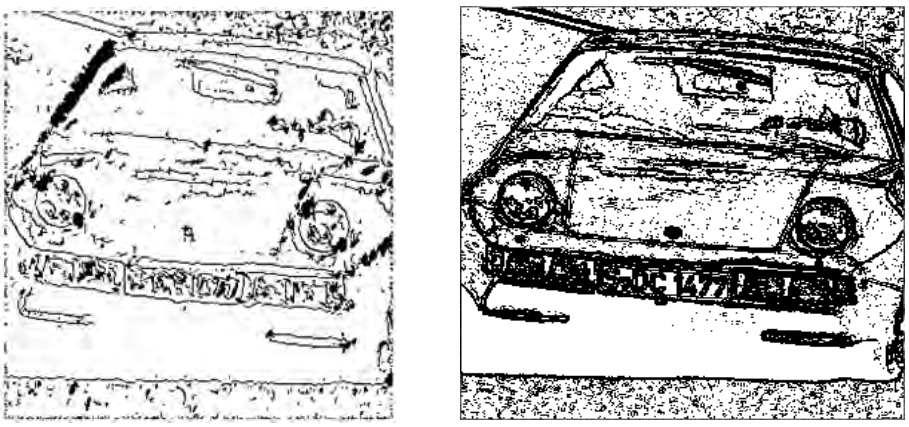


а б

Рис. 1. Сравнение работы алгоритмов на цветном изображении с 25% белого аддитивного шума: а – Canny; б – ДГРЧ

На рис. 2 представлены результаты работы на зашумлённом рисунке со значимым объектом (номерными знаками), которые могут использоваться

для распознавания. Разработанный алгоритм демонстрирует высокую сохранность элементов изображения, что позволяет получить информацию о значимом объекте



а б

Рис. 2. Сравнение работы алгоритмов со значимым объектом при 25% белого шума: а – Canny; б – ДГРЧ

Таким образом, результаты проведения экспериментов свидетельствуют о высокой эффективности работы алгоритма ДГРЧ без использования фильтра и его стабильности в условиях средней зашумлённости. Синтезированная модель и её программная реализация могут быть платформой для решения более сложных задач, связанных с обработкой информации в сфере компьютерного зрения.

УДК 621.375.4

ВЛИЯНИЕ НАСТРОЙКИ ИМПЕДАНСА ТРЕТЬЕЙ ГАРМОНИКИ НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАСЫЩЕННОГО УСИЛИТЕЛЯ КЛАССА F_3

Павлов М.Л., Ефимович А.П.
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк
maksim-pavlov199294@mail.ru

В последнее время одним из наиболее исследуемых усилителей мощности (УМ) является высокоэффективный насыщенный класс F_3 [1,2]. Вместе с тем теория данного УМ развита все еще довольно слабо, что ограничивает область его практического применения. Одним из важнейших вопросов касающихся проектирования насыщенного УМ класса F_3 является влияние настройки нагрузочного импеданса на третьей гармонике на энергетические характеристики усилителя.

В данной работе был рассмотрен идеализированный высокочастотный (ВЧ) насыщенный УМ класса F_3 (рис. 1). В усилителе использовалась модель

полевого транзистора 2N7000L, статические характеристики которой описывались в моделировании с помощью уравнений Shichman-Hodges [3]. Моделирование усилителя выполнялось методом гармонического баланса. Напряжение питания было равно $U_{DD} = 25$ В. Напряжение смещения $U_{GG} = 1{,}86$ В обеспечивало угол отсечки 90°. Рабочая частота была равна $f_0 = 13{,}56$ МГц.

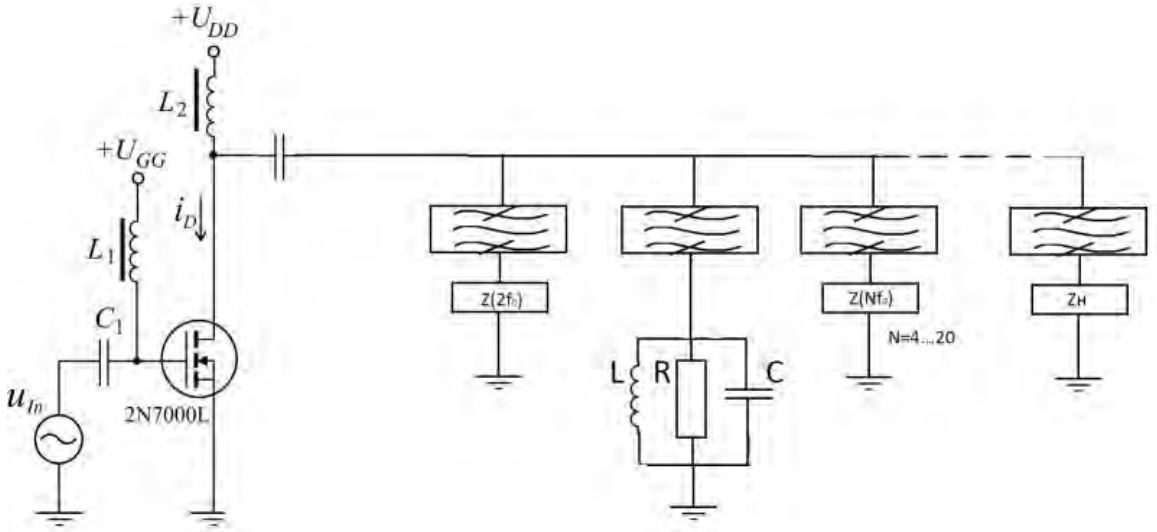
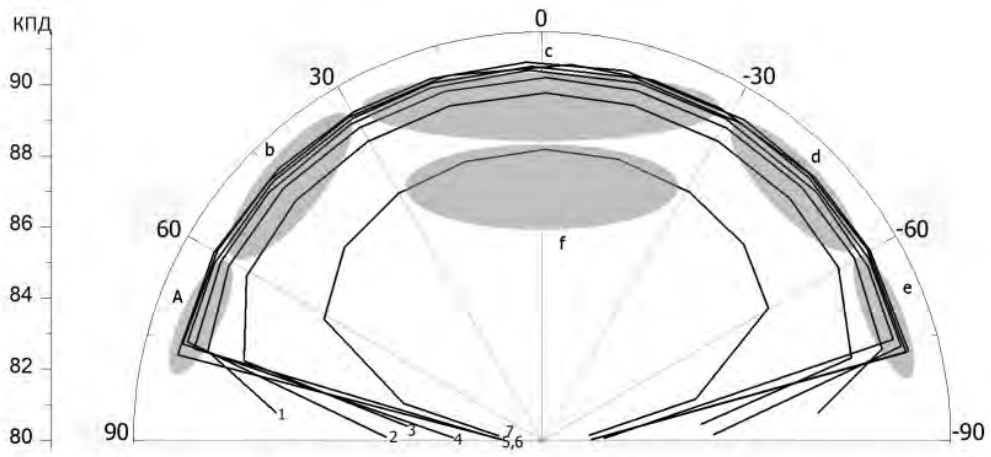


Рис. 1. Схема исследуемого УМ класса F_3

На стоке транзистора нагрузочная цепь на первой гармонике создавала активный нагрузочный импеданс $Z(f_0) = 200$ Ом, на второй гармонике импеданс $Z(2f_0) = 0$ Ом, на третьей гармонике выполнялась настройка активной и реактивной составляющих импеданса $Z(3f_0)$, на всех гармониках выше третьей нагрузочные импедансы равнялись нулю $Z(nf_0) = 0$ Ом, где $n = 4{,}5{,}...{,}20$.

На рис. 2 приведены зависимости стокового КПД (η_D) и выходной мощности (P_{out}) от значений модуля (области выделенные серым) и фазы нагрузочного импеданса на третьей гармонике, полученные при разных значениях активного ($R_{3)}$ и реактивных сопротивлений. Из приведенных графиков следует, что максимальный η_D соответствует импедансу состоящему из чисто активного сопротивления, а также большую роль играет соотношение активной составляющей импеданса третьей гармоники к нагрузочному сопротивлению в данном случае равном R =200 Ом, что соответствует условию высокоэффективной работы УМ класса F_3 ($Z(3f_0) \geq 3Z(f_0)$).

Снижение стокового КПД и выходной мощности объясняется нарушением противофазности третьей и первой гармоник напряжения сток-исток, что приводит к увеличению площади перекрытия форм тока стока и напряжения сток-исток. В свою очередь это способствует росту мощности рассеиваемой на кристалле транзистора.



1-R_3=2000
2-R_3=1700
3-R_3=1400
4-R_3=1100
5-R_3=800
6-R_3=500
7-R_3=200

A- $|Z|$=23…1000 Ом
B- $|Z|$=1386…1675 Ом
C- $|Z|$=1690…1997 Ом
D- $|Z|$=1386…1675 Ом
E- $|Z|$=23…1000 Ом
F- $|Z|$=199…171 Ом

Рис. 2. Зависимости стокового КПД и выходной мощности от модуля и фазы импеданса на третьей гармонике.

Полученные результаты имеют большое значение при проектировании нагрузочных цепей для насыщенного УМ класса F_3. В частности результаты роботы могут служить рекомендациями к дальнейшей разработке широкополосного УМ где обеспечить настройку нагрузочного импеданса $Z(3f_0)$ довольно сложно и при этом необходимо использовать определенный диапазон значений нагрузочных импедансов при которых в заданной полосе частот обеспечиваются высокие стоковый КПД и выходная мощность.

1. Ефимович А.П., Крыжановский В.Г. Исследование энергетических характеристик насыщенного усилителя класса F // Радиотехника. Межвед. науч.-техн. сб. Харьков, 2014. – Вып. 178. – С.84-92.
2. Moon J. Jee S., Kim J., Kim B. Behaviors of Class-F and Class-F^{-1} Amplifiers // IEEE Transactions on Microwave Theory and Tec niques, Vol. 60, No. 6, June 2012. – P. 1937-1951.
3. Shichman H., Hodges D. Modeling and Simulation of Insulated-Gate Field-Effect Transistor Circuits // IEEE J. of Solid-State Circuits, Vol. 3, No. 3, Sept 1968. P. 285–289. 14

УДК 004.62:004.77

ЕДИНАЯ РЕГИСТРАЦИОННАЯ БАЗА ГРАЖДАН

Толстых В.К., Киселёва Л.Н.
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк
mail@tolstykh.com

Каждая организация собирает и поддерживает различные регистрационные данные о своём персонале, клиентах, пациентах, студентах

и т. п. Это – паспортные данные, документы об образовании, о состоянии здоровья и т. д. Таким образом, при обращении каждого гражданина в новую организацию, на него заводят новое личное дело и, если это современная организация с автоматизированной системой управления, то данные из личного дела вводят в информационную систему организации (ИСО).

Очевидно, что такая традиционная концепция учёта кадров (сотрудников, клиентов, пациентов и т.п.) не соответствует тенденциям развития современного информационного общества. Многократный ручной ввод и множественное хранение одних и тех же данных, причём не всегда актуальных, – это расточительство для государства и неудобство для его граждан. Корпоративные базы ИСО, не взаимодействующие друг с другом и с гражданами, – это «тупик» для автоматизации государственных процессов в целом.

Созданиеединой регистрационной базы(ЕРБД) граждан в Internet-пространстве с использованием сервис-ориентированных архитектур позволит заинтересованным организациям хранить, модифицировать и автоматизировано потреблять в реальном времени готовые актуальные регистрационные данные [1–4]. При этом сами граждане смогут через Internet контролировать и дополнять свои данные, оставляя для организаций только функции проверки и подтверждения регистрационных данных. Сразу же отметим, что ИСО может получить доступ к данным личности ЕРБД только после обращения гражданина в эту организацию и открытия им доступа посредством личного пароля.

ЕРБД позволит экономить не только человеческие и временные ресурсы, но откроет принципиально новые возможности автоматизации управления в различных сферах деятельности всего государства, позволит быстро и с минимальными затратами проводить статистические и социологические исследования.

Естественно, ЕРБД не должна заменять ведомственные базы, в которых содержится специализированная информация о гражданах (медицинская, коммерческая…), она должна быть их ядром, через которое ведомства, как и все другие организации, могут пополнять и синхронизировать основные данные своих баз. При этом ведомства могут отказаться от хранения дублирующей информации.

Особенно актуально внедрение ЕРБД в сфере образования от школ до вузов. Именно в школах создаются массовые, объёмные регистрационные данные (личные дела учеников), которые, к сожалению, в большинстве случаев хранятся в бумажном виде и, естественно, не участвуют в процессах автоматизации ни школ, ни отделов, ни управлений образования, ни всего образования в целом.

В Донецком национальном университете, в рамках проекта Web-личность, ведутся разработки систем по созданию и использованию ЕРБД, образующих единое информационное пространство, в первую очередь – в образовании. Способ формирования и функционирования единой регистрационной базы данных гражданпоказан на рисунке. Общее

представление о проекте можно получить посредством демонстрационного сайта http://webperson.com.ua.

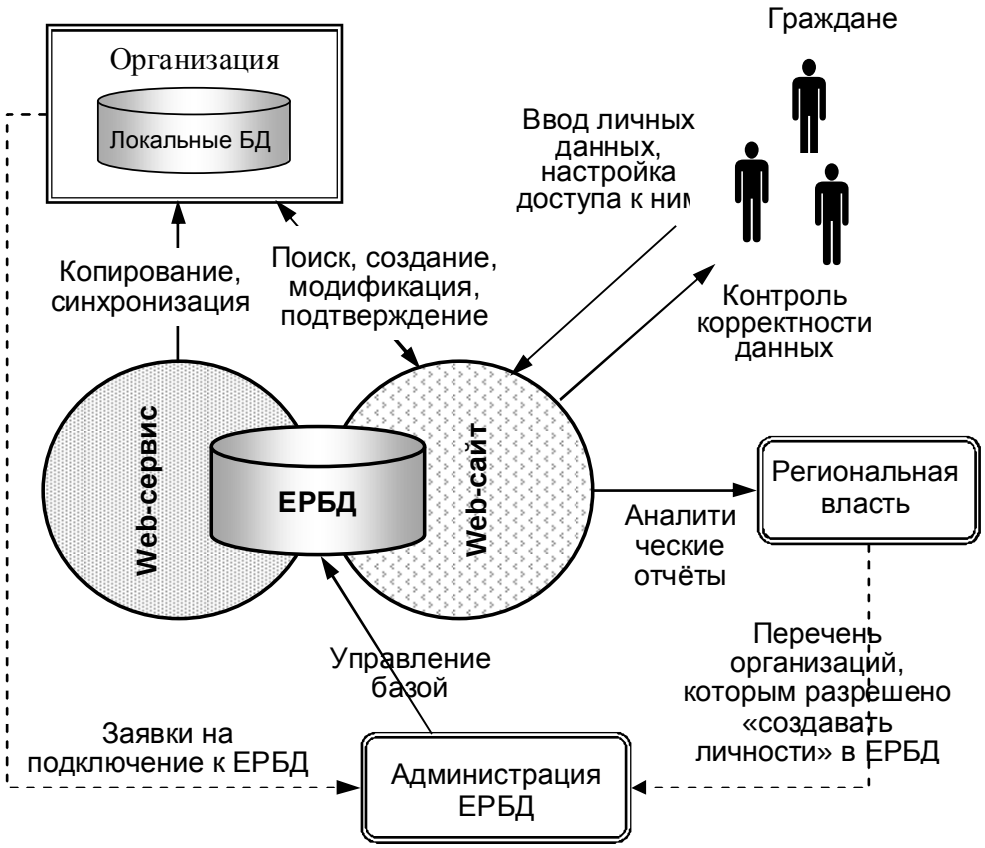


Рис. Способ формирования и функционирования единой регистрационной базы данных граждан

Каждый человек, зарегистрированный в ЕРБД, может самостоятельно через Internet пополнять и контролировать свои данные, доступ к данным, искать учебу и работу, получать сообщения из учебных заведений или организаций, которые подключились к единому информационному пространству проекта. При подаче документов в такие организации теперь никогда не надо будет заполнять никакие формы документов, не надо долго ждать приёма документов, они будут копироваться из ЕРБД.

Для автоматизированного доступа к данным ЕРБД в проекте Web-личность разработано множество Web-сервисов. Теперь любая ИСО, участвующая в проекте, может автоматически в on-line режиме через Internet подключаться к ЕРБД и получать любые необходимые данные своего контингента.

Выводы. Централизованное хранение регистрационных данных граждан в ЕРБД позволит:

- всем организациям избавиться от необходимости рутинной ручной регистрации граждан, которые к ним поступают;
- личностям самостоятельнооднократно вводить и,впоследствии, контролировать свои данные;

- осуществлять множественный контроль данных ЕРБД различными организациями и самими личностями;
- организациям делать массовые E-mail рассылки и публиковать объявления для целевых групп из ЕРБД;
- быстро и с минимальными затратами проводить статистические и социологические исследования;
- всем организациям использовать в on-line режиме актуальные регистрационные данные граждан для автоматизации своей работы.

1. Толстых В.К., Киселёва Л. Н. О единой регистрационной базе граждан и структуре данных личности в этой базе. – Реєстрація, зберігання і обробка даних, N3, Т. 13.- 2011.- С. 81-91.
2. Толстых В.К., Сервис-ориентированная архитектура информационных систем организаций для взаимодействия с единой базой граждан. – Системи обробки інформації. – Харків: ХУПС. – 2012. – Вип. 7(105) . – С. 150-153.
3. Патент 60436 Україна, МПК G06Q 90/00, G06F 17/40, G06F 17/30. Спосіб формування єдиної реєстраційної бази даних громадян / Толстих В.К., Кисельова Л.Н.; заявники та власники Донецький національний ун-т, Толстих В.К., Кисельова Л.Н. – № u201011884; заявл. 07.10.2010; опубл. 25.06.2011, Бюл. № 12/2011.
4. Патент 60435 Україна, МПК G06Q 90/00, G06F 17/40. Спосіб контролю та споживання даних єдиної реєстраційної бази даних громадян / Толстих В.К., Кисельова Л.Н.; заявники та власники Донецький національний ун-т, Толстих В.К., Кисельова Л.Н. – № u201011883; заявл. 07.10.2010; опубл. 25.06.2011, Бюл. № 12/2011.

УДК 004.853

ОСОБЕННОСТИ СТАНОВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Третьяков И.А, Павлов М.Л, Тебенева Т.С, Данилов В.В.
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк

Мы переживаем один из редких в истории моментов, характеризующийся трансформацией нашей "материальной культуры" через работу новой технологической парадигмы, построенной вокруг информационных технологий.

Информационные технологии включают совокупность технологий в микроэлектронике, создании вычислительной техники (машин и программного обеспечения), телекоммуникации/вещании и оптико-электронной промышленности. В дополнение в область информационных технологий, можно отнести генную инженерию и расширяющееся множество ее достижений и применений. Во-первых, потому, что генная инженерия сосредоточена на декодировании, управлении и возможном перепрограммировании информационных кодов живой материи. Но также и потому, что в 1990-х годах биология, электроника и информатика сближаются и взаимодействуют в области применений, открытия новых

материалов, и, что более фундаментально, в своем концептуальном подходе [2]. Вокруг этого ядра информационных технологий возникает в последние два десятилетия, созвездие крупных технологических прорывов в области новых материалов, источников энергии, в медицине, в производственной технике (наличной или потенциальной, как нано-технология), в том числе в транспортной технологии. Более того, нынешний процесс технологической трансформации расширяется экспоненциально, поскольку он способен создать интерфейс между технологическими полями через общий цифровой язык, на котором информация создается, хранится, извлекается, обрабатывается и передается [2, 3].

Нынешний технологический прорыв характеризует не центральная роль знаний и информации, а применение таких знаний и информации к генерированию знаний и устройствам, обрабатывающим информацию и осуществляющим коммуникацию, в кумулятивной петле обратной связи между инновацией и направлениями использования инноваций [1, 2]. Использование новых телекоммуникационных технологий в последние два десятилетия прошло через три отчетливых этапа: автоматизация задач, экспериментирование над использованием, реконфигурация применений. На первых двух этапах технологическая инновация прогрессировала через обучение. На третьей стадии пользователи обучались технологии, делая ее, и заканчивали, перестраивая сети и находя новые области применения. Обратная связь между введением новой технологии, пользованием ею и продвижением ее в новые области проходит в новой технологической парадигме намного быстрее. В результате, распространение технологии бесконечно увеличивает ее мощь по мере того, как технология усваивается и переопределяется ее пользователями. Новые информационные технологии являются не просто инструментами, которые нужно применить, но процессами, которые нужно разрабатывать. Пользователи и создатели могут объединиться в одном лице. Так, пользователи могут захватить контроль над технологией, как в случае с Интернетом. Отсюда следует тесная связь между социальными процессами создания и манипулирования символами (культурой общества) и способностью производить и распределять товары и услуги (производительными силами). Впервые в истории человеческая мысль стала непосредственной производительной силой, а не просто решающим элементом производственной системы [1].

Технологические революции имели место лишь в немногих обществах и распространялись в относительно ограниченных регионах, нередко изолированных в пространстве и во времени по сравнению с другими регионами планеты.

Индустриальная революция распространялась на большую часть земного шара со своих родных западноевропейских берегов в течение последующих двух столетий. Но ее распространение было высоко селективным, а его темп, по нынешним стандартам распространения технологий - довольно медленным. Планетарный охват индустриальной революции в последующее десятилетия чаще всего принимал форму

колониального господства. В противоположность этому новые информационные технологии распространились по земному шару с молниеносной скоростью, менее чем за два десятилетия, с середины 1970-х до середины 1990-х годов, продемонстрировав характерное для этой технологической революции: немедленное применение к своему собственному развитию технологий, которые она создает, связывая мир через информационную технологию.

1. По материалам работ М. Кастельса «Information Age: Economy, Society and Culture». Vol. I – III. Oxford: Blacwell Pablishers, 1996-1998.
2. Карпенков С.Х. Концепции современного естествознания. Краткий курс. –М.: Высшая школа. – 3-е изд. 2003. – 465 с.
3. Карпенков С.Х. Современные средства информационных технологий. – М.: КНОРУС, 2000. – 400с.

УДК 004.9

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПРОФОРИЕНТАЦИОННОЙ РАБОТЫ СО ШКОЛЬНИКАМИ

Авдюшина Е.В., Носов А.А.
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк
nosov_alexsey@mail.ru

Процесс построения информационного общества проникает во все сферы жизни, не является исключением и профориентационная работа. Для проведения успешной работы со школьниками необходимы не только открытые лекция, посещение школ, но и сбор данных об активных учащихся, рассылка информационных писем, привлечение к университетским мероприятиям. Такая работа требует наличия специального программного обеспечения, разработанного для хранения и поиска информации по категориям, рассылки электронных писем и других задач. Анализ проблемы показал, что такого программного обеспечения в широком доступе не существует, поэтому возникает необходимость компьютерного моделирования факторизованной информационно-поисковой системы для профориентационной работы и разработка программного обеспечения для работы с данными о школьниках.

Моделирование факторизированной информационно-поисковой системы базируется на разработке различных уровней системы [1], обеспечивающих хранение собранной информации об одаренных детях региона, абитуриентах, учащихся, которые принимали участие в различных конкурсах, обработку данной информации, поиск записей по критериям, обеспечение связи средствами рассылки сообщений непосредственно через приложение.

Результатом является создание приложения "Абитуриент" для центра математического просвещения на факультете математики и информационных технологий.

При компьютерном моделировании приложения выбрана классическая трехуровневая архитектура.

Уровень данных приложения реализован на основе базы данных Access. Выбор этого типа данных обусловлен тем, что для связи с компонентами базы данных Access не требует установка и конфигурирование

сервера баз данных. Для полного функционирования приложения достаточно лишь наличие установленной оболочки Access на персональном компьютере, а она входит в стандарт MS Office. Все это обеспечивает более легкую переносимость приложения в случае необходимости.

База данных содержит подробную информацию об учащихся (фамилия, имя, отчество, класс, школа, город конкур, электронный адрес), журнал учета разосланных информационных письмах.

Для доступа к уровню данных была выбрана технология ADO.NET, которая имеет набор классов для работы с базами данных [2]. Использованы возможности данной технологии, ее методы и классы для извлечения и обработки данных, различные типы подключений (постоянное соединение или через временные данные DataSet).

Уровень интерфейса пользователя реализован в виде WinForm приложения [3] и представляет собой набор компонентов для визуализации данных, возможности редактирования этих данных, и блок для рассылки сообщений (рис. 1).

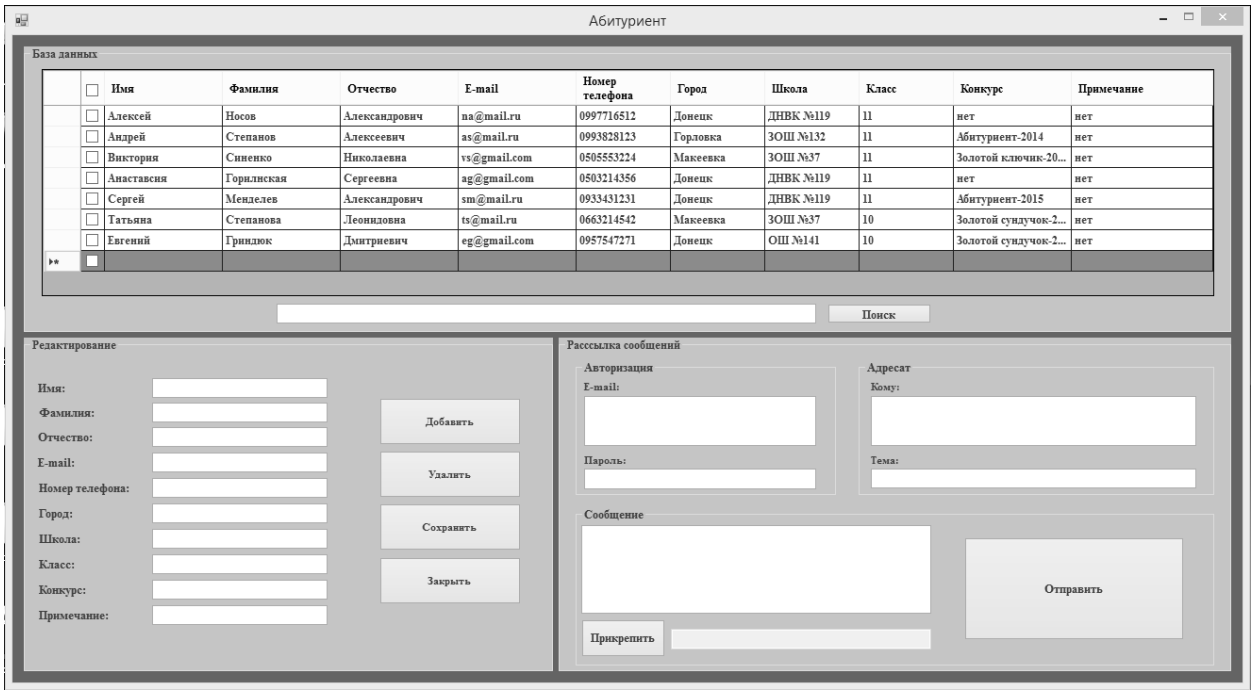


Рис. 1. Вид интерфейса пользователя

Подключение к базе данных позволяет осуществить заполнение таблицы, которая отображает полную информацию. Соответственно кнопка “Добавить” осуществляет добавление новой записи к источник данных, а кнопка “Удалить” – удаление отмеченной в таблице записи о каком-то учащемся. Для обновления уровня данных предусмотрена кнопка “Сохранить”. Кнопки “Удалить” и “ Закрыть” имеют в себе обработчики событий для подтверждения действий удаления и выхода соответственно.

Бизнес-логика приложения [4] реализует поиск информации по различным критериям и отправку сообщение выбранным получателям. При этом для поиска использована возможность ADO.Net работы с фильтрами

в источнике данных, что позволяет вводить различные ключевые слова для поиска. Пример работы отображен на рис. 2.

Для реализации функциональности рассылки сообщений осуществляется подключение к SMTP серверу. Для рассылки сообщений, требуется в соответствующие поля ввести логин и пароль отправителя для авторизации, а в поле “Кому” – получателей. Стоит заметить, что получателей можно отбирать с помощью поиска по базе данных и, отметив галочкой нужные записи, в поле “Кому” будет добавляться электронный адрес выбранных учащихся (рис. 2). Компонент бизнес-логики для реализации возможности прикрепления необходимого количества файлов к сообщениям реализован в виде диалогового окна.

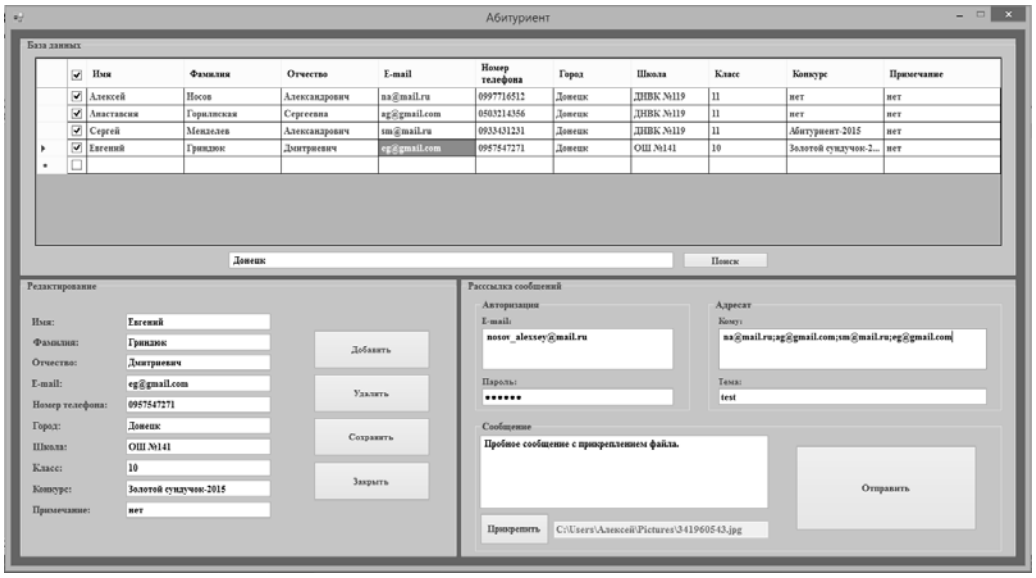


Рис. 2. Отображение результатов поиска по критерию город «Донецк» и интерфейс отправки сообщений

Практическое значение полученных результатов состоит в возможности применению приложения независимо от направленности факультета. Информационная система позволяет хранить используемую в работе информацию в необходимом объеме с возможностью ее редактирования и дальнейшего использования. Разработанное приложение имеет понятный и удобный интерфейс. Систему можно развивать разработкой новых функциональных возможностей, таких как работа в локальной сети, добавление шаблонов документов для отправки.

1. Емельянова Н.З., Партыка Т.Л., Попов И.И. Основы построения автоматизированных информационных систем. Учебное пособие / Н.З. Емельянова, Т.Л. Патырка, И.И. Попов. – М.: Инфра-М, 2007. – 146 с.
2. Купцевич Ю.Е. Альманах программиста. Т.1 Microsoft ADO.NET, Microsoft SQL Server, доступ к данным из приложений / Ю.Е. Купцевич – М.: Русская Редакция, 2003. – 400 с.
3. Тидвелл Дж. Разработка пользовательских интерфейсов / Дж. Тидвелл. – СПб.: Питер, 2008. – 416 с.
4. Петцольд Ч. Программирование в тональности C#. – М.: Издательско-торговый дом "Русская Редакция", 2004. – 512 с.

УДК 004.272.26

РАСПАРАЛЛЕЛИВАНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЙ НА JAVA

Гасанов З.З.
ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный технический университет»
zaurbekzet@gmail.com

С распространением многопроцессорных вычислительных устройств для более эффективного задействования вычислительных ресурсов следует применять другие подходы к разработке программного обеспечения. Традиционные «последовательные» алгоритмы не дают должного прироста производительности, несмотря на увеличивающееся число процессоров и ядер. Поэтому необходимо применять параллельные алгоритмы.

Применение параллельных алгоритмов зачастую сильно усложняет исходный код, поскольку необходимо заботиться о создании потоков, их синхронизации, распределении вычислений между создаваемыми потоками и многом другом. Но в то же время прирост производительности, получаемый при применении таких алгоритмов, является в большинстве случаев более важным, чем накладные расходы, связанные с усложнением процесса разработки программ.

Рассмотрим процесс распараллеливания на примере классических функций *map* и *reduce*, которые часто используются при обработке больших массивов данных. Первая из них применяет некоторую функцию к каждому элементу списка и возвращает список полученных значений. Вторая, также известная как свертка списка, производит преобразование списка значений к единому атомарному значение (то есть сворачивает список в атомарное значение).

Стандартная библиотека и встроенные средства языка программирования Java включают широкие возможности по управлению параллельными вычислениями. Самый простой способ определить новый поток — создать класс, являющийся наследником класса *Thread* или реализующий интерфейс *Runnable*. Таким образом, нам необходимо разбить исходный массив данных на некоторое количество отрезков, которые будут обрабатываться отдельными потоками.

Также следует отметить, что поскольку каждый поток должен возвращать некоторый результат, мы будем реализовать интерфейс не *Runnable*, а *Callable*.

Появляется вопрос: какое количество потоков создавать? При большом количестве потоков будут возрастать накладные расходы на их создание и переключение между ними, а при малом количестве часть процессорных ядер будет простаивать. Наиболее логичным видится решение, при котором создается количество потоков, равное количеству процессорных ядер. Для определения количества доступных виртуальной машине Java процессорных единиц используется вызов метода *availableProcessors()* объекта класса

Runtime. Чтобы получить объект *Runtime*, связанный с текущим приложением, следует вызвать статический метод *Runtime.getRuntime()*. Результат, возвращаемый методом *availableProcessors()*, может отличаться от вызова к вызову, например, из-за поддержки процессором технологии Hyper-Threading. Тем не менее, такой результат нас устраивает.

Для управления потоками можно использовать пул потоков. Он представляет собой коллекцию повторно используемых потоков. Поскольку создание потоков является затратной операцией, такой подход снижает накладные расходы, связанные с постоянным созданием новых потоков. Когда в пул поступает новая задача, она начинает выполняться при условии наличия свободного потока. В противном случае задача помещается в очередь на выполнение. При завершении выполнения задания поток берет из очереди новое задание.

Пул потоков в Java представляется классом *ExecutorService*. Для создания нового пула с фиксированным количеством потоков используется статический метод *Executors.newFixedThreadPool(int)*.

Для получения результатов выполнения потоков пул следует обернуть в объект класса *ExecutorCompletionService*.

Таким образом, для распараллеливания рассматриваемой задачи следует выполнить следующие шаги:

1) создать класс, реализующий интерфейс *Callable*, в котором определить метод *call()*;
2) создать пул потоков;
3) создать обертку вокруг пула для обработки результатов выполнения потоков;
4) определить части, на которые следует разбить исходный массив данных;
5) запустить потоки на выполнение;
6) обработать полученные результаты.

В Java 8 появился новый API – Java Stream API. Он позволяет обрабатывать коллекции данных в функциональном стиле. При этом значительно сокращается количество кода. Для создания стрима (потоки в значении «stream» будем именовать стримами, чтобы отличать их от потоков в значении «thread») из коллекции следует вызвать для нее метод *stream()*, который вернет объект класса *Stream*. После этого для стрима можно вызывать неограниченное количество конвейерных методов и один терминальный. Конвейерный метод возвращает результирующий стрим, а терминальный — атомарное в рамках стримов значение.

Класс *Stream* содержит методы *map(Function<? super T,? extends R>)* и *reduce(BinaryOperator<T>)*, составляющие основу наших вычислений. В качестве параметра первого метода можно передать ссылку на метод, соответствующий операции, которая должна производиться над каждым элементом массива данных, а в качестве параметра второго метода – некоторую лямбда-функцию. Например, если нам нужно получить сумму всех элементов массива, следует использовать следующую лямбду: *(x1, x2) -> x1 + x2*.

Таким образом, последовательность шагов, описанная выше, в случае использования Java Stream API заменяется следующей строкой: *doubles.stream().map(ConcurrencyDemo::f).reduce((x1, x2) -> x1 + x2).get()*, где *doubles* — коллекция исходных данных.

Стримы, созданные таким образом, выполняют последовательную обработку. Метод *parallelStream()* позволяет распараллелить вычисления, причем в данном случае не надо заботиться о ручном управлении потоками. Однако следует отметить, что на параллельные стримы советуют [1] не возлагать длительные вычисления, поскольку их реализация использует общий fork/join пул виртуальной машины Java, что может привести к снижению производительности других процессов.

Для сравнения производительности было замерено время вычислений различными методами: с использованием единичного потока, с использованием количества потоков, равного числу доступных вычислительных модулей, с использованием последовательного стрима и с использованием параллельных стримов. Вычисления производились над массивом из 20000000 действительных чисел. Сначала над каждым элементом массива были произведены некоторые математические действия, затем была найдена сумма полученных элементов. Результаты приведены на рисунке.

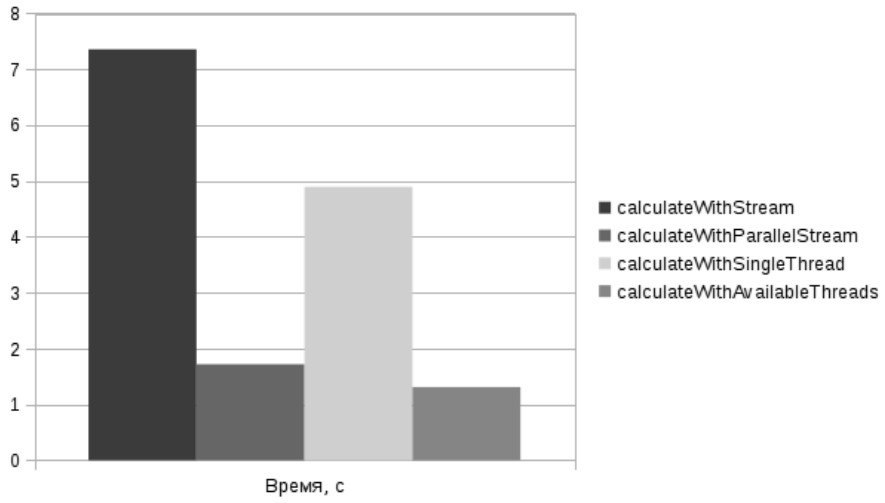


Рис. Сравнение времени вычисления различными способами

Как видно из приведенных результатов, использование параллельных стримов практически идентично по времени с использованием множественных потоков. Но, как было отмечено выше, параллельные стримы обладают некоторым недостатком, а создание множественных потоков позволяет более гибко управлять вычислениями.

1. Java Parallel Streams Are Bad for Your Health! URL: http://zeroturnaround.com/rebellabs/java-parallel-streams-are-bad-for-your-health/ (дата обращения: 15.04.2016).

УДК 004.9

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА АНАЛИЗА СОДЕРЖИМОГО ДОКУМЕНТОВ НА ОСНОВЕ ЛАТЕНТНОГО СЕМАНТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА И ПОСТРОЕНИЯ СВЯЗЕЙ МЕЖДУ СТРУКТУРНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

Горбачёв В.А., Пачева М.Н.
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк
snolly.gv@gmail.com

В современном мире результаты семантического анализа – связей слова с другими словами, значения того или иного слова, предмета (семантические связи формируют и организуют текст) - могут применяться для решения задач в таких областях как, например, психиатрия (для диагностирования больных), политология (предсказание результатов выборов), торговля (анализ «востребованности» тех или иных товаров на основе комментариев к данному товару), филология (анализ авторских текстов), поисковые системы, системы автоматического перевода и т.д. Несмотря на востребованность практически во всех областях жизни человека, семантический анализ является одной из сложнейших математических задач.

Целью данной работы является исследование основных концепций семантического анализа, а также построение полноценного алгоритма, основываясь на их идеологии.

Рассмотрим основные теоретические сведения [1-3], на которых основана данная работа, а также особенности алгоритмов и технику их применения.

Основными единицами языка и речи, принятыми в лингвистике, являются морфемы, слова, словосочетания, фразы и различного рода сверхфразовые единства. Система единиц языка и речи обычно представляется в виде иерархической структуры, в которой единицы вышестоящих уровней включают в свой состав единицы нижестоящих уровней и сами входят в состав единиц более высоких уровней.

Морфологический анализ слов естественных языков предназначен для определения структуры слов и назначения им грамматических признаков. В нашем исследовании используется морфологический анализ, разработанный профессором Г.Г. Белоноговым как расширенный алгоритм стемминга. На первом этапе производится поиск в словаре "служебных и коротких слов", а затем, в случае неудачи, в словаре концов словоформ. [1]

Семантико-синтаксический анализ проводится с целью получения формализованного представления структуры текстов – выделения в них смысловых единиц и установления связей между ними. В результате анализа в тексте должны быть выделены составные части текста, которыми являются речевые отрезки, обозначающие понятия. При описании синтаксической структуры текстов в качестве одной из формализованных моделей была использована модель дерева зависимостей, реализованная с помощью теории автоматов.

Процедура концептуального анализа текстов предназначена, для выявления наименований понятий в тексте. Эта процедура базируется на использовании эталонного словаря наименований понятий предметной области, к которой принадлежит анализируемый текст. Каждое предложение исходного текста разбивается на различные фрагменты и на их основе формируются “поисковые образы” в виде последовательностей нормализованных слов и словосочетаний. После того как текст был представлен в виде такой последовательности, из него выбираются наиболее информативные слова и словосочетания. Для указания смысловой значимости наименования понятия в формализованном смысловом описании документа необходимо назначить каждому наименованию понятия весовой коэффициент.

На основании приведенных сведений можно определить следующий порядок построения табличного представления формализованного смыслового описания документа:

1. определение синтаксической и концептуальной структуры текста;
2. разрешение анафорических ссылок в тексте;
3. получение частотного словаря наименований понятий;
4. установление смысловых связей между наименованиями понятий;
5. исключение малоинформативных слов или словосочетаний;
6. приведение различных форм представления наименований понятий к единой унифицированной форме;
7. дополнение полученной по тексту таблицы связей наименований понятий внеконтекстными парадигматическими и ассоциативными связями.

Вышеуказанные алгоритмы применяются ко всем анализируемым документам, после чего для их совокупности применяется алгоритм латентного семантического анализа, который отображает документы и отдельные слова в так называемое «семантическое пространство». При этом делаются следующие предположения:

1. Документы это просто набор слов. Порядок слов – игнорируется. Имеет значение лишь частота слов в тексте.
2. Семантическое значение документа определяется набором слов.
3. Каждое слово имеет единственное значение.

На первом шаге составляется частотная матрица индексируемых слов. В этой матрице строки соответствуют индексированным словам, а столбцы – документам. В каждой ячейке матрицы указано, какое количество раз слово встречается в соответствующем документе. Следующим шагом вместо прямого определения слов документов происходит замена семантического приближения, что радикально уменьшает измерение пространства. Это делается с помощью техники декомпозиции матрицы на сингулярные значения. Полученная матрица имеет только важные ключевые слова всех текстов, по которым мы восстановим концептуальные единицы, получив искомый семантически обработанный единый текст.

На основе приведенной информации были изучены этапы семантического анализа нескольких текстов. Важным этапом данной процедуры является построение модели и алгоритмизация действий, что

повышает точность полученных результатов и надежность сохранения максимального количества важной исходной информации. В результате выполнения данной работы было создано приложение, которое может быть использовано для парсинга сайтов с целью поиска определенной информации и последующей обработки полученных данных в один общий семантически-обработанный отчёт. Проект реализован в среде MVS 2015 в виде MFC-приложения на основе диалоговых окон.

1. Белоногов Г.Г. Проблемы автоматической смысловой обработки текстовой информации / Г.Г. Белоногов, Р.С. Гиляревский, А.А. Хорошилов // Научно-техническая информация. Сер. 2, Информационные процессы и системы. – 2012. – № 11. – С. 31-38.
2. Кузнецов И.П. Механизмы обработки семантической информации / И.П. Кузнецов – М.: Наука, 1978. – 175 с.
3. Осипов Г.С. Приобретение знаний интеллектуальными системами: Основы теории и технологии / Г.С. Осипов – М.: Наука, Физматлит, 1997. –112 с.

УДК 004.93'12

КОМПЬЮТЕРНОЕ ЗРЕНИЕ. РАСПОЗНАВАНИЕ ОБРАЗОВ

Губенко Д.В.

ГУ «Институт прикладной математики и механики», г. Донецк

gubenko.deonis@gmail.com

Компьютерное зрение (КЗ) – теория и технология создания машин, которые могут производить обнаружение, слежение и классификацию объектов.

Области применения КЗ:

- обработка изображений в медицине (получением информации из видеоданных для постановки медицинского диагноза);
- в транспортной сфере (безпилотники, автоматическая парковка, автоматическое управление наземным транспортом, распознавание номерных знаков);
- в военной сфере (обнаружение вражеских солдат, транспортных средств, управление ракетами);
- в повседневной жизни (распознавание лиц/улыбки, распознавание текста/QR-кодов).

Существуют масса методов для решения строго определённых задач компьютерного зрения, где методы часто зависят от задач и редко могут быть обобщены для широкого круга применения.

Типичные задачи КЗ:

- распознавание;
- идентификация;
- обнаружение;

- восстановление изображений.

Этапы обработки изображений:

- предварительная обработка изображения:
- фильтрация (Фурье, фильтр нижних частот, фильтр верхних частот);
- подавление шума(анизотропный фильтр, медианный фильтр, Гауссово размытие);
- гамма-коррекция;
- контрастирование;
- выделение контуров;
- бинаризация.

Фильтрации контуров – метод выделения объектов на изображении без его анализа. Часто фильтрации контуров позволяет идентифицировать объект по контуру. Основные алгоритмы выделения контуров:

- оператор Кэнни;
- оператор Собеля;
- оператор Лапласа;
- оператор Прюитт;
- оператор Робертса.

Распознаванием называется процесс, при котором на основании набора признаков некоторого изображения объекта определяется его принадлежность к определенному классу.

Корреляция – метод, используемый для идентификация перемещений объектов на изображении.

Особые точки это уникальные характеристики объекта, которые позволяют сопоставлять объект сам с собой или с похожими классами объектов.

Алгоритм Eigenface – распознавания изображений, основанный на статистических характеристиках.

Сейчас активно ведутся работы в области практического применения КЗ – того, как существующие методы могут быть реализованы программно и аппаратно или как они могут быть изменены, чтобы достичь высокой скорости работы без существенного увеличения потребляемых ресурсов.

1. Дэвид Форсайт, Жан Понс. «Компьютерное зрение. Современный подход. – М.: «Вильямс», 2004. – 928 с.
2. Лукьяница А.А., Шишкин А.Г. Цифровая обработка видеоизображений. – М.: «Ай-Эс-Эс Пресс», 2009. – 518 с.
3. Вапник В.Н., Червоненкис А.Я. Теория распознавания образов. – М.: Наука, 1974. – 416 с.
4. Фомин Я.А. Распознавание образов: теория и применения // 2-е изд. – М.: ФАЗИС, 2012. – 429 с.
5. Фомин Я.А., Тарловский Г.Р. Статистическая теория распознавания образов. – М.: Радио и связь, 1986. – 624 с.
6. Чэн Ш.-К. Принципы проектирования систем визуальной информации. – М.: Мир, 1994. – 408 с.

УДК 303.092.8:332.14

К ВОПРОСУ РАЗРАБОТКИ СОБЫТИЙНЫХ МОДЕЛЕЙ СОСТОЯНИЯ И РАЗВИТИЯ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Звягинцева А.В.
ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк
anna_zv@ukr.net

Сегодня оценка и планирование развития регионов, городов и промышленно-городских агломераций, а также страны в целом является приоритетной целью государственного строительства. Одной из основных задач устойчивого развития государства и обеспечения национальной безопасности является повышение качества прогнозов и комплексных оценок при планировании развития страны в различных аспектах – экологическом, социальном, экономическом и т.д. В настоящее время проблема развития теоретических основ событийной оценки состояния урбанизированных систем и анализа риска опасных событий применительно к таким системам – одна из основных проблем в области урбанистики, мирового, регионального и территориального развития. Она связана с совершенствованием методик рейтинговых оценок развития объектов и систем по характерным событиям и комплексу показателей, обоснованием интегральных показателей для оценки опасности и рисков, а также с разработкой прогнозов на среднесрочную и долгосрочную перспективу при стратегическом планировании. Сегодня это направление исследований в своей базовой методологии опирается преимущественно на экспертные методы, которые повсеместно используются в научных и практических целях. Существует и другой путь решения данной проблемы, который отличается междисциплинарным характером исследований и связан с использованием при изучении социально-экономических, природных и техногенных процессов естественнонаучных методов. Моделирование таких процессов может основываться на вероятностных подходах анализа и описания характерных событий и количественных данных, полученных в процессе наблюдений или опыта.

Цель работы – поиск принципов моделирования в области глобалистики и анализа состояния и развития стран мира, которые позволяли бы разрабатывать событийные модели с высокой степенью прогнозной достоверности на основе использования баз данных индикативных показателей.

Основная идея работы заключается в разработке методов, позволяющих построить вероятностные модели данных, характеризующих результаты опыта или наблюдений для различных систем, которые могут быть представлены в форме трехмерных массивов «объекты-показатели-время». В качестве объектов выступают однотипные классы: города, районы, страны. В качестве параметров $z_1, z_2, ..., z_n$, отражающих свойства определенных видов систем, – физические, биологические, природно-ресурсные, социально-экономические или идентификационные величины, имеющие количественное

измерение. Каждый объект в определенный момент наблюдения находится в некотором состоянии и характеризуется совокупностью параметров. Подобный подход позволяет определить состояние объекта как совокупность его наблюдаемых свойств, параметры которых формируются под действием условий окружающей среды в конкретный момент времени.

В работе статистические вероятности наиболее характерных событий, отражающих особенности в изменении и развитии конкретных систем, для сложных событий определялись на основе использования алгоритмов перебора, группировки и подсчета частот благоприятных событий в общей выборке всех наблюдений [1]. Данные вероятности могут выступать как комплексные характеристики систем. Таким образом, на основе переменных $z_1, z_2, ..., z_n$ формируется n-мерное пространство координат $\{z_1, z_2, ..., z_n\}$, в котором возможные состояния системы образуют некоторую область Q_n, охватывающую все наблюдаемые в опыте точки. Состояние любого объекта в n-мерном пространстве в каждый момент времени будет отображаться многомерной точкой $M = M(z_1, z_2, ..., z_n)$, процесс изменения состояния объекта во времени – многомерной кривой, которая описывается в этом пространстве точкой $M = M(z_1, z_2, ..., z_n)$. Каждой точке M_i можно поставить в соответствие некоторую вероятность характерного события W_i (вероятность состояния системы). Основной принцип, который принимается при построении моделей, состоит в непрерывности модельной среды. Поэтому первая гипотеза заключается в том, что мы предполагаем непрерывность области Q_n. Считаем, что опытные точки $M = M(z_1, z_2, ..., z_n)$ являются ограниченной выборкой наблюдений из данной генеральной совокупности. Второй важный аспект заключается в принятии гипотезы существования вероятности состояния системы относительно некоторого характерного события. Для построения моделей принимаем гипотезу о непрерывности величины W в области Q_n в виде скалярного поля $W = W(M)$ и предполагаем, что в области Q_n можно задать аналитическую непрерывную функцию $\theta = \theta(z_1, z_2, ..., z_n)$, на основе которой будет формироваться математическая модель. При известном виде функции θ и значениях переменных $z_1, z_2, ..., z_n$ в области Q_n строим еще одно скалярное поле (среду моделирования). Считаем, что в пространстве Q_n скалярные поля величин W и θ связаны между собой зависимостью $dW = c_l \cdot d\theta$, где c_l – эмпирические величины, являющиеся функциями процесса.

В работах [2–4] показано, что принятых допущений достаточно для построения феноменологических описаний данных, представленных таблично-временными массивами информации. Данные описания связаны с многомерными уравнениями Пфаффа вида:

$$dw = c_1 \cdot \frac{\partial \theta}{\partial z_1} dz_1 + c_2 \cdot \frac{\partial \theta}{\partial z_2} dz_2 + ... + c_n \cdot \frac{\partial \theta}{\partial z_n} dz_n, \qquad (1)$$

где феноменологические величины c_l определяются по данным наблюдений.

В общем случае среда моделирования θ может быть представлена в виде мультипликативных, степенных, экспертных или иных зависимостей. В работе [1] установлено, что при этих условиях в пространстве Q_n она позволяет использовать квазилинейные многомерные уравнения в частных производных первого порядка, которые тесно связаны с уравнениями Пфаффа вида (1). Например, для случая $\theta = z_1 \cdot z_2 \cdot \ldots \cdot z_n / (z_{10} \cdot z_{20} \cdot \ldots \cdot z_{n0})$ энтропия s и потенциал U для уравнения (1) определяются в виде:

$$s - s_0 = c_1 \cdot \ln\left(\frac{z_1}{z_{10}}\right) + c_2 \cdot \ln\left(\frac{z_2}{z_{20}}\right) + \ldots + c_n \cdot \ln\left(\frac{z_n}{z_{n0}}\right), \qquad (2)$$

$$U - U_0 = \frac{(z_1 - z_{10})^2}{c_1} + \frac{(z_2 - z_{20})^2}{c_2} + \ldots + \frac{(z_n - z_{n0})^2}{c_n}. \qquad (3)$$

Здесь $z_{10}, z_{20}, \ldots, z_{n0}$ – параметры некоторого опорного состояния.

Энтропия s и потенциал U могут быть приняты в качестве обобщенных критериев для оценки состояния систем в многомерном пространстве Q_n.

Предложенный подход использован при разработке методики оценки человеческого развития, альтернативной методике расчета ИЧР ПРООН. В качестве атрибутивных переменных взяты средняя и ожидаемая продолжительность обучения, валовый национальный доход на душу населения и ожидаемая продолжительность жизни. В качестве характерного события выбрато совместное событие одновременного наблюдения указанных выше четырех атрибутивных переменных. Для оценки использованы базы данных Докладов о человеческом развитии [5]. Поиск нелинейных связей между переменными осуществлен методом пробит-анализа. В качестве опорного состояния приняты показатели развития страны Нигер в 2008 году, как одной из самых слаборазвитых стран. На основе значений потенциала U определены ранги развития для каждой страны мира, исходя из уровня человеческого развития стран в период 2008 – 2013 годов.

1. Аверин Г.В. Системодинамика. Донецк: Донбасс, 2014. – 405 с.
2. Averin G.V., Konstantinov I.S., Zviagintseva A.V. and Tarasova O.A. 2015. The Development of Multi-Dimensional Data Models Based on the Presentation of an Information Space as a Continuum. International Journal of Soft Computing, 10: 458 – 461.
3. Zviahintseva A.V. Multiparameter ranking of areas based on the analysis of data about the condition of natural and anthropogenic systems // Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе. – 2014. – № 1(6)–2(7). – С. 76–83.
4. Звягинцева А.В. Комплексная оценка природно-антропогенных систем: предложения по развитию методологии // Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе. – 2013. – № 1(4)–2(5). – С. 62–74.
5. Human Development Reports (2000 – 2015). Available at: http://hdr.undp.org/en/reports/global/hdr2010/chapters/ru/ (accessed 22 February 2016).

УДК 338.2:330.4:51-7(470+571)

ПРИНЦИП РАНГОВОГО ОБМЕНА И ГРАНИЦЫ ЕГО ПРИМЕНИМОСТИ

Капитанов В.А.[1], Иванова А.А.[2]
[1]Научно-исследовательский физико-химический институт им. Л.Я. Карпова, г. Москва
[2] ГУ «Институт прикладной математики и механики», г. Донецк
kapitanov_v_a@mail.ru, ivanova.iamm@mail.ru

Широко распространённое мнение о том, что распределение благ в рыночной экономике происходит в ходе достижения баланса между спросом и предложением, в результате торга равносильных или, по крайней мере, независимых друг от друга игроков, давно подвергается заслуженной критике. Ведь каждый игрок на рынке стремится дешевле покупать и дороже продавать. Игрок употребляет свои ресурсы для достижения этой цели, добиваясь тем большего смещения цены в свою пользу, чем бóльшими по сравнению с контрагентом ресурсами он обладает.

Согласно концепции рангового обмена цена товара формируется не вследствие достижения баланса между спросом и предложением, а на основе следующего принципа: бóльшую выгоду от покупки/продажи получает тот из взаимодействующих партнёров, который обладает бóльшим рангом, бóльшими ресурсами.

Иными словами, ранговый обмен – такое распределение общего излишка, полученного при взаимодействии двух игроков, когда каждый игрок получает долю излишка, пропорциональную своему рангу (количеству ресурсов).

Методом математического моделирования определены четыре признака, характерные для общества, охваченного ранговым обменом:

1. распределение населения по уровню дохода близко экспоненциальному;
2. при постоянной норме прибыли неравенство монотонно растет;
3. после повышения нормы прибыли неравенство ускоренно растет, затем падает, затем снова растет;
4. после снижения нормы прибыли неравенство падает, затем растет.

Наличие в реальном обществе первого признака рангового обмена подтверждают полученные из нескольких независимых источников статистические данные о распределении населения по доходам, богатству, а также распределения цен на подержанные автомобили (Таблица).

Экспоненциальное распределение населения по доходам указывает на то, что причиной неравенства не является ни случайность (в таком распределение было бы линейным), ни индивидуальные особенности людей (в таком случае распределение было бы нормальным).

Наличие второго признака рангового обмена подтверждают данные Всемирного Банка, согласно которым не менее 84% мирового ВВП производится в странах с растущим неравенством.

Наличие третьего признака рангового обмена подтверждает полная кривая Кузнеца, демонстрирующая рост неравенства после начала НТР (и связанного с ней роста прибыльности капиталистических предприятий, т.н. «капиталистическая модернизация по Кузнецу») вплоть до 1920 г., затем снижение неравенства до 1970 г. и затем рост неравенства в развитых капиталистических странах.

Наличие четвертого признака рангового обмена подтверждает анализ данных Всемирного Банка о динамике неравенства на фоне рецессии в отдельных странах (доступны данные о 123 случаях). В 78% случаев спад в экономике приводил к сокращению неравенства, сменяющемуся затем ростом.

Таблица

Экспоненциальная аппроксимация распределений населения по доходам

	R^2 при экспоненциальной аппроксимации	Интенсивность распределения
Доходы населения РФ по Росстат и «Форбс»	0,9855	3450
Цены подержанных машин в РФ	0,9913	325,0
Цены подержанных машин в Германии	0,9980	4346
Богатство населения РФ по Credit Suisse	0,9871	546,0
Богатство населения Германии по Credit Suisse	0,9885	75,20
Расчет рангового обмена	0,9881	670,0

Кроме неравенства между отдельными людьми, проанализировано неравенство между странами мира по душевому ВВП.

Показано, что первый признак характерен и для стран мира, рассматриваемых как отдельные игроки рангового обмена. Однако второй признак рангового обмены отсутствует – неравенство между странами по душевому ВВП сокращается с 1950-х годов и по сей день, причем это сокращение невозможно объяснить только успехами экономики крупнейших развивающихся стран (Индии, Китая).

Выводы. Доказано, что ранговый обмен является основной причиной неравенства и основным механизмом распределения благ между людьми.

Вскрыто реальное распределение населения по доходам – глубокое неравенство и уравниловка существуют одновременно.

Предложен критерий неравенства (интенсивность распределения), пригодный в случае отрывочных данных о богатых когортах (в отличие от коэффициента Джини).

Показано преобладание сделок win-win.

Показано, что модель "капиталист-рабочий" применима и к отношениям между крупным и мелким капиталистом – пирамида эксплуатации касается всех.

Опровергнута модель "стран-пролетариев и стран-капиталистов". Рабочий развитой страны не является эксплуататором рабочего развивающейся страны.

Объяснены причины разности доходов рабочих в развитых и развивающихся странах.

1. Гидулянов В. Формула «цивилизованного рынка // Институт микроэкономики минэкономики РФ, журнал «Правила игры», ISSN 0131-5374, №4/1998. – С. 22-29.
2. Боулз С. Микроэкономика. Поведение, институты и эволюция / пер. с англ. Букина К.А., Демидовой А.В., Карабекян Д.С., Карпова А.В., Шиловой Н.В. – М.: Изд-во «Дело» АНХ, 2010. – 576 с.
3. Капитанов В.А., Иванова А.А. Влияние пропорционального распределения общего излишка на имущественное расслоение // Экономика и прогнозирование (Економіка і прогнозування), Киев, 2014, №2. – С. 125-136.
4. Филатов И.В. Теоретическое наследие С. Кузнеца и проблемы модернизации постсоциалистических стран // Социально-экономическая трансформация в России. – М., 2002. – С.77-98.
5. Ван Занден Я.Л. «Где начало «кривой Кузнеца»? Западная Европа в период раннего Нового времени» // пер. с англ. Н.В.Бутурлина / Экономическая история: Ежегодник. 2004. – М.: РОССПЭН, 2004. – 598 с. – С. 537-562
6. Диденко Д.В. «Интеллектуальная экономика, дифференциация доходов и системные трансформации: «Переосмысливая «кривую Кузнеца». Межрегиональная Ассоциация «История и компьютер». Международная конференция «Инновационные подходы в исторических исследованиях: Информационные технологии, модели и методы». Подмосковье, 13-15 декабря 2008 г.
7. Мюрдаль Г. Современные проблемы "третьего мира". – М., 1972. – С. 251.
8. Илларионов А. Основные тенденции развития мировой экономики во второй половине XX века, «Вопросы Экономики», – 1997, №10. – С. 117-142.

УДК 519.71

КОАЛГЕБРАИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ЭКСПЕРИМЕНТОВ С АВТОМАТАМИ

Курганский А.Н., Максименко И.И.

ГУ «Институт прикладной математики и механики», г. Донецк

kurgansk@iamm.su

Теория коалгебр является основой одного из направлений современного развития теории динамических систем, в частности, теории конечных автоматов. Понятие коалгебры двойственно понятию алгебры и рассматривается как определение динамических систем на языке теории категорий [1–3]. Настоящая работа лежит в области теории восстановления и представления автоматов фрагментами поведения [4–6] и является развитием на основе идей коалгебраического подхода работы [10], посвященной определяющим соотношениям конечных связных инициальных автоматов без выхода. Современное состояние теория представления автоматов фрагментами поведения можно найти в [7–9].

Инициальный автомат порождает отношение (правая конгруэнция) на словах по правилу: слова находятся в этом отношении тогда и только тогда, когда они ведут в одно и то же состояние из начального. Произвольное множество пар слов называется определяющими соотношениями автомата, если правоконгруэнтное замыкание этого множества совпадает с правой конгруэнцией автомата. С точки зрения теории экспериментов с автоматами элементы правой конгруэнции автомата являются фрагментами его поведения и структуры. В теории автоматов фундаментальной является проблема минимизации автомата по числу состояний. Однако правоконгруэнтное замыкание отношения на словах напротив дает автоматы с максимальным числом состояний из всех тех, для которых эти отношения выполняются. Это говорит о том, что определяющие соотношения и их конгруэнтное замыкание более связано со структурой графа автомата, чем с его поведением, и, следовательно, не вполне соответствует поведенческой проблематике теории автоматов. Цель данной работы рассмотреть элементы правой конгруэнции не только в роли фрагментов автомата, но и в роли введенных ниже кофрагментов, контрфрагментов и коконтрфрагментов (короче: (ко)(контр)фрагментов), что позволит связать определяющие отношения как со структурным, так и поведенческим контекстом анализа и синтеза автоматов. Точка зрения на фрагменты в роли (ко)(контр)фрагментов лежит в русле идей работы [8] и является развитием некоторых её моментов.

Дан класс автоматов определенной структуры, накладывающих априорные ограничения на поведение автоматов. Такой класс назовем допустимым классом. Дано задание в виде (к примеру: теоретико-множественной) формулы над (ко)(контр)фрагментами на контроль, синтез или восстановление неизвестного автомата из допустимого класса. Условие задания в виде формулы F над (ко)(контр)фрагментами назовем представлением автомата. Автоматы, являющиеся решениями этого задания, назовем совместимыми с представлением F. Множество всех совместимых с представлением автоматов назовем объемом представления. Представление называется непротиворечивым, если его объем не пуст, и называется полным, если его объем состоит из одного автомата (с принятой к рассмотрению точностью). В противном случае, представление называется противоречивым.

Представление автомата (ко)(контр)фрагментами формируется на основе спецификации (априорной информации) и экспериментов с автоматом. Оно содержит в неявном виде частичную или полную информацию об автомате. Синтез автомата по этой информации подразумевает некоторую логику получения новой явной информации о поведении и структуре автомата. Логика восстановления автомата позволяет получать (перечислять) новые факты об автомате. В пределе с помощью некоторого алгоритма она дает полную информацию в готовом замкнутом виде, например, таблице автомата. Таким образом, проводя аналогии с перечислимыми и рекурсивными (разрешимыми) множествами, можно сказать, что процесс восстановления автомата есть переход от неявной формы представления автомата, позволяющей без дополнительных усилий лишь перечислять факты о его поведении, к явной, рекурсивной, форме задания автомата.

Мы проводим следующие аналогии между синтаксическими теориями в логике и автоматами. Синтаксическая теория представляет собой множество правильно построенных утверждений (формул), среди которых выделены аксиомы, и правил вывода. Правила вывода, базируясь на аксиомах, разбивают формулы на два класса: выводимые (доказуемые) формулы (теоремы) и невыводимые формулы. Аксиомы и всякое множество теорем являются фрагментами теории. Аксиомы в неявном виде логически содержат всю теорию. Каждая теорема в неявном виде содержит аксиомы. Мы придерживаемся аналогий между: 1) правильно построенными утверждениями и (ко)(контр)фрагментами, 2) теорией и автоматом, 3) построением теории и синтезом автомата, 4) аксиомами теории и фрагментами автомата. Эти аналогии в свою очередь влекут аналогии между: 1) теоремами теории и фрагментами автомата, 2) моделями теории и кофрагментами, 2) противоречиями и контрфрагментами, 3) контрпримерами в доказательствах и коконтрфрагментами.

Фрагмент автомата – это информация о разрешенном поведении и структуре автомата, это часть автомата. Фрагмент является абстрактно-всеобщим определением совместимого с ним класса автоматов, то есть общим, объединяющим свойством элементов класса является то, что у них всех есть общая для них всех часть – данный фрагмент.

Восстановление автомата означает синтетическое пополнение содержания фрагмента, расширение его до некоторого допустимого и совместимого с фрагментом автомата. Это процесс восхождения от абстрактного определения класса к конкретному автомату есть выполнение некоторого алгоритма. Результат действия алгоритма будем называть замыканием фрагмента.

Кофрагмент автомата является двойственным понятием к фрагменту. Если А является фрагментом В, то В является кофрагментом А. Кофрагмент является ограничением сверху на поведение или структуру восстанавливаемого автомата. Он описывает класс совместимых с ним автоматом и является абстрактно-конкретным определением класса: всякий автомат класса является фрагментом кофрагмента класса, то есть общим между автоматами класса является то, что они все являются частью одного и того же.

Контрфрагмент – запрещенные элементы поведения и структуры автомата. Подобно тому, как теория считается противоречивой, если в ней выводятся противоречия, то и представление автомата противоречиво, если синтез на его основе дает автомат содержащий контрфрагмент.

Коконтрфрагмент – двойственное понятие контрфрагменту: если В коконтрфрагмент автомата А, то А не является фрагментом В. Роль коконтрфрагментов аналогична роли контрпримеров в доказательствах.

В работе изучается класс Z автоматов, для которого верна теорема:

Теорема. Подкласс класса Z, задаваемый фрагментом и/или кофрагментом, является полной решёткой. Подкласс, задаваемый контрфрагментом или коконтрафрагментом, является полурешёткой. Подкласс задаваемый, контрфрагментом и коконтрфрагментом, не является в общем случае ни решёткой, ни полурешёткой.

1. Davide Sangiorgi, Introduction to Bisimulation and Coinduction, Cambridge University Press, 2012.
2. Davide Sangiorgi and Jan Rutten (eds), Advanced Topics in Bisimulation and Coinduction, Cambridge University Press, 2012.
3. Jan J. M. M. Rutten, Universal coalgebra: a theory of systems. Theor. Comput. Sci. 249(1): 3–80 (2000).
4. Грунский И.С., Козловский В.А., Пономаренко Г.Г., Представление конечных автоматов фрагментами поведения, – Киев: Наукова думка, 1990. – 232 с.
5. Грунский И.С. Анализ поведения конечных автоматов. – Луганск: Изд-во Луганск. гос. пед. ун-та, 2003. – 318 с.
6. Грунский И.С., Козловский В.А. Синтез и идентификация автоматов. – Киев: Наукова думка, 2004. – 247 с.
7. Кудрявцев В.Б., Грунский И.С., Козловский В.А. Анализ поведения автоматов, Дискрет. матем., 21:1 (2009), 3–35.
8. Кудрявцев В.Б., Грунский И.С., Козловский В.А. Восстановление автоматов по фрагментам поведения, Дискрет. матем., 21:2 (2009), 3–42.
9. Кудрявцев В.Б., Грунский И.С., Козловский В.А. Анализ и синтез абстрактных автоматов, Фундамент. и прикл. матем., 15:4 (2009), 101–175.
10. Грунский И.С., Сенченко А.С. Свойства систем определяющих соотношений для автоматов, Дискрет. матем., 16:4 (2004), 79–87.

УДК 004.93’1: 004.827

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ИДЕНТИФИКАЦИОННОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ МОДЕЛИ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ДАННЫХ (НА ПРИМЕРЕ БЕНЗИНОВ)

Максимова А.Ю.
ГУ «Институт прикладной математики и механики», г. Донецк
maximova.alexandra@mail.ru

Рассмотрим один из вариантов задачи идентификационной экспертизы (ИЭ) – задачу идентификации производителя автомобильных бензинов, которая возникает в лабораториях контроля качества нефтепродуктов в связи с необходимостью борьбы с фальсификатами и заключается в следующем. Необходимо определить производителя и марку автомобильного бензина, образец которого находиться на исследовании в лаборатории нефтепродуктов.

Для решения данной задачи разработан метод идентификации образца продукции и автоматизированная система идентификационной экспертизы (АСИЭ). Входными данными системы являются физико-химические характеристики образца бензина, а ответ – степень соответствия рассматриваемого образца возможным производителю и марке бензина. Анализ рассматриваемой задачи ИЭ позволил установить прямую ее связь с задачей распознавания образов. Классы образов можно поставить в соответствие идентифицируемым группам, а признаки – показателям качества. При этом будем учитывать фактор неопределенности отнесения образца бензина к конкретной группе, что связно с зашумленностью

и пропусками в обучающих данных, наличием фальсификатов и смесей бензинов. Для решения таких задач распознавания успешно применяются нечеткие классификаторы [1].

Разработанный метод идентификации образца бензина основан на нечеткой модели представления данных [2, 3]. Исходная информация об идентифицируемых группах представлена их нечеткими портретами. Такие портреты формируются в виде совокупности правил нечетких продукций. Факты представлены в виде лингвистических переменных, каждая из которых описывает информативный признак и поименована в соответствии с именем этого признака. Построение функций принадлежности лингвистических переменных выполняется автоматически по обучающим выборкам. Для адаптации нечеткой модели используются методы нечеткой кластеризации, что позволяет оценить внутреннюю структуру классов образов.

Для создания информационной автоматизированной системы идентификационной экспертизы была построена информационная модель деятельности лаборатории контроля качества, ее организационная и функциональная структура. Разработана структура базы данных предметной области и структура базы данных, представляющей нечеткую модель представления данных.

Предложенные нечеткая модель и метод идентификационной экспертизы позволяют накапливать и использовать знания эксперта для решения задач ИЭ. На их основе разработана АСИЭ бензинов, которая внедрена в лаборатории нефтепродуктов ООО «Параллель-М ЛТД», что позволило:

– уменьшить общее время выполнения ИЭ бензина в среднем на 16 %;

– обеспечить контроль достоверности ИЭ – ошибка распознавания в среднем не превышает 4%.

Разработанный метод идентификации образца продукции может быть применен в задачах идентификации пищевой продукции и бытовой химии. Для дальнейшей работы в данном направлении необходима в первую очередь заинтересованность государства и поддержка на законодательном уровне исследований в данном направлении.

1. Bezdek J.C. Fuzzy Models and Algorithms for Pattern Recognition and Image Processing / J. C. Bezdek, J. Keller, R. Krisnapuram, R. Pal. – New York: Springer Verlag, 2005. – 785 p.
2. Козловский В.А. Построение нечетких характеристик классов образов по выборки прецедентов в задачах распознавания образов /В. А. Козловский, А. Ю. Максимова // Доклады 15-й Всероссийской конференции «Математические методы распознавания образов», 11–17 сентября 2011 г. – 2011. – С. 135-137.
3. Максимова А.Ю. Задача идентификационной экспертизы и метод нечеткого портрета для ее решения /А.Ю. Максимова // Материалы международной научно-технической конференции «Искусственный интеллект. Интеллектуальные системы». – Донецк: Изво ИПИИ «Наука и образование». – 2013. – С 107-108.

УДК 004.62

УПРАВЛЕНИЕ ГЕТЕРОГЕННЫМИ ДАННЫМИ В МЕДИЦИНСКИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Мутин Д.И.
Институт машиноведения им. Благонравова РАН, г. Москва, РФ
d.i.mutin@mail.ru

В статье представлены результаты применения XML-технологий в медицинской информационной системе.

Как в любой информационной системе (ИС), к основным функциям медицинских информационных систем (МИС) относятся сбор информации, которому предшествует получение первичных данных о пациенте в результате его осмотра или автоматически с помощью специального оборудования для регистрации состояния больного, и, наконец, из других специализированных МИС (например, по фармакопее, анестезиологии или из медицинских библиотек) [1]. В такой системе информация нуждается в структурировании и хранении, а также в средствах поиска не только по БД, но и в различных хранилищах, в частности рентгенограмм или кардиограмм.

Большие объемы вычислений, связанные с количественной оценкой информации в системе, требуют включения в МИС разнообразных приложений. Существенное расширение круга оборудования, используемого в здравоохранении, и повышение качества медицинского обслуживания приводят к включению в ресурс МИС дополнительной информации (рис. 1).

Рис. 1. Структура информационной системы

Трудности, возникающие при нахождении оптимального решения задач управления, документооборота и отчетности, являются, на самом деле, следствием одной причины – отсутствия у подсистем клиники актуальной информации о деятельности других подсистем.

Решения этой проблемы можно добиться естественным способом – включением всех объектов управления клиникой в единое информационное пространство.

Объединение данных становится высшим приоритетом для ИТ менеджеров компании, так как процесс принятия решений продолжает требовать доступ ко всё большим объемам новых данных. Большинство этих данных поступает в неудобной и слабоструктурированной форме.

Для создания единого информационного пространства, необходимо применение технологий, которые предоставляли бы возможность унифицированного доступа к этим данным, как если бы они имели единое логическое и физическое представление.

XML может использоваться в любых приложениях, которым нужна структурированная информация – от сложных геоинформационных систем с гигантскими объемами передаваемой информации до обычных «однокомпьютерных» программ, использующих этот язык для описания служебной информации [2].

Итак, для эффективного управления медицинской информацией необходимо учесть особенность МИС [3]:

- Данные, хранимые и используемые в системе, являются не жёстко структурированными;
- Запросы к контенту документа достаточно сложны;
- XML-представления должны отражать копию реального мира;
- Необходима поддержка эффективной интеграции данных.

Таким образом, наиболее целесообразным является применение так называемых XML-ориентированных баз данных, в которых информация хранится в виде XML-документов. Для XML-ориентированных баз XML-доступ к данным это прямой доступ к данным. XML-базы данных характеризуются высокой скоростью разработки приложений, что обусловлено унификацией данных, методов их обработки и, конечно же, естественностью их представления.

XML-база данных хранит XML-документы, как единое целое, и создает модель, подобную XML или одной из XML-технологий [4]. Эта модель включает произвольные уровни вложенности и сложности, а также полную поддержку смешанных и слабоструктурированных данных.

Также, применение технологии XML обеспечивает замечательные возможности для обмена данными между мобильными устройствами, между мобильным устройством и компьютером или между мобильными устройствами и серверами. Мобильные технологии быстро входят в практику современной медицины и медицинского образования [5]. Получение и передача данных врачом осуществляется путем использования широкого диапазона мобильных устройств, которые применяются для электронного

выписывания рецептов, получения информации из баз данных, упорядочивания информации о пациентах, результатах лабораторных анализов, а также для решения административных задач, таких как составление расписания приема пациентов.

1. Рузайкин Г.И. Медицинские информационные системы, или МИС / Г.И.Рузайкин – М.: Мир ПК – 2001. – №3. – С. 96-102.
2. Антипин К.В. Оперативная интеграция данных на основе XML: системная архитектура BizQuery / К.В.Антипин, А.В.Фомичев, М.Н.Гринев, С.Д.Кузнецов, Л.Г.Новак, П.О.Плешачков, М.П.Рекуц, Д.Р.Ширяев // Труды Института системного программирования РАН. – 2004. –.Том 5. – С.157-174.
3. Гусев А.В. Моделирование и оценка эффективности функционирования медицинской информационной системы / А.В.Гусев // Автореф. дисс. канд. тех. наук: 05.13.18/ Петрозавод. гос. ун-т – Петрозаводск: ПетрГУ. 2004. – 20 с.
4. Питц-Моултис Н. XML в подлиннике / Н. Питц-Моултис, Ч. Кирк Ч. – С.-Пб.: BHV, 2000. – 736 с.
5. Ratib O. Use of personal digital assistants for retrieval of medical images and data on high-resolution flat panel displays / O. Ratib, J.M. McCoy, D.R. McGill, M. Li, F. Brown // RadioGraphics. – 2003. – № 23. – P. 2672–72.

УДК 681.5.015

ОПРЕДЕЛЕНИЕ *U*-МЕРЫ ДЛЯ КРАТЧАЙШИХ ПУТЕЙ И *D*-ОТРЕЗКОВ НА МНОЖЕСТВЕ АТОМАРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Шевцов Д.В.

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк

shedmival@mail.ru

Как следует из проведенных в [1] рассуждений, автоматическое моделирование *D*-знаков бинарных растровых цифровых изображений на множестве атомарных элементов (АЭ) предполагает необходимость измерения и учета характеристик кратчайших путей КП и *D*-отрезков [2], аналогичных значениям меры угла и угла наклона отрезка к горизонтали, введенной во всюду плотных множествах.

С целью определения указанных характеристик на дискретном множестве АЭ были установлены правила расчета их численных значений, а также введена в рассмотрение *u-мера* объекта $u_M(\alpha_{h_1}, \alpha_{h_2})$, заданного для произвольного КП.

Показано, что численное значение *u*-меры непосредственно зависит от метрических свойств КП, следовательно, является относительной, и в случае ее использования при формировании модели знака с целью описания характеристики рассматриваемой пары кратчайших путей как элементарных составляющих данной модели, целесообразно использовать кортеж, состоящий из пары элементов: $<\mu_3(u_M(\alpha_{h_1}, \alpha_{h_2})), M>$, определенных в соответствии с [3].

В случае рассмотрения произвольной пары D-отрезков либо, в общем случае, КП $L(\alpha_a, \alpha_b)\in\Im_2(\alpha_a, \alpha_b)$, $L(\alpha_c, \alpha_d)\in\Im_2(\alpha_c, \alpha_d)$, где $\alpha_a, \alpha_b, \alpha_c, \alpha_d\in A$, таких, что $\mu_2(L(\alpha_a, \alpha_b))=n_1$, $\mu_2(L(\alpha_c, \alpha_d))=n_2$, $n_1\neq n_2$, $n_1, n_2\in N$, задано правило определения значений M и $u_k(\alpha_{h_1}, \alpha_{h_2})$ с целью формирования кортежа значений искомой характеристики.

На декартовом произведении множеств КП $\Im_2(\alpha_a, \alpha_b)$, $\Im_2(\alpha_c, \alpha_d)$ введено отображение Г: $\Im_2(\alpha_a, \alpha_b)\times\Im_2(\alpha_c, \alpha_d) \rightarrow Z\times N$, где Z – множество целых чисел, которое произвольной паре кратчайших путей $L(\alpha_a, \alpha_b)\in\Im_2(\alpha_a, \alpha_b)$, $L(\alpha_c, \alpha_d)\in\Im_2(\alpha_c, \alpha_d)$ ставит в соответствие кортеж: $\Gamma(L(\alpha_a, \alpha_b), L(\alpha_c, \alpha_d))=$ $=< \mu_3^{L_1}-\mu_3^{L_2}, M >$ где величины M, $\mu_3^{L_1}$ и $\mu_3^{L_2}$ для каждого путей $L(\alpha_a, \alpha_b)$, $L(\alpha_c, \alpha_d)$ вычисляются согласно [3].

Величина $\mu_3^{L_1}$, определенная для произвольного КП либо D-отрезка $L(\alpha_a, \alpha_b)$, является также характеристикой рассмотренного пути, аналогичной градусной мере угла наклона отрезка к горизонтали, заданной в терминах всюду плотных множеств. В соответствии с этим, в рассмотрение также введено отображение Г': $\Im_2(\alpha_a, \alpha_b) \rightarrow Z\times N$, которое произвольному КП либо D-отрезку $L(\alpha_a, \alpha_b)\in\Im_2(\alpha_a, \alpha_b)$, ставит в соответствие кортеж: $\Gamma'(L(\alpha_a, \alpha_b))=$ $=< \mu_3^{L_1}, n >$ где $n=\mu_2(L(\alpha_a, \alpha_b))$, величина $\mu_3^{L_1}=\mu_3(u_M(\alpha_0, \alpha_b)$ вычисляется на основании задания множеств U_M, ∂U_M для пути $L(\alpha_a, \alpha_b)$ при $M=n$.

Кортеж $\Gamma'(L(\alpha_a, \alpha_b))$ назван D-угловой характеристикой кратчайшего пути либо D-отрезка $L(\alpha_a, \alpha_b)\in\Im_2(\alpha_a, \alpha_b)$, вычисляемой в процессе автоматического моделирования D-знаков.

1. Шевцов Д.В. Обоснование перспективных направлений при проектировании систем автоматизированной обработки видеоинформации // Вісник ХНТУ. – Херсон: ХНТУ, 2009 р. – № 1 (34). – С. 231-240.
2. Мышко С.В., Шевцов Д.В. Определение кратчайших путей на множестве атомарных элементов в системах автоматического опознавания изображений // Вісник Донецького національного університету. Серія А: Природничі науки. – Донецьк: ДонНУ, 2001. – №2. – С. 334-341.
3. Шевцов Д.В. Определение ориентации элементарных составляющих моделей знаков, подлежащих автоматическому именованию на множестве атомарных элементов // Радіоелектроніка Інформатика Управління № 2(29) 2013, Запоріжжя, ЗНТУ. – С. 95-102.

УДК 681.5.015

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЗАИМНОГО РАСПОЛОЖЕНИЯ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ МОДЕЛЕЙ D-ЗНАКОВ

Шевцова Е.В.

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк

shelenav@yandex.ru

Автоматическое моделирование образов GT-объектов на множестве атомарных элементов (АЭ) предполагает декомпозицию D-знаков на

кратчайшие пути, каждый из которых соответствует кривой (или фрагменту кривой) модели исходного изображения знака, сгенерированного в соответствии с принятой гипотезой [1], и характеризуемой сохранением локально-глобального направления (ЛГН) движения регистрирующей части устройства фиксации следа [1]. При этом в работах [2, 3] показано, что на дискретных множествах кратчайшие пути (КП), формируемые связками определенных типов [2], являются фрагментами D-знаков, которые также характеризуются сохранением ЛГН в терминах свойств множества АЭ [1]. Таким образом, выбор КП в качестве минимальной составляющей автоматически формируемой модели произвольного D-знака как образа исходного изображения знака открытого алфавита, заданного в терминах свойств дискретных множеств, обоснован [4].

При этом, для пары фиксированных АЭ $\alpha_a, \alpha_b \in A$ множество КП, характеризуемых одинаковыми типами формирующих их связок, содержит образованный связками тех же типов D-отрезок [3], который также соответствует элементу модели исходного изображения знака, следовательно, является элементарной составляющей автоматически генерируемой модели анализируемого D-знака [4].

Согласно [4], актуальным является конструктивное определение различных типов взаимного структурного расположения D-отрезков как указанных элементарных составляющих модели D-знака, что позволит, в частности, автоматически формировать его описание с целью последующего именования.

Предложены определения T-, V- и X-путей, что позволило осуществлять автоматическое моделирование на дискретном множестве АЭ образов GT-объектов произвольных бинарных растровых цифровых изображений, в частности, знаков открытых алфавитов, с учетом взаимного расположения элементарных составляющих модели.

Показано, что произвольный КП может образовывать множество пар T-, V- и X-путей одновременно с несколькими другими КП образа GT-объекта, обладая, соответственно, множеством T-, V- и X-атрибутов, качественно характеризующих взаимные отношения между элементарными составляющими моделируемого D-знака.

Поскольку, как указано в [3], D-отрезок между парой фиксированных АЭ $\alpha_a, \alpha_b \in A$ определен на множестве $\Im_2(\alpha_a, \alpha_b)$ и является частным случаем КП, выявленные в ходе исследований свойства кратчайших путей справедливы для D-отрезков, следовательно, имеет место необходимость выявления соответствующих пар КП в случаях, когда анализируемых образ GT-объекта представлен связным множеством D-отрезков [4].

Определенные атрибуты КП, образующих пары T-, V- и X-путей, являются качественными характеристиками путей, учет которых при автоматическом формировании модели образа знака, заданного в терминах свойств множеств АЭ, позволит опознавать и именовать анализируемые бинарные растровые цифровые изображения знаков открытых алфавитов.

1. Мельник А.-В.В. Моделируемость GT-объекта на дискретном множестве атомарных элементов / А.-В.В. Мельник, С.В. Мышко, Д.В. Шевцов// Вісник ХНТУ. – Херсон: ХНТУ, 2008 р. – № 3. – С. 223-300.
2. Мышко С.В., Шевцов Д.В. Определение кратчайших путей на множестве атомарных элементов в системах автоматического опознавания изображений // Вісник Донецького національного університету. Серія А: Природничі науки. – Донецьк: ДонНУ, 2001. – №2. – С. 334-341.
3. Шевцов Д.В., Мышко С.В. Определение прямой на множестве атомарных элементов // Сборник тезисов докладов международной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов «Оптоэлектронные информационно-энергетические технологии». – Винница: ВГТУ, 2001. – С. 49.
4. Шевцов Д.В. Определение ориентации элементарных составляющих моделей знаков, подлежащих автоматическому именованию на множестве атомарных элементов // Радіоелектроніка Інформатика Управління. – 2013. – № 2(29). – Запоріжжя, ЗНТУ. – С. 95-102.

УДК 003.26

ПОСТРОЕНИЕ ХЭШ-ФУНКЦИИ И СОЗДАНИЕ ЭЛЕКТРОННО-ЦИФРОВОЙ ПОДПИСИ НА БАЗЕ СИММЕТРИЧНОГО И АСИММЕТРИЧНОГО ШИФРОВ

Шкодина Л.Н.
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк
kotova.lyudmila.alekseevna@gmail.com

Рассмотрена задача обеспечения информационной безопасности электронного документа с помощью электронно-цифровой подписи (ЭЦП). Предлагается алгоритм для построения хэш-функции по типу «разработанной с нуля». Для получения ЭЦП результат хэш-функции шифруется с помощью композиции симметричного и асимметричного шифра на эллиптических кривых.

Задача обеспечения целостности и достоверности пересылаемой по электронным сетям информации является одной из самых важных. Для подтверждения истинности электронного документа в настоящее время нет необходимости зашифровывать его полностью, если он не содержит секретных сведений. В этом случае под документом ставится ЭЦП. Неотъемлемой частью ЭЦП является использование хэш-функций. Хэш-функции широко применяются в криптографии. Они необходимы при построении ЭЦП для сжатия исходного текста в последовательность определенной длины, т.е. хэш-кода.

Одним из типов построения хэш-функции являются функции «разработанные с нуля», при создании которых имеется возможность учитывать такое свойство как эффективная программная реализация.

Обычно стандартные функции хэширования – это функции, отображающие строку битов произвольной длины в хэш-код, представляющий собой строку битов фиксированной длины.

В работе построение ЭЦП основывается на хэш-функции, в которой все арифметические операции выполняются в десятичной системе. Операции проводятся в классе вычетов (или кольце остатков) на базе выбранного алфавита, которому сопоставляется множество $Z_n = \{0,1,2,...,n-1\}$, где n - размер выбранного алгоритма.

Работа алгоритма построения хэш-функции начинается с того, что входная последовательность делится на блоки (вектора) w_k по 15 элементов $\left(k = \overline{1,l}\right)$. В случае, если длина исходного текста не кратна 15, то последний неполный блок дополняется пробелами.

Далее инициализируются пять основных целочисленных векторов по 15 элементов A,B,C,D,E и еще 5 дополнительных векторов a,b,c,d,e, которые первоначально принимают значение

$$a = A,\ b = B,\ c = C,\ d = D,\ e = E.$$

Основной цикл, совершаемый над каждым блоком исходного текста w_k, состоит из операций над этим блоком, функциями $g_i\left(X,Y,Z\right)$, $i = \overline{1,4}$ и векторами a,b,c,d,e.

Например, одна из функций $g_i\left(X,Y,Z\right)$ имеет вид:

$$g_i\left(X,Y,Z\right) = 4 * Z^{-1} * \left(Y + \left(X << 4\right)\right).$$

Здесь X,Y,Z – вектора, операция $*$ – почленное перемножение элементов векторов, X^{-1} – состоит из элементов мультипликативно обратных во множестве Z_n к элементам вектора X, «+», «–» – соответственно сложение или вычитание элементов векторов, $X << n$ – циклический сдвиг влево, т.е. смещение каждого элемента вектора n на позиций.

Каждый основной оператор над текущим блоком w_k и векторами a,b,c,d,e имеет вид:

$$\begin{aligned}
&for\left(p = 1; p \le 4; p++\right)\\
&\quad\left\{a = \left(g_p\left(d,c,e\right) * w_k^{-1} << \left(7-p\right) * a * b\right);\right.\\
&\quad b = \left(a << \left(4+p\right) * b\right)^{-1};\\
&\quad c = c - p * b;\\
&\quad d = \left(a+b\right) << 3 * c;\\
&\quad e = \left(b - c * e\right) * \left(a * d\right)^{-1};\\
&\quad\left.\right\}.
\end{aligned}$$

После обработки текущего блока w_k векторы A,B,C,D,E изменяются

$$A = \left(A+a\right)\bmod n,\ B = \left(B+b\right)\bmod n,\ C = \left(C+c\right)\bmod n,$$
$$D = \left(D+d\right)\bmod n,\quad E = \left(E+e\right)\bmod n.$$

Окончательно, после завершения обработки последней порции исходного текста w_l, хэш-код исходного текста получается суммированием

$$h = \left(A + B + C + D + E\right) \bmod n.$$

К полученному хэш-коду h для получения ЭЦП применяется композиция двух шифров. Вначале симметричный алгоритм – афинный шифр 3-го порядка, а затем асимметричный шифр на эллиптических кривых.

1. Коблиц Н. Курс теории чисел и криптографии / Н. Коблиц. – М.: СОЛОН, 2001. – 254 с.
2. Мао Венбо. Современная криптография: теория и практика / В. Мао. – М.: Вильямс, 2005. –763 с.
3. Петров А.А. Компьютерная безопасность. Криптографические методы защиты / А.А. Петров. – М.: ДМК, 2000. – 444 с.
4. Рябко Б.Я. Криптографические методы защиты информации / Рябко Б.Я., Фионов А. Н. – М.: Горячая линия – телеком, 2005. – 229 с.
5. Столлингс В. Криптография и защита сетей / В. Столлингс. – М.: Вильямс,2001. – 669 с.
6. Х.К.А. Ван Тилборг. Основы криптологии / Х.К.А. Ван Тилборг. – М.: МИР, 2006. – 271 с.

УДК 005.93:669.013

ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ В КОНЦЕПЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЩЕСТВА

Андриенко В.Н.
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк
Andr20076@yandex.ru

В современных условиях усиливающаяся нестабильность внешних социально-экономических и политехнических процессов, влияющих на функционирование и стратегическое развитие хозяйствующих субъектов, стремительное развитие высоких технологий, глобализация бизнеса, рост объемов производства и потребления, интеграция на микро- и макро-уровнях предопределили переход к постиндустриальному и информационному обществу. Это предъявляет новые требования к управлению предприятиями, связанные с формированием эффективных механизмов производства, распределения, обмена и потребления информации. Информация становится важным фактором производства в постиндустриальной экономике, которая развивается в соответствии с концепциями «экономики знаний» и «информационного общества» [1].

Особенности управления информационным обеспечением промышленных предприятий определяют необходимость поиска новых подходов, направленных на: взаимодействие всех сфер деятельности, уровни принятия управленческих решений, функции, объекты и цели управления.

В настоящее время роль и значение процессов управления информационным обеспечением в системе функционального менеджмента отечественных промышленных предприятий существенно возрастает.

Интерес отечественных промышленных предприятий к совершенствованию информационного обеспечения как одного из главных условий роста их стоимости объясняется тем, что начался переход на сетевые технологии информационного обслуживания, увеличение парка компьютерных средств и других показателей информационного потенциала, сто делает возможным формирование интегрированных информационных систем различного класса и назначения на базе сетевых технологий, решающих задачи маркетинга, финансов, основного и вспомогательного производства, бухгалтерского учета, кадров и т.д [2].

Но речь не только в количественном увеличении пользователей информации, расширении парка компьютеров и других средств передачи и обработки информации, сколько в том, что радикальными становятся методы

перестройки информационно-коммуникационной основы общества, изменения организационно-управленческой практики ведения хозяйствования и изменения потребностей в информации и ее объемах, качестве различных групп пользователей [3].

Наиболее прогрессивным подходом к эффективному использованию информационных ресурсов и созданию условий для устойчивого развития промышленных предприятий является применение сбалансированной системы показателей [4].

Сбалансированная система показателей является эффективной технологией управления, логической концепцией, направленной на кардинальную реорганизацию и совершенствование существующей системы менеджмента на предприятии с целью достижения им конкурентных преимуществ и лидирующих позиций на рынке. Не смотря на актуальность данного подхода, существуют ряд проблем, сдерживающих внедрение сбалансированной системы показателей на предприятия Украины, основными из которых являются: необходимость формирования соответствующего единого информационного пространства; быстрая интеграция сбалансированной системы показателей в общую систему управления предприятием; разработка механизма оценки эффективности использования сбалансированной системы показателей на отечественных предприятиях исходя из специфики их функционирования; мотивация персонала к применению сбалансированной системы показателей в текущей деятельности; управление рисками на основе данной концепции; корректировка данных бухгалтерского и управленческого учета для целей сбалансированной системы показателей; обоснование выбора и количества показателей для данной системы и установление их нормативных значений, что связано с отраслевой особенностью предприятия, неразвитостью технико-экономического анализа и неэффективностью построения системы учета на отечественных предприятиях, в связи с чем усложняется процесс сбора данных для расчета ряда показателей.

Для решения выделенных проблем разработана концептуальная модель системы управления информационным обеспечением, максимально учитывающую особенности промышленных предприятий.

Выделены цель и задачи концепции управления информационным обеспечением промышленного предприятия, определены инструменты и методы, обеспечивающие информационную поддержку менеджмента на основе системы сбалансированных показателей.

Поскольку количество показателей в сбалансированной системе значительно, а трудоемкость их вычисления высоко, то затраты на управление могут превысить эффект от полученного результата. Решением указанной проблемы является применение концепции реинжиниринга бизнес-процессов (РБП) функциональной и обеспечивающих сфер деятельности промышленного предприятия

РБП предполагает смену базовых принципов организации промышленного предприятия и переход к ориентации не на функции, а на процессы.

Анализ объемов и интенсивности обработки информации для формулировки стратегических целей и определения сбалансированной системы показателей деятельности предприятия, принятия эффективных управленческих решений определяют повышенные требования к ее полноте, оперативности, достоверности, релевантности и непротиворечивости. Обеспечение перечисленных свойств достигается в едином информационном пространстве предприятия, где четко определены интерфейс с внешним окружением и уровни взаимодействия пользователей информации. Организация единого информационного пространства предприятия и поддержка его в актуальном состоянии возлагается на управление по информатизации, роль и значимость которого в современных условиях существенно возрастают.

Основные функции управления по информатизации (УИ) классифицированы следующим образом: интерфейсные; внутренние коммутативные; проектные; управленческие; поддержки технического, сетевого, специального и прикладного программного обеспечения; администрирования; аналитических рекомендаций.

В результате взаимодействия УИ с менеджерами высшего управленческого звена определяется стратегия функционирования промышленного предприятия и сбалансированная система показателей, обеспечивающая его устойчивое функционирование. Сбалансированная система показателей промышленного предприятия разрабатывается с применением метода синтеза, обеспечивающего иерархическое отображение релевантных показателей на различных уровнях управления.

Сбалансированная система показателей определяется бизнес-процессами промышленного предприятия, разрабатываемых с использованием соответствующего метода структурирования.

Интерфейс с внешним окружением обеспечивается реализацией соответствующих функций по обработке структурированной и неструктурированной информации.

В рамках предложенной концептуальной модели управления информационным обеспечением промышленного предприятия должны получить развитие такие методы и инструменты ее реализации, как: сбалансированная система показателей эффективности деятельности предприятия; структурирование бизнес-процессов с учетом сбалансированной системы показателей; контроллинг сбалансированной системы показателей деятельности промышленного предприятия.

1. Пахалко О. Составляющие информационной системы предприятия / О.Пахалко // Экономика и жизнь. – 2007. – №14. – С.14-19.
2. Андрієнко В.М. Ефективні механізми антикризового управління виробничо-господарських систем / В.М.Андрієнко, Т.В.Белопольска, О.В.Артюх, О.О.Плахотнік // Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2013. – 381 с.
3. Андриенко В.Н. Система мониторинга финансово-хозяйственной деятельности министерства / В.Н.Андриенко, Ю.Г.Лысенко, Л.А.Белкин, А.А.Гнибеда // Донецк: Юго-Восток, 2012. – 212 с.
4. Тренев Н. Стратегическое управление / Н.Тренев. – М.: Приор, 2004. – 288 с.

УДК 651:681.322

СТРАТЕГИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГИБРИДНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ХРАНИЛИЩ

Коробейникова К.В.
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк
evilia@mail.ru

Деятельность любого государственного учреждения сопровождается созданием и хранением огромного количества различных документов. Возрастающая интенсивность информационных потоков и повышение требований оперативности реагирования на поступающую информацию в современном обществе диктует новые подходы к организации управления документооборотом на предприятиях любого уровня. Решение возникающих проблем организации делопроизводства возможно только за счет активного использования современных компьютерных информационных технологий, нашедших свое применение и реализацию в системах электронного документооборота и информационных хранилищ цифровой информации.

Информационных хранилища в органах государственной власти представляют собой цифровые данные, составляющие часть государственных архивов, подлежащую передаче в государственные архивохранилища [1, с. 12].

Кроме того, следует отметить, что ответственность за хранение текущих и промежуточных массивов информации лежит на службах, которые их создают. В конце периода административного использования документов, эти службы должны передавать свои архивы, уже снабженные описями, в государственные архивохранилища, которым передается и полная ответственность за их окончательное хранение.

За последнее десятилетие появилось очень много предложений в области архивного хранения электронных документов и использования информационных хранилищ, в особенности, для промежуточного хранения. Постепенно претворяется в жизнь общее управление государственной цифровой информацией, которая сосредоточена в информационных хранилищах.

Большинство этих программных продуктов для архивов основывается на следующем:

– использование свободного (то есть бесплатного) программного обеспечения;

– учет пяти основных функций, которые ею определяются (комплектование, описание, хранение, использование, удаление и восстановление данных);

– стандартный протокол обмена данными для архивирования, для того, чтобы обеспечить обмен данными между любыми системами информации и возможность их архивирования Он моделирует передаточные е описи, акты

уничтожения и необходимые формы для поиска данных и выдачи их пользователю, а также предоставляет элементы для написания, приема и отправления сообщений. В частности, он указывает, на необходимые данные, которые должны присутствовать в этих системах [2, с. 36.].

Поступление цифровых данных, имеющих высокую юридическую ценность, после их вступления в законную силу (а не после окончания срока их административного использования), в электронные архивные системы, в то время как эти данные параллельно хранятся и обрабатываются также и в службах, которые их создали, в течение всего периода их ведомственного хранения [3, с. 169].

Одной из важнейших задач, которая стоит перед государственными органами является обеспечение синхронного изменения данных, которые находятся в текущей базе данных и в информационных хранилищах. Для реализации данных процессов создаются гибридные информационные хранилища.

Концепции гибридных информационных хранилищ, возникшие за пятнадцать лет в области архивного хранения электронных документов, сделали очевидной для государства необходимость разработки общей системы управления цифровой информацией, создающейся в органах государственной власти и управления. Необходимость общей стратегии, естественно, ощущалась не только архивистами. Впервые она была осознана в связи с необходимостью разработки межминистерских приложений для перекрестных функций, в частности в области финансов, бухгалтерского учета и управления персоналом, по понятным соображениям экономии. Помимо этого, были созданы общие стандарты совместимости и безопасности для того, чтобы информационные службы министерских департаментов нашли общую и безопасную техническую основу [4, с. 10].

Создание гибридных информационных хранилищ должно стать частью более глобального процесса управления цифровой информацией, создаваемой государственными органами власти.

Хранилища данных имеют важное значение в создании информационных систем. от хранилища данных существенно зависит быстродействие и устойчивость этих систем. Поэтому проектированию хранилищ данных уделяется повышенное внимание.

Сегодня существуют различные виды баз данных и хранилищ данных, основными подходами к проектированию хранилищ данных является подход Б.Инмона (реляционное хранилище данных), подход Р.Кимболл (многомерное хранилище данных) и подход Д.Хэкни (гибридное хранилище данных). Кроме того, интересно предложена в концепция обобщенного гибридного хранилища данных. Она заключается в наличии в одном хранилище реляционной и многомерной базы данных. Это позволяет сочетать в одном хранилище быстродействие (оперативностью) реляционной базы данных с гибкостью (аналитичностью) многомерной базы данных [5, с. 190]. Однако, учитывая тот факт, что данные для хранилища данных получаемых из имеющихся источников данных, то целесообразно автоматизированное

проектирование хранилища данных с их учетом. Это позволит оптимизировать быстродействие выполнения запросов к хранилищу данных в соответствии с конкретными источников данных.

Важнейшей характеристикой гибридных информационных систем является масштабируемость. Интеграционный компонент должен работать с большими объемами данных. По мере роста нагрузки, система должна работать без перерывов в обслуживании, распределяя эту нагрузку на дополнительное оборудование и дополнительные модули. Например, в архитектуре WHIPS (WareHouse Information Prototype at Stanford) каждым материализованным представлению руководит определенный модуль. По мере увеличения количества представлений, каждый модуль может выполняться на одной машине. Подобным образом система должна поддерживать высокие степени параллельности, при которых большое количество обновлений можно обрабатывать одновременно.

Гибридные информационные хранилища позволяют автоматизировать работу с документами как в соответствии с требованиями традиционного делопроизводства, так и с современными тенденциями управления (work-flow). Они реализуют управление потоками документов, отслеживание всех изменений, вносимых в них в процессе обработки, контроль исполнения поручении, своевременное списание документов, одним словом, большинство операций по всему циклу делопроизводства..

1. Сибирская Е.В. Электронная коммерция: учеб. пособие / Е.В.Сибирская, О.А.Старцева. – М.: Форум, 2013. – 288 с.
2. Уткин В.Б. Информационные системы в экономике: учебник. – М.: Академия, 2012. – С. 34-52.
3. Свиридов А.С. Конфигурирование информационных систем с точки зрения систем управления // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2014. – № 6 (155). – С. 168-173.
4. Полищук Ю.В. Построение хранилищ данных, ориентированных на работу с квазиструктурированным информационным наполнением документов // Информ. технологии. – 2010. – № 4. – С. 9-14.
5. Кучеров С.А. Концептуальная модель хранилища конфигурируемой информационной системы на основе NoSQL-технологий // Известия ЮФУ. – Технические науки. – 2015. – №4 (165). – С.189-199.

УДК 378.09

К ВОПРОСУ СТАНДАРТИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ В СФЕРЕ УПРАВЛЕНИЯ

Крулькевич М.И.
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк
krulkevich@inbox.ru

В настоящее время на всех уровнях управления широко применяются новые информационные технологии, которые неразрывно связаны с электронным документооборотом.

В связи с этим встает проблема установления единых требований (стандартов) в документационной и информационной сферах.

На сегодняшний день в ряде развитых стран мира используются иональные стандарты, разработанные на основе международного стандарта ИСО 15489 в качестве основных нормативных актов, регламентирующих работу с документами. На его основе разрабатываются и принимаются стандарты по отдельным аспектам управления документами. Например, международный стандарт ИСО 23081, посвященный метаданным для документов (об управлении документами), используемых в управленческой деятельности, их роли и обязанностям; типам метаданных, затребованных для поддержки ИСО 15489; вопросам управления метаданными и т.п.

В Российской Федерации разработан национальный стандарт России системы СИБИД – ГОСТ РИСО 15489 "Управление документами. Общие требования", который является аутентичным переводом международного стандарта ISO 15489-1-2001 Information and documentation. Records management. General.

МС ИСО 15489 закрепляет обобщенную передовую практику стран.

Основываясь на том положении, что делопроизводство и управление – это две стороны одного процесса, которые взаимообусловлены и взаимоувязаны, стандарт на управление документацией необходимо рассматривать в комплексе с документами, закрепляющими систему управления в организации.

МС ИСО 15489 разработан для отражения системы управления, принципы и требования к которой закреплены в международных стандартах ИСО серии 9000 "Система менеджмента качества" (далее - МС ИСО серии 9000). Именно на соответствие этим стандартам в МС ИСО 15489 дается ссылка.

МС ИСО серии 9000 обобщают международный опыт в области управления и определяют процессный подход главным принципом во всех видах деятельности организации. Концепция процессного подхода в управлении является альтернативой управлению организацией вертикально, на основе ее структуризации в виде иерархии функциональных единиц. При структурно-функциональном подходе в управлении проблемам, которые существуют на границах взаимодействия структурных подразделений, часто уделяется недостаточное внимание. Документы при таком подходе строго привязаны к функциям отделов и к специалистам, эти функции исполняющим. Такое отношение не обеспечивает Достаточных улучшений для заинтересованной стороны, поскольку виды деятельности обычно ориентированы на функции, а не на полную выгоду организации. Процессный подход в управлении представляет собой горизонтальный менеджмент, пересекающий барьеры между различными функциональными единицами и ориентирующий их на главные цели организации. В соответствии с ним организация, в первую очередь рассматривается как совокупность процессов, а не структурных поддразделений, выделяемых на основе функций управления. В соответствии с ИСО серии 9000 организация

должна сама определить перечень процессов, необходимых для ее эффективного управления. Однако вне зависимости от специфики деятельности и управления в каждой организации должен быть выделен и зафиксирован процесс управления документацией.

Поэтому в России, как и в других странах СНГ, происходит активное внедрение МС ИСО серии 9000. Анализируя ситуацию с внедрением указанных стандартов, специалисты в области менеджмента качества заявляют, что в целом последствия такого внедрения не могут быть оценены удовлетворительно. На предприятиях, где стандарты внедряются, удается создать результативную и эффективно действующую систему управления организацией. Однако на многих других предприятиях этого не происходит, так как стандарты внедряются "формально".

Вне зависимости от стратегии внедрения МС ИСО серии 9000, организации сталкиваются с проблемой неоправданного увеличения объёма создаваемой документации, несмотря на то, что нормы, закрепленные в международных документах, призваны способствовать его сокращению. Одной из причин такого положения является наличие "двойных стандартов" при переходе на процессный подход в осуществлении организацией своей деятельности и внедрении процессного подхода в организацию работы с документами предприятия (учреждения).

Анализируя перспективы внедрения МС ИСО 15489 в Донецкой Народной республике, необходимо учитывать, что являются обязательными для исполнения гражданами и юридическими лицами на всей территории страны. Вследствие этого принятие национального стандарта, идентичного по содержанию и форме представления МС ИСО 15489, определит его обязательное внедрение во всех организациях, вне зависимости от особенностей существующей в них системы управления. Однако эффективность применения такого стандарта будет заметна лишь в тех организациях, где успешно внедрены и действуют стандарты ИСО серии 9000, закрепляющие процессный подход в управлении. Именно такую систему менеджмента призвана отражать система управления документацией, закрепленная в МС ИСО 5489. В организациях, где управление осуществляется вертикально, на основе структурно-функционального подхода, прямое внедрение МС О 15489, приведет к тому, что документы перестанут отражать существующую систему управления и, как следствие этого, выполнять управленческую функцию, что является недопустимым, и в конечном итоге ведет к снижению эффективности всей деятельности организации. В условиях, когда подавляющее большинство организаций осуществляет управление на основе структурно-функционального подхода, а результаты внедрения процессного подхода часто признаются специалистами неудовлетворительными, прямое внедрение ИСО 15489 является нецелесообразным.

На современном этапе управление документацией выполняет основную функцию управления. В то же время современная теория менеджмента предлагает руководителям огромное количество различных подходов.

Преуспевающие организации в формировании своей стратегии используют различные методы и технологии В таких условиях законодательство в области документациоционного обеспечения управления должно предлагать обоснованные правила выбора (или границы применимости) тех или иных методов.

Разработанный на основе международного, национальный стандарт должен закреплять основополагающие принципы и устанавливать общие правила документирования и организации работы с документами вне зависимости от вида носителя и для любой системы документации, обеспечивая возможность его внедрения во всех организациях вне зависимости от границ распространения, особенностей осуществления и вида их деятельности.

1. International standard ISO 15489-1:2001, Information and documentation – R^{ecors} Management – Parti: General. PI.
2. ИСО 9000:2005 Система менеджмента качества. Основные принципы и словарь; -1 ИСО 9001:2000 Системы менеджмента качества. Требования.
3. ИСО 9004:2000 Система менеджмента качества. Руководство по совершенствова Руководство по концепции и использованию процессного подхода для систем менеджмента. Документ ISO/TO 176/SC 2/N 544R2. Ввод, в действие 04.12.2003.

УДК 342:651

К ПРОБЛЕМЕ КОМПЛЕКСНОГО УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Курдюмова И.А

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк

kurdiumova.irina@mail.ru

Управление системой документации, являясь частью системы менеджмента качества, представляет собой систему взаимосвязанных процессов, обеспечивающих качество осуществления всех процессов организации и деятельности всех её функциональных единиц путем организации такой работы с документами, которая бы в конечном итоге способствовала более эффективному достижению организацией своих целей и создавала ценность для потребителей и других заинтересованных сторон.

Международные стандарты рассматривают управление документацией следующим образом:

а) как часть системы менеджмента$_{т}$ качества, которая представляет собой не просто систему управления, а является интеллектуальным признаком философской основой для всей деятельности организации:

б) как самостоятельный процесс организации с определенным входом и выходом, проходящий и пересекающий барьеры между различными функциональными, единицами и выполняющий основную функцию менеджмента;

в) как система взаимосвязанных процессов по документированию и организации работы с документами, которой необходимо управлять посредством создания и понимания сети процессов и их взаимодействия [1].

Любая организация вне зависимости от ее организационно-правовой формы и формы собственности заинтересована в качественно налаженной и работающей системе управления документами, позволяющей ей оперативно получать достоверную информацию и принимать на ее основе своевременные решения, имеющие следствием осуществление эффективной и результативной деятельности [2]. В связи с этим особое значение имеет разработка и внедрение стандартов документационного и информационного обеспечения.

Организация работы с документами является важной составной частью процессов управления и принятия управленческих решений, которая существенно влияет на оперативность, экономичность и надежность функционирования аппарата управления учреждения, культуру труда управленческого персонала и качество управления.

С увеличением масштабов предприятия и количества его сотрудников вопрос об эффективности управления системой документации становится все более актуальным.

Основные проблемы, которые при этом возникают:

– руководство теряет целостную картину происходящего на предприятии;

– структурные подразделения, не имея информации о деятельности друг друга, не могут эффективно работать;

– как следствие, наблюдается падение производительности труда и возникает нехватка ресурсов: человеческих, технических, коммуникационных и др.

Одной из проблем при разработке стандартов информационного обеспечения управления является проблема терминологии, применяемой в международных стандартах и ее соотношение с терминологией, принятой в международных стандартах.

Примером несогласованности в применении терминологии является ГОСТ Р ИСО 9000-1 «Системы менеджмента качества. Основные положения», в котором «управление документами» рассматривает как «управление записями» [3].

В документоведении четко определены и нормативно закреплены такие термины и понятия как "документ, "хранение документов", "сроки хранения документов", "отбор, прием, передача на хранение, либо на уничтожение" и т.п., которые не используются в стандартах менеджмента качества [4].

Основным инструментом при обосновании методов и направлений информатизации конкретного органа управления должна стать его информационная модель.

Добавляя эти условия в производственных систем предприятий, можно отметить:

а) открытость системы предполагает наличие глубоких обратных связей с пользователем, по крайней мере через подсистемы маркетинга и обслуживания;

б) значительные нелинейные колебания рыночной среды подтверждаются вероятным характером рыночных связей, возможностью статистических толчков и подчеркиваются многими исследователями;

в) степень организованности производственной системы определяется кооперативной согласованностью элементов системы и характеризуется энтропией этапов жизненного цикла продукции.

Система управления производством должна создаваться с учетом дальнейшей эволюции и адаптивности в зависимости от условий внешней среды, то есть всегда существует опасность краткосрочного узкого планирования, основанного на непосредственном экстраполяции прошлого опыта, а основным источником, позволяющим системе существовать длительное время, обновляться и находить самобытные пути развития, является ее адаптационные возможности, оказываются на пути эволюции.

Вот эти особенности следует учитывать при выборе и разработке управления предприятием [5].

Вопросы комплексного управления системой документации в той или иной степени зафиксированы в законодательстве Донецкой Народной Республики. В частности, нормы, касающиеся классификации документов, их индексации и регистрации, обеспечения сохранности, определения доступа, контроля движения и исполнения документов, их отбора на дальнейшее хранение или уничтожение закреплены в методических документах. Однако в настоящее время отсутствует предусмотренная методология оценки эффективности деятельности по документированию организации работы с документами, не проводится оценка рисков, связанных с отсутствием документов, отражающих деятельность организации [6, с.12].

Данные вопросы должны найти отражение при разработке методического обеспечения документационного обеспечения управления на республиканском уровне.

В условиях, когда сложившиеся правила документирования и организации работы с документами зафиксированы в различных нормативных и методических документах, необходимым представляется внедрение республиканского стандарта, регламентирующего вопросы комплексного управления системой документации на предприятиях, в организациях и учреждениях.

1. ГОСТ Р ИСО 9000-2001 "Система менеджмента качества. Основные положения. Словарь" в части употребления терминов "запись" и "документ", а также в раздел "Термины, относящиеся к документации";
2. ГОСТ Р ИСО 9001-2001 "Системы менеджмента качества. Тр^{е}‘ бования" в раздел "Требования к документации"
3. ISO 15489-1-2001 Information and documentation. Records management.
4. ISCVTS 23081-1:2004, Information and documentation – Records management processes – metadata for records – Part 1. Principles.

5. Документ в системе социальных коммуникаций : сб. материалов III Всерос. науч.-практ. конф. с международ. участием. – Томск, 2008. – 448 с.
6. Шибаев Д.В. Правовое регулирование электронного документооборота: учеб. пособие. – Вологда : [б. и.], 2012. – 72 с.

УДК 004:354:651

НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМЫ ДОКУМЕНТООБОРОТА В ОРГАНАХ ГОСУДАРСТВЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ В РАМКАХ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЩЕСТВА

Мащенко Н.Е.
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк
maschenko_n@mail.ru

В основе эффективной работы государственных органов лежит правильность и своевременность принятия решений руководством, гибкое реагирование на изменение ситуации в стране. Новый этап развития общества, именуемый информационным, связан с постоянным ростом объемов информации, необходимой также и для принятия государственных решений; это приводит к тому, что приходится получать, обрабатывать и хранить документы в большем количестве, чем раньше. Кроме того, нынешняя политическая и экономическая обстановка в Донецкой Народной Республике (далее – ДНР), может влиять на гибкость в реагировании на изменения во всех областях жизни общества, что тормозит дальнейшее развитие всех структур власти. Внедрение информационно-коммуникационных технологий в государственное управление является одним из механизмов, способных обеспечить эффективное функционирование органов государственного управления.

В рамках взаимодействия органов государственной власти между собой (модель G2G) на пути к электронному государству одним из инструментов реализации концепции электронного государственного управления является система электронного документооборота (далее – СЭД).

СЭД представляет собой интегрированную систему автоматизированного учета и контроля движения документов при помощи информационных технологий, начиная от формирования, обработки, получения документов до передачи их в архив и уничтожения [1].

При создании СЭД в государственном управлении достигаются следующие цели [2]: повышение эффективности и оперативности принятия управленческих решений; усиление контроля над обработкой, исполнением и хранением документов; оптимизация потоков информации на бумажных и электронных носителях; исключение случаев потери документов; создание единого информационного пространства для ввода, обработки, анализа и хранения документов; обеспечение должностным лицам многофункционального доступа к базе данных системы документооборота, содействие доверия со стороны граждан.

Реализация и внедрение СЭД в государственном управлении должно регулироваться нормативно-правовой базой. Нормативно-правовая сфера создания и развития систем электронного документооборота в государственном управлении ДНР представляет собой совокупность правовых норм, регулирующих отношения, складывающиеся в процессе развития и функционирования системы, а также правовых средств, используемых системой для эффективного применения этих норм. Она должна базироваться на Конституции и законодательстве Республики, а также на подписанных международных соглашениях.

В условиях применения в органах государственной власти и управления детального регламента делопроизводства, внедрение системы электронного документооборота требует соответствующей адаптации к существующим нормам и правилам, действующим в ДНР. В Республике в целях оптимизации документооборота, совершенствования на единой основе документационного обеспечения управления и повышения его эффективности Советом Министров Республики 10.01.2015 г. было принято Постановление «Об утверждении Правил делопроизводства в органах исполнительной власти» № 1-2, принят Закон «Об информации и информационных технологиях» (принят Постановлением Народного Совета ДНР 07.08. 2015 г. №I-278П-НС), Закон «О персональных данных» (принят Постановлением Народного Совета ДНР 19.06.2015 г. №I-234П-НС), Закон «Об электронной подписи» (принят Постановлением Народного Совета ДНР 19.06.2015 г. №I-235П-НС).

Однако этого недостаточно для введения полноценного электронного документооборота, придания ему юридической силы и обеспечения безопасности. Еще предстоит принять ряд законов, государственных и отраслевых стандартов по информационной безопасности, созданию единой системы электронного документооборота органов государственной власти и управления, по унификации типов баз данных и обмену данными между органами государственного управления; алгоритмам систем криптозащиты, криптоанализа, электронной цифровой подписи для применения в органах государственного управления; внедрению и использованию систем электронного документооборота.

Автоматизация делопроизводства в органах государственного управления ДНР должна быть основана на общей Концепции информационного развития Республики, включающую поэтапное развитие системы электронного документооборота до уровня «электронного правительства», «электронной демократии», которая должна быть разработана и обязательна к исполнению на всех уровнях власти.

Система электронного документооборота государственных органов с использованием электронной цифровой подписи является одной из основных составляющих электронного управления, поскольку, с ее помощью возможно осуществить постепенный переход на электронный документооборот с использованием непосредственно электронного документа.

Создание и развитие СЭД в государственном управлении ДНР должно предусматривать реализацию мероприятий по следующим основным взаимосвязанным направлениям:

– формирование единой технологии электронного делопроизводства и документооборота, совершенствование нормативной базы по делопроизводству и документационному обеспечению в государственном управлении, обеспечение совместимости стандартов документооборота;

– разработка структуры системы электронного документооборота в государственном управлении в соответствии с техническим заданием;

– инвентаризация, обновление и дооснащение современной компьютерной техникой органов государственного управления и государственной власти на местах;

– повышение компьютерной грамотности и квалификации, информационной культуры государственных служащих;

– ввод безбумажной подготовки и обращение внутренних документов в структурных подразделениях Аппарата Совета Министров Республики, Народного Совета, Администрации Главы Республики; создание локальных компьютерных сетей органов государственного управления и государственной власти на местах; создание электронных государственных реестров хозяйствующих субъектов, общественных объединений;

– расширение и обеспечение интеграции информационных систем министерств и ведомств и территориальных подразделений государственных органов; создание корпоративных компьютерных сетей органов государственного управления и местных органов государственной власти;

– внедрение электронного документооборота в органах государственного управления и местных органов государственной власти с учетом использования электронной цифровой подписи и требований информационной безопасности; в частности внедрение электронных форм представления отчетности в государственные органы статистики, государственные налоговые органы;

– полный перевод бумажных документов в электронную форму, формирование электронных архивов; ввод полного цикла безбумажного документооборота аппарата центральных и местных органов власти; разработка и реализация проектов по обеспечению ведомственного и межведомственного электронного документооборота;

– создание интегрированной сети информационных систем органов государственного управления; создание единой системы межведомственного электронного взаимодействия в целях предоставления государственных и муниципальных услуг в электронной форме, создание информационного портала государственной власти Республики.

Внедрение систем электронного документооборота в органы государственной власти должно способствовать координации работы всех сотрудников центральных органов власти, структурных подразделений местных органов власти; обеспечивать взаимодействие органов государственной власти с гражданами и бизнесом путем доступа к публичной информации, налаживанию системы обращений с гражданами онлайн, обратной связи с Государственным архивом Республики, формированию общегосударственного внешнего документооборота. Однако

необходимо учитывать проблемы, возникающие на этапах внедрения, рассчитать эффекты от внедрения СЭД и возможности интеграции в единый государственный портал.

1. Кравец М. Электронные системы управления документооборотом: учеб. пособие / М.Кравец. – Воронеж: АОНО «Институт менеджмента, маркетинга и финансов», 2004. – 48 с.
2. Матвієнко О. Основи організації електронного документообігу: навч. посібник. / О.Матвієнко, М.Цивін. – К.: ЦУЛ, 2008. – 112 с.

УДК 651

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ДОКУМЕНТАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГОСУДАРСТВЕННЫХ ОРГАНОВ ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ

Пономаренко Н.Ш.
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк
tayapon@mail.ru

В условиях обострения военно-политической обстановки, с одной стороны, формирования социально-политической и экономической системы, с другой, документационное обеспечение в процессе управления требует постоянного регулирования организационной, нормативно-методической и технико-технологической базы, с целью приведения ее в соответствие с современными реалиями и перспективами развития.

В Аппарате Народного Совета Донецкой Народной Республики (ДНР) после проведения организационно-штатных изменений был создан отдел документационного обеспечения и делопроизводства, главной задачей которого является организация и ведение единой системы делопроизводства в соответствии с законодательством ДНР.

Проведение работ по упорядочению имеющейся нормативно-правовой и методической базы обусловлено необходимостью совершенствования системы управления и документационного обеспечения процессов государственного управления ДНР, имеющих важнейшее значение для дальнейшего социально-экономического развития республики.

В настоящее время в Аппарате проводятся мероприятия по оптимизации и повышению эффективности документооборота, который влияет на качество и эффективность работы, так как, от того, насколько профессионально ведется документооборот, зависит успех управленческой деятельности в целом.

С этой целью разработана и утверждена Типовая инструкция по работе с документами, проведены мероприятия, направленные на улучшение уровня информационных технологий, которые позволят:

– повысить надежность хранения данных;

– облегчить администрирование;

– снизить расходы и время на обслуживание техники;

– дополнительную защиту данных;

– создать устойчивое и эффективное управление всей информационно-технической системой.

С целью повышения оперативности и эффективности управленческой деятельности всех подразделений Аппарата, ускорения движения документов между структурными подразделениями и уменьшения затрат времени на обработку документов, на наш взгляд, необходимо разработать мероприятия по внедрению системы электронного документооборота (СЭД).

Однако существует ряд объективных и субъективных препятствий на пути повышения эффективности документационного обеспечения процессов государственного управления. В частности, по различным причинам наблюдается:

– несоответствие достигнутому информационно-технологическому уровню нормативно-методической базы организации работы с электронными документами;

– разнотипность программно-технических средств, применяемых в работе с электронной документацией;

– дублирование электронных документов традиционными бумажными документами и неоправданное параллельное существование систем электронного и традиционного бумажного документооборота;

– несогласованность систем электронного документооборота, автоматизированных систем документационного обеспечения управления с системами архивного хранения документов.

Для внедрения СЭД в государственные органы республики, необходимо принятие ряда организационных, законодательных и нормативно-методических мер на государственном, межведомственном и внутриведомственном уровнях управления.

Реализация принципов электронного документооборота на базе новейших информационных технологий с помощью современного аппаратного и программного обеспечения даст возможность создать в Аппарате Народного Совета ДНР единое информационное пространство электронного документооборота, интегрируя в информационный узел все системы передачи и приема электронных документов.

Интеграция должна осуществляется без снижения качества работы с документами и с сохранением форм традиционного делопроизводства. Основа такой интеграции – надежное хранилище электронных документов и взаимодействующей с ним системы передачи, приема и регистрации электронной документации.

Необходимо отметить, что, невзирая на высокую конкуренцию продуктов СЭД, некоторые известны в ДНР и зарекомендовали себя в пользовательской среде. К ним относятся: «1С: Документооборот», CompanyMedia от компании «ИнтерТраст», DocsVision, SharePoint и «Дело» компании ЭОС, Directum, «Тезис» от российского разработчика «Хоулмонт» и программная разработка «Е1 ЕВФРАТ» от Cognitive Technologies.

Обращают на себя внимание возможности, входящие в число трендов рынка и являющиеся крайне необходимым дополнением функционала СЭД (у ряда разработчиков они наряду с основными возможностями входят в базовый функционал) при работе с документами в организациях разного уровня. К ним следует отнести:

сервисы ведения договоров;

web-клиента;

управления работой по обращению граждан;

интеграции с «1С»;

ведение клиентской базы и архива документов, ввода и распознавания документов (OCR).

Наиболее полным базовым функционалом обладает Система электронного документооборота «Е1 Евфрат», что позволяет использовать ее для комплексной автоматизации в едином информационном пространстве всех процессов, протекающих внутри государственных органов управления.

Основными контурами автоматизации системы «Е1 Евфрат» являются:

– Электронное делопроизводство
– Электронный документооборот
– Электронный архив
– Управление договорной деятельностью
– Учет и ведение работы с контрагентами
– Работа с финансовыми документами
– Работа с кадрами
– Выдача и контроль исполнения поручений

Архитектура системы поддерживает полноценную работу с любыми объектами учета (документы, задачи, контрагенты, проекты, структуры данных), при этом обеспечивая полную информационную безопасность, что немаловажно в современных условиях работы государственных органов ДНР.

В СЭД «Е1 Евфрат» реализованы основные принципы защиты информации (защита от утечки за счет мониторинга и протоколирования действий в сети, от несанкционированного доступа, от непреднамеренных/намеренных воздействий на защищаемую среду – система логинов и паролей, гибкое разграничение прав доступа).

Внедрение системы «Е1 Евфрат», по нашему мнению, даст возможность в значительной степени повысить эффективность деятельности как Аппарата Народного Совета ДНР в целом, так и отдельных сотрудников, снизить время обработки и согласования документов, повысить исполнительскую дисциплину, упростить процесс поиска документов и устранить проблему их утери, снизить затраты на ведение архива, повысить безопасность работы информацией.

Таким образом, для дальнейшего развития и совершенствования документационного обеспечения государственного управления ДНР и реализации современной информационной технологии целесообразно внедрение СЭД «Е1 Евфрат», организацию последующего ее развития и совершенствования при работе с документацией и гармонизацией с уже действующей информационной системой «1С: Предприятие».

1. Авторизация в комплексе Е1 Евфрат: [Электронный ресурс] Ознакомление с документом. – Режим доступа: http://www.evfrat.ru/getdata/E1/docs/rolik1.zip.

УДК 651

ОРГАНИЗАЦИЯ ДОКУМЕНТАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ УПРАВЛЕНИЯ С НУЛЯ

Филатова Я.В.
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк
philatova.yana@gmail.com

Перед каждой вновь созданной организацией стоит вопрос образования будущей системы документационного обеспечения управления, организации эффективной работы с документами. Эта проблема становится все более актуальной в современных условиях становления и развития нормативно-правовой базы по документационному обеспечению и архивному делу в Донецкой Народной Республике (ДНР).

Прежде чем рассматривать вопрос об особенностях организации документационного обеспечения управления с нуля, необходимо определиться с терминологией, сложившейся в данной предметной области. Ввиду имеющихся противоречий относительно определений таких базовых терминов как «делопроизводство» и «документационное обеспечение управления» целесообразно проанализировать действующие терминологические стандарты исследуемой отрасли знания. По мнению автора, главное внимание заслуживает новый национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 7.0.8-2013 «Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Делопроизводство и архивное дело. Термины и определения», вступивший в силу с 01 марта 2014 года взамен ГОСТа Р 51141-98. Рассматриваемый российский стандарт имеет ряд преимуществ перед украинским ДСТУ 2732:2004 «Делопроизводство и архивное дело. Термины и определения понятий». Во-первых, за счет изъятия устаревших и неиспользуемых терминов и определений, относящихся к забытым уже технологиям, а также пополнения новыми терминами, отражающими современные виды деятельности, концепции и технологии работы с документами. Во-вторых, в украинском стандарте отраслевой терминологии 11-ти летней давности отсутствует определение понятия «документационное обеспечение управления», что, в свою очередь, делает невозможным сравнения двух синонимичных понятий.

Проанализировав историю и время возникновения терминов «делопроизводство» и «документационное обеспечение управления», между ними можно найти некоторые различия. Первый из них, делопроизводство, преимущественно используется при описании организационной стороны и традиционных приемов работы с документами. Второй – «документационное

обеспечение управления» подчеркивает информационно-технологическую составляющую современной организации делопроизводства и его лучше употреблять, когда речь идет о компьютерных технологиях работы с документами [1].

В соответствии с ГОСТом Р 7.0.8-2013 термин «делопроизводство» определяется как деятельность, обеспечивающая документирование, документооборот, оперативное хранение и использование документов; термин «документационное обеспечение управления (ДОУ)» как деятельность, целенаправленно обеспечивающая функции управления документами. Следует подчеркнуть, что в предыдущей версии стандарта 1998 года данные термины использовались как синонимы, в действующем же стандарте был введен новый термин – «ДОУ», но старый – «делопроизводство» – не перестал использоваться. Замены терминов не произошло, скорее всего, по следующим причинам: новый термин менее удобен в употреблении, так как он является словосочетанием из трех слов, а его аббревиатура (ДОУ) не всем понятна и не уникальна; термин «делопроизводство» понятен всем и удобен в произношении.

Итак, под системой ДОУ будем понимать совокупность организационных, информационных, технических, технологических мер, обеспечивающих документирование деятельности (создание документов), а также организацию работы с документами (документооборот, обработка, хранение и их использование).

Утверждать о том, что в организации налажена и эффективно функционирует система ДОУ, можно, на наш взгляд, в том случае, если:

– между работниками организации распределены функции управления документами и определена ответственность за их несоблюдение;

– применяются разработанные единые правила документирования управленческой деятельности организации, закрепляющие положения относительно состава и оформления реквизитов организационно-распорядительных документов, включая бланки организации, а также содержащие требования к составлению отдельных видов документов;

– рационально организован документооборот организации, т. е. движение документов с момента их создания или получения до завершения исполнения или отправления, включая регистрацию документов, контроль за их исполнением, ведение справочной работы по документам;

– налажена организация хранения документов (систематизация исполненных документов в соответствии с номенклатурой дел, формирование дел, хранение дел, передача документов на архивное хранение, уничтожение документов с истекшими сроками хранения).

Для решения поставленных задач необходимо выполнение определенного комплекса параллельно-последовательных действий [2], обеспечивающих создание эффективной системы ДОУ.

Первым шагом организации системы ДОУ с нуля является создание специализированного делопроизводственного подразделения (назовем его отделом ДОУ) или, при небольшом объеме документооборота, назначение работника, в обязанности которого будет входить организация работы с

документами. К этому же этапу можно отнести и назначение ответственных за ведение делопроизводства в структурных подразделениях организации. Кроме того, обязательным условием является разработка и утверждение положения об отделе ДОУ и должностных инструкций работников отдела.

Вторым шагом является разработка и утверждение инструкции по документационному обеспечению организации. Инструкция по ДОУ является основным нормативным документом, обязательным для всех работников организации, регламентирующим порядок и технологию работы с документами на всех этапах их жизненного цикла.

В настоящее время единственным нормативно-правовым актом, определяющим порядок документирования управленческой деятельности и организации работы с документами на территории ДНР, является Типовая инструкция по делопроизводству в органах государственной власти, органах местного самоуправления Донецкой Народной Республики, утвержденная постановлением Совета Министров ДНР от 16.10.2015 №19-27. Вместе с тем службы ДОУ организаций любых форм собственности и направлений деятельности могут использовать его как нормативную основу, поскольку на сегодняшний день альтернатив этому документу не существует. Разработчикам организационно-правовых документов необходимо адаптировать соответствующие разделы Типовой инструкции согласно конкретным требованиям, условиям деятельности и особенностям работы с документами своей организации, а также включить соответствующие корректировки в индивидуальную инструкцию по ДОУ.

Следует подчеркнуть, что в связи со значительной недоработанностью законодательной базы в области управления документами и архивного дела на территории ДНР можно использовать при разработке индивидуальной инструкции по ДОУ законы и другие правовые акты Украины, не противоречащие Конституции ДНР. В первую очередь, речь идет о национальном стандарте ДСТУ 4163:2003 «Государственная унифицированная система документации. УСОРД. Требования к оформлению документов», входящем в нормативно-методический минимум, который необходимо использовать при работе с документами.

Последним шагом по созданию оптимальной системы ДОУ является разработка номенклатуры дел, служащей основой систематизации документов в дела, формирования дел и ведения информационно-поисковой работы по документам. Кроме того, номенклатура дел выполняет еще одну важнейшую функцию – устанавливает сроки хранения документов.

Таким образом, создание эффективной системы по организации ДОУ – далеко непростая задача, требующая серьезного подхода и проведения ряда определенных последовательных действий.

1. Каменева Е.М. «Делопроизводство» и «документационное обеспечение управления»: есть ли разница значений? // Делопроизводство и документооборот на предприятии. – 2006. – № 9. – С. 34–36.
2. Янковая В.Ф. Делопроизводство с нуля // Секретарь-референт. – 2010. – № 7. – С. 17–19.

Тематическое направление «**Экология, охрана окружающей среды и рациональное природопользование**»

Секция «***Современные биотехнологии в экологии***»

УДК 615.322

САНИРУЩАЯ РОЛЬ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ В УРБАНИЗИРОВАНОЙ СРЕДЕ

Басенко Д.И., Глухов А.З.
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»,
ГУ «Донецкий ботанический сад», г. Донецк
base-bima@yandex.ru

В 2012-2016 гг. изучали особенности фитонцидных свойств некоторых видов древесных растений, а также экспериментально установили фитонцидную активность четырех видов древесных растений. Целью экспериментов было определение фитонцидных и санирующих свойств древесных форм растений в городах с тяжелой экологической обстановкой (загрязнение атмосферного воздуха выбросами заводов и фабрик, шахтные отвалы и т.д).

Были поставлены следующие задачи: освоить и применить в исследованиях основные методы определения фитонцидной активности древесных растений, выявить особенности фитонцидных свойств изученныхвидов древесных растений.

Для экспериментов были взять наиболее известные и распространенные в данном регионе виды растений: Клен остролистный (*Ácer platanoídes* L.), Каштан конский (*Aesculus hippocastanum* L.), Тополь белый (*Pópulus alba* L.), Черемуха обыкновенная (*Padus avium* Mill.). Определение перечисленных выше свойств растений проводили по двум методикам: Методом «повисшей капли» и Методом тест-культур. Каждый опыт проводили 4-е раза, для большей достоверности эксперимента.

Наиболее низкую санирующую способность показал вид Каштан конский (*Aesculus hippocastanum* L.), а наиболее высокую вид Черемуха обыкновенная (*Padus avium* Mill.).

В ходе экспериментов было установлено, что наиболее сильные санирующие свойства проявляет вид Черемуха обыкновенная (*Padus avium Mill.*) Так же по полученным данным можно сделать вывод, что загрязнение среды обитания имеет не однозначное влияние на санирующую функцию растений всех представленных видов древесных растений.

УДК 581.47+581.16

КАРПОЛОГИЧЕСКАЯ ИНДИКАЦИЯ В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

Внуков С.Ю., Сафонов А.И.
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк
andrey_safonov@mail.ru

Изучение специфических и неспецифических реакций растений на различные формы загрязнения среды является предметом изучения, в том числе токсикологических дисциплин, базовые характеристики которых могут быть основаны на фитоиндикационных эффектах, что удачно реализуется на территориях крупномасштабной промышленной деятельности. С точки зрения ботанико-экологического мониторинга Донбасса можно рассматривать как существующую натурную экспериментальную площадку, геохимическая и антропотехногенная деятельность в которой позволяет рассматривать разнообразие форм и способов реакций представителей биоты на техногенные эмиссии, формирующие зоны повышенного и недопустимого риска для проживания и какой-либо деятельности человека.

В сложившихся условиях предоставляется уникальная возможность для изучения механизмов устойчивости и адаптации растений к условиям техногенных экотопов. В антропогенно трансформированных экотопах г. Донецка на фоне постоянного загрязнения атмосферного воздуха весь растительный комплекс находится под влиянием динамического фонового или усиленного стресса. Повышения содержания фитотоксикантов в растениях оказывает неблагоприятное воздействие на растительный организм: нарушается деятельность физиологических и биохимических регуляторных систем проявляются анатомические и морфологические изменения.

При формировании плодов и семян реализуется весь комплекс приспособительных реакций видов растений к условиям среды обитания, отражается стратегический потенциал, пластичность видов, морфофункциональные перестройки. Первичные реакции на воздействие стрессора направлена на предотвращение повреждений клеток организма, что проявляется в мобилизации неспецифических защитных реакций, участвующих в формировании адаптивных реакций растений, способствующих повышению их устойчивости к изменениям условий среды. Таким образом, изучая особенности карполого-экологического аппарата растений антропогенных экотопов Донбасса, можно использовать полученную информацию с индикационно-информативной целью: в фитоэкологическом мониторинге, экологической экспертизе, при контроле деятельности человека, в экологическом нормировании антропотехногенных нагрузок и прочих сферах деятельности человека.

Апробация вида на информативность в ботанико-экологическом мониторинге осуществляется в несколько этапов, среди которых выделяют теоретический (индикационные шкалы по экологическим режимам, картографические данные, данные об экологической пластичности вида, широте экологической амплитуды, использовании в синфитоиндикации и пр.) и практический (тестовый, экспериментальный) блоки. Каждый вид может существовать в пределах определенной амплитуды значений данного фактора среды или их совокупности. В наше время существует возможность, на основе методов фитоиндикации, оценить экологические амплитуды видов по некоторым важнейшим факторам. Оценка экологической амплитуды имеет не только теоретическое значение, но и практическое, так как служит основой для разработки вопросов охраны, разведения, оптимального использования видов.

Цель практической работы – определить информативные индикаторные характеристики состояния *Capsella bursa-pastoris* L., *Taraxacum vulgare* L. для возможного использования в фитоиндикационном мониторинге техногенно трансформированных территорий городской среды на примере г. Донецка.

Пробные площади – мониторинговые точки были заложены вдоль четырех крупных магистралей города Донецка (ул. Артема, ул. Университетская, ул. Щорса, ул. Розы Люксембург). Для данных экспериментов семена и плоды собирали со всех растений в каждой мониторинговой точке. Нами рассмотрен метод исследования в карпологическом аспекте – морфологического исследования плодов.

Общая трансформация четко прослеживается для территорий повышенной техногенной нагрузки, в первую очередь – крупных городских автомобильных магистралей (ул. Артема, ул. Университетская).

Нами проведены первичное карпологическое исследование состояния *C. bursa-pastoris*, *T. vulgare*. На промышленных участках ботанико-экологического мониторинга. Полученные показатели требуют дальнейших сравнительных процедур и использования ГИС- технологий. Что позволит пространственно моделировать систему реакций растительных организмов на состояние среды – сформировать прототип интеллектуальной автоматической мониторинговой программы, хотя бы на локальном уровне. Данные о влиянии поллютантов на формирование плодов и семян позволяют в определенной степени выявить влияние факторов загрязнения на потенциальную и реальную семенную продуктивность, которая указывает на потребности дальнейшего исследования растений в условиях с разным типом загрязнения среды.

УДК 582.26/27: 581.526.32 (289)

СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИЙ ХЛОРОФИЛЛОВ ВОДОРОСЛЕЙ В УСЛОВИЯХ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ИЛЬМЕНИТОВЫХ ПЕСКОВ НА ПОБЕРЕЖЬЕ АЗОВСКОГО МОРЯ

Захаренкова Н.С.
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк
natalya_zaharenkova@mail.ru

Фитопланктон является базовым звеном водных экосистем, определяя их состояние и продуктивность. При действии различных экологических факторов и антропогенных загрязнений в первую очередь изменяются фотосинтетическая активность и численность клеток водорослей [1].

Экспериментально концентрацию фотосинтетических пигментов определяли в пробах, взятых в поселке Урзуф в июле 2013-2014 гг. В 2013 г. на пляже пансионата «Акация» ильменитовые пески были распространены по всему пляжу, а в июле 2014 г. на том же пляже отсутствовали.

Результаты анализа фотосинтетических пигментов водорослей фитопланктона при воздействии ильменитовых песков показали, что концентрация хлорофилла *a* в фитопланктоне по спектрофотометрии составила 70,14±1,18 мкг/дм^3, что в соответствии со шкалой трофической классификации водоемов, составленной на основе исследований рабочей группы ОЭСР [2] было на уровне мезотрофных трофических условий. Это значит, что морская вода с умеренным содержанием органических и биогенных минеральных веществ. Хорошо развит бактериопланктон, разнообразный по видовому составу фитопланктон, зоопланктон и бентос. Вода характеризуется развитыми процессами самоочищения.

Информация о концентрации хлорофилла *a* и ее изменчивости в водном объекте служит критерием при оценке запасов биомассы фитопланктона и его продукции, а также другими пигментами (хлорофилл *b*, хлорофилл c_1+c_2, каротиноиды) характеризуют физиологическое состояние водорослей (рис. 1). Из данных рис. 1 видно, что средняя концентрация хлорофилла *a* была в 1,3 раза ниже, чем концентрация каротиноидов. Известно [2], что при неблагоприятных условиях среды обитания в клетках водорослей возрастает концентрация каротиноидов. Т.е. исследования показали влияние радиационного фона на физиологическое состояние водорослей планктона в литорали моря. В данном случае отмечен факт превышения дополнительного пигмента (каротиноидов) над концентрацией основного пигмента (хлорофилла *a*), что может быть связано с влиянием радиоактивного песка на водоросли, находящиеся в месте непосредственного контакта с ним.

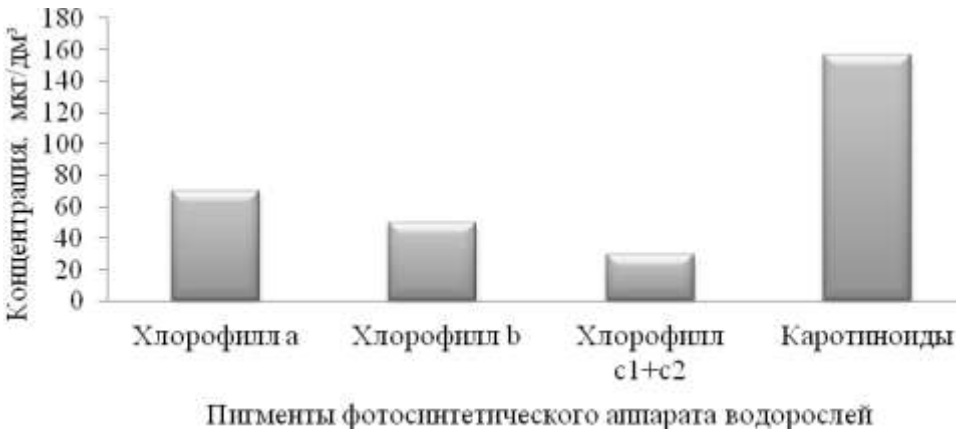


Рис. 1. Концентрации пигментов, фотосинтетическго аппарата одноклеточных водорослей при контакте с ильменитовыми песками

Снижение концентрации хлорофилла *a* свидетельствует о нарушении процесса фотосинтеза, т.к. наблюдается преобладание каротиноидов, как защитной реакции водорослей на неблагоприятные условия среды.

В дальнейшем для подтверждения данного факта было проведено определение фотосинтетических пигментов в фитопланктоне в той же точке отбора проб в такой же период, но при отсутствии на побережье радиоактивных песков.

Результаты анализа фотосинтетических пигментов водорослей фитопланктона без непосредственного воздействия ильменитовых песков показали, что концентрация хлорофилла *a* по спектрофотометрии составила 73,43±4,03 мкг/дм^3, что было на уровне предыдущих исследований. Однако соотношение основных и дополнительных пигментов вкладывалось в нормальное соотношение, характерное для растений. Т.о. концентрация основного пигмента была выше, чем дополнительных (рис. 2).

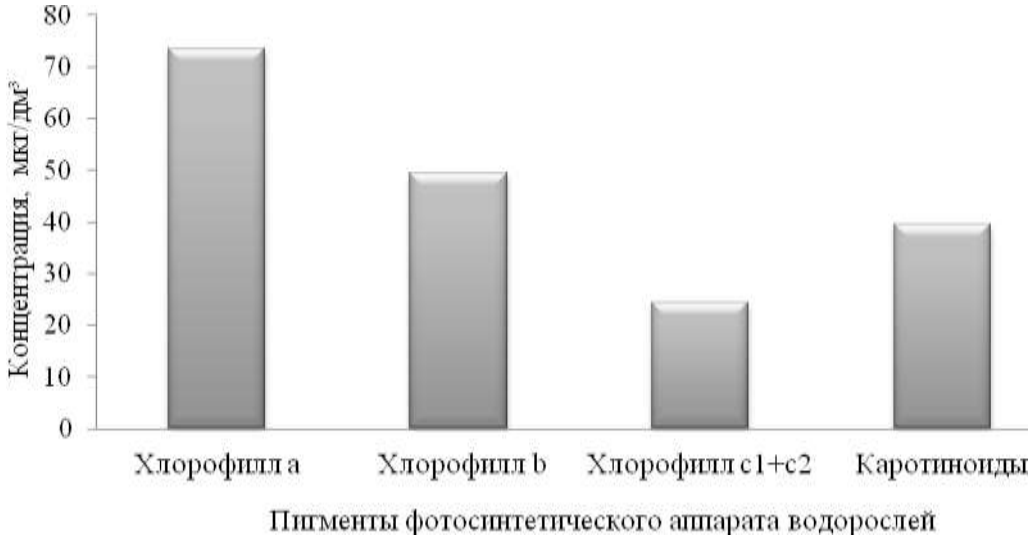


Рис. 2. Концентрации пигментов, содержащиеся в фотосинтетическом аппарате одноклеточных водорослей

Таким образом, в эксперименте было показано, что соотношение концентраций фотосинтетических пигментов водорослей планктона могут быть использованы в качестве индикаторного признака. Кроме того, установлено, что в условиях литорали Таганрогского залива Азовского моря в зонах распространения радиоактивных песков функционируют водоросли, сохраняя продукционные показатели на одинаковом уровне. При этом механизм реагирования на радиацию сводился к изменению соотношения основного и дополнительных пигментов водорослей. Подобный факт в условиях высокой инсоляции, был показан для литорали Азовского моря на сообществах нейстона [3].

1. Киселев И.А. Планктон морей и континентальных водоемов / И.А. Киселев // В 2х т. – Л.: Наука, 1969. – 563 с.
2. Баринова С.С. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды // С.С.Баринова, Л.А. Медведева, О.В. Анисимова / Телль-Авив: Pilies Studio, 2006. – 498 с.
3. Лялюк Н.М. Фітонейстон літоралі Азовського моря та перспективи його використання в біомоніторингу: дис. канд. біол. наук: 03.00.17 / Н.М.Лялюк. – К.,2001. – 246 с.

УДК 581.15:581.4:502

ИНДИКАЦИЯ СОСТОЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЭКОТОПОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ *RESEDA LUTEA* L.

Золотой А.Л., Сафонов А.И.

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк

andrey_safonov@mail.ru

Reseda lutea L. характеризуется широкой экологической амплитудой и определенной морфопластичностью, что можно рассматривать в качестве параметров индикации в антропогенно трансформированной среде. Актуальность работы еще определяется отсутствием комплексного исследования структурных особенностей данного вида в различных экотопах – районы жилой застройки, пустыри, свалки бытового мусора, промышленные площадки предприятий, автодороги, агрофитоценозы.

Цель работы – определить индикаторные структурные характеристики *Reseda lutea* L. в различных экотопах Донецкой области.

В ходе исследований нами были отмечены тератные изменения не только цветков, но и соцветий. Структурный анализ строения соцветий был основан на характеристике составляющих единиц, таких как узел и междоузлия. Соцветия, собранные из контрольной зоны имеют цветки расположенные равномерно по оси, а не пучками, что не отмечено для соцветий, собранных в экотопах промышленных площадок и экотопах путей сообщения. В двух последних случаях укорочение междоузлия соцветий не сопровождается укорочением всей оси соцветия. При этом интенсифицируется продолжительность цветения и сроки плодоношения.

Определение показателя СДП (степени дефектности пыльцевых зерен) нами было установлено, что для контрольных участков этот показатель не превышал 3,4% от общего количества пыльцы, в условиях экотопов промышленных площадок варьировал от 15 до 34%, отвалов угольных шахт Калининского района г. Донецка – 23-36%, а для путей сообщений (вдоль автотрасс г. Донецка) – 12-26%, что указывает на типичную трансформацию в мужской генеративной сфере при увеличении степени антропогенной нагрузки в урбанистической среде и в промышленных зонах. Такой показатель удобен для интерпретации комплексной характеристики токсического уровня в среде, показатели которого часто сопряжены со степенью трансформации экотопа.

Нами установлено, что у фертильных пыльцевых зерен зернистая цитоплазма, которая при обработке ацетокармином или метиленовым синим окрашивается в карминово-красный и синий цвет соответственно. При окрашивании метиленовым синим, 91 % пыльцы, взятой из растений, произрастающих в экотопах малонарушенных территорий, является фертильной, то есть более жизнеспособна, чем в экотопах повышенной антропогенной нагрузки (до 43-55%). Стерильная пыльца, собранная в условиях г. Донецка из экотопов промышленных предприятий (ДМЗ) составляет 43%, не окрашивается или окрашивается неравномерно, содержимое их отходит (отслаивается) от оболочек пыльцевого зерна, что подтверждает тенденции усиленной трансформации структурных единиц при увеличении антропогенной нагрузки на экотопы как путей сообщения, так и промышленных площадок. Процентное соотношение фертильных пыльцевых зерен, собранных из экотопов селитебных территорий и экотопов дорог не превышает 91%. При окрашивании пыльцы ацетокармином значение процентного показателя жизнеспособности пыльцы совпадают, что указывает на возможность использования для *Reseda lutea* любого из указанных красителей в фитоиндикационном эксперименте. По полученным данным можно предположить, что существует связь между наличием токсической нагрузки, в данном случае ДМЗ и степенью жизнеспособности пыльцы.

Фитоиндикационная значимость *Reseda lutea* в условиях разных техногенных нагрузок может быть представлена нами в следующем перечне информативных характеристик, которые при комплексном исследовании были достоверно различны в системе "опыт – контроль" в градиенте токсической нагрузки: индекс генеративной активности (интенсификация репродуктивного усилия тест-вида); уменьшение коэффициента созревания и жизнеспособности семян; повышение уровня гетерофилии первого присоцветного листа, утончение слоя хлорофиллоносной паренхимы и увеличение склеренхимной обкладки в листовых пластинках розеточной формации; гиперфункция пыльников и недоразвитие пестичной части цветка; частота тератологических преобразований в чашечке; трансформация архитектоники соцветий; увеличение степени дефектности и стерильности

пыльцевых зерен; матрикальная и ценотическая гетерокарпия; гетероэмбриональные поверхностные цветовые различия; детальные перестройки в эндосперме и нуцеллярной части (2-слойная теста, 5-6-слойный тегмен, деградация слоя эндосперма); асимметричность семядольного аппарата, матрикальная гетероспермия.

Указанные характеристики и тенденции их изменений могут рассматриваться как блоковая база данных по фитоиндикационной структурной значимости *Reseda lutea* в различных экотопах Донбасса.

УДК 574.:5811-119

ОЦЕНКА ТРОФНОСТИ ВОДОЕМОВ ПО СРЕДНЕЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ХЛОРОФИЛЛА *А* В ФИТОПЛАНКТОНЕ ПРУДОВ Г.ДОНЕЦКА

Мирненко Э.И.
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк
eduard_mirnenko@list.ru

Трофность водоема – это характеристика местообитания гидробионтов, по их биологической продуктивности, обусловленной содержанием биогенных элементов. Поскольку в функционировании водных объектов ведущая роль принадлежит макро – и микроводорослям, за счет фотосинтеза которых в водоемах создается фонд органического вещества, то они увеличивая биологическую продуктивность, составляют энергетическую основу для всех последующих этапов продукционного процесса в водоеме. К одним из наиболее распространенных показателей, используемых при изучении водорослевых сообществ, относятся фотосинтетические пигменты.

В основе количественной оценки фотосинтетических пигментов лежит 2 метода, метод прямого спектрофотометрического определения концентрации хлорофилла и флуориметрическое определение концентрации фотоситетичеческих пигментов.

Изменение в первоначальных стадиях фотосинтеза отражается на флуоресценции хлорофилла, а именно на фотосинтетических мембранах. Поглощение кванта света переводит молекулу хлорофилла в возбужденное состояние, энергия которого в растворе при отсутствии фотосинтеза переходит в тепло, или флуоресценцию.

Метод спектрофотометрии основан на физико-химическом исследования растворов, при этом, происходит изучение спектров поглощения хлорофилла в ультрафиолетовой (200–400 нм), видимой (400–760 нм) и инфракрасной (>760 нм) областях спектра.

Спектрофотометрический анализ показал, отличие трофического уровня водоема по сравнению с флуориметрией. Первый городской пруд по спектрофотометрическому анализу являлся эвтрофным, а это значит,

что при большей минерализации и повышенном содержании биогенных веществ происходит интенсивное развитие фитопланктона, отмечается низкая прозрачность. В верхних слоях таких водоемов часто возникает избыток кислорода, а у дна – значительный недостаток. Пруд Донецкого ботанического сада №3 представлен на уровне мезотрофных трофических условий. Остальные пруды отмечены как ультраолиготрофные они характеризуются низким поступлением питательных веществ и первичной продуктивностью, а также высокой прозрачностью и разнообразной биотой.

Сравнение результатов выделения трофности по двум методам определения количества фотосинтетических пигментов показало, что при использовании для анализа трофности данных флуориметрии большинство исследуемых прудов были ультраолиготрофные, лишь пруд Донецкого ботанического сада №3 отмечен как мезотрофный. При использовании данных спектрофотометрии трофический уровень оказался на 1 – 2 порядка выше, т.е. четыре пруда были олиготрофными, один – мезотрофным, один – эвтрофный, и только 2 пруда ультраолиготрофные. Сравнительная оценка трофности для прудов г. Донецка показана в таблице.

Таблица

Оценка трофности водоемов по средней концентрации хлорофилла *a* в фитопланктоне

Водоем	Концентрация хлорофилла *a*, мкг/дм^3 (по данным флуориметрии)	Трофность	Концентрация хлорофилла *a*, мкг/дм^3 (по данным спектро-фотометрии)	Трофность
	M±m*, мкг/дм^3		M±m*, мкг/дм^3	
Городской пруд №1	3,87 ±0,38	ультраолиго-трофный	25,01±20,09	мезотрофный
Городской пруд №2	2,64±0,71	ультраолиго-трофный	23,43±11,85	олиготрофный
Ветковский пруд №1	6,64±5,21	ультраолиго-трофный	21,48±7,59	олиготрофный
Ветковский пруд №2	2,74±1,19	ультраолиго-трофный	10,06±85,01	олиготрофный
Пруд Донецкого ботанического сада №3	38,05±26,63	Мезотрофный	94,67±85,01	эвтрофный
Пруд Донецкого ботанического сада №4	5,09±2,74	ультраолиго-трофный	9,48±4,81	ультраолиго-трофный
Пруд Донецкого ботанического сада №5	3,36±1,94	ультраолиго-трофный	6,52±4,12	ультраолиго-трофный
Пруд Донецкого ботанического сада №6	6,65±1,94	ультраолиго-трофный	12,43±3,63	олиготрофный

Таким образом, можно сказать, что при использовании метода флуориметрии, для определения уровня трофности водоемов, происходит занижение данных по сравнению со спектрофотометрией.

1. Баринова С.С. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды // С.С.Баринова, Л.А. Медведева, О.В. Анисимова. – Телль-Авив: Pilies Studio, 2006. – 498 с.

УДК 581.5 : 574.4

ПОГЛОТИТЕЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ МАКРОФИТОВ В ОТНОШЕНИИ ГРУПП ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

Петракова Е.А., Анищенко Л.Н.
Брянский государственный университет им. акад. И.Г. Петровского
lenuri@bk.ru

На территории Брянской области в настоящее время 81 предприятие, учтенное реестром Департамента природных ресурсов и экологии Брянской области осуществляет сброс в водные объекты хозяйственно-бытовых и промышленных стоков, предварительно прошедших очистные установки различных способов очистки (механическая, биологическая), из них только 7 оборудованные наблюдательными скважинами. Остается неблагополучным состояние рек, особенно в зонах промышленных центров, из-за поступления с поверхностными стоками и сточными водами больших количеств загрязняющих веществ, в том числе, тяжелыми металлами.

Нами предложен проект фиторемедиации. Преимуществами этого метода являются относительно низкая себестоимость проводимых работ по сравнению с традиционными очистными сооружениями (анализ стоимости очистки вод с применением фиторемедиационных мероприятий примерно на 25 % ниже стоимости аналогичных химических приемов), безопасность для окружающей среды; возможность мониторинга процесса очистки. В предыдущих статьях была доказана поглотительная способность ТМ водными макрофитами, среди которых наиболее сильными сорбентами показаны погруженные гидрофиты: элодея канадская и роголистник погруженный. Впервые проведены исследования по оценке сорбционной способности макрофитов в отношении к нескольким катионам тяжелых металлов, одновременно присутствующим в модельных растворах.

Объектами исследования послужили следующие виды макрофитов: Utricularia vulgaris, Lemna trisulca, Lemna minor, Elodea canadensis, Ceratophyllum demersum. Выбор растений обусловлен высокой распространенностью данных видов в водоемах и водотоках Брянской области, длительной жизнеспособностью и способностью к вегетационному размножению. Растения выращивались в лабораторных условиях при искусственном освещении (11-часовом световом дне) и температурой воды

от +22 до +25 °С. Для выращивания растений использовалась водопроводная отстоянная в течение 7 суток вода. Навеска макрофитов (1,5 ± 0,3 г.) помещалась в модельные растворы. Для приготовления растворов подбирались соли катионов меди и цинка, цинка и никеля, меди и никеля таким образом, чтобы избежать необратимых ионных процессов (осаждения, газовыделения, необратимого гидролиза). Начальная концентрация ТМ в растворе равнялась приблизительно 2 мг/л, что несколько выше ПДК для меди, цинка и никеля в отношении водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения.

Остаточная концентрация после экспозиции макрофитов фиксировалась методом атомно-адсорбционной спектрометрии на 3, 6, 12, 15 сутки.

Результаты исследования остаточной концентрации никеля и цинка в модельных растворах приведены в таблице 1.

Таблица 1

Изменение концентрации ионов тяжелых металлов Ni : Zn в присутствии макрофитов

Макрофиты	Металлы	Концентрация (мг/л)				
		3 сутки	6 сутки	12 сутки	15 сутки	Контроль
Utricularia vulgaris	Ni	0,069	0,095	0,087	0,080	1,96
	Zn	0,078	0,059	0,054	0,008	2,15
Lemna trisulca	Ni	0,060	0,052	0,040	0,045	
	Zn	0,063	0,038	0,038	0,037	
Lemna minor	Ni	0,088	0,070	0,070	0,094	
	Zn	0,067	0,037	0,050	0,062	
Elodea canadensis	Ni	0,072	0,070	0,059	0,051	
	Zn	0	0	0	0	
Ceratophyllum demersum	Ni	0,093	0,084	0,044	0,083	
	Zn	0, 021	0	0	0	

Во всех опытных растворах наблюдалось снижение концентрации металлов, причем все виды, не зависимо от экологической группы преимущественно поглощали катионы цинка. Более того, в опыте с погруженными макрофитами – элодеей и роголистником – остаточная концентрация катионов цинка не фиксировалась атомно-адсорбционным спектрометром с 3 по 15 сутки. Также не наблюдалась обратной сорбции в раствор катионов цинка в эксперименте с этими растениями. В опыте с плавающими макрофитами, а также с пузырчаткой наблюдалось постепенное снижение концентрации тяжелых металлов с минимумом на 6 сутки, затем незначительное увеличение концентрации цинка и никеля на 12 и последующие сутки. Это говорит о меньшей поглотительной способности плавающих гидрофитов. В случае с видами рясок наблюдалось выделение катионов цинка и никеля обратно в раствор на 15 сутки, при этом все растения не теряли жизнеспособности через 2 недели эксперимента.

Поглотительная способность растений проанализирована по отношению к паре поллютантов медь-цинк. Все растения показали высокую поглотительную способность, на 15 сутки эксперимента концентрация меди

не превысила 0,2 мг/л – это в 10 раз ниже заложенной концентрации в 2 мг/л. Самая низкая остаточная концентрация ионов меди наблюдается в опыте с роголистником и элодеей. В случае с роголистником явление обратной сорбции ионов в раствор не наблюдалось (остальные макрофиты высвобождали медь обратно в раствор на 12-15 сутки после экспозиции). Показатели остаточной концентрации цинка в тех же растворах приведены в табл. 2.

Таблица 2

Изменение концентрации ионов цинка в присутствии ионов меди при экспозиции макрофитов

Взятие пробы	Концентрация ионов цинка (мг/л)				
	Utricularia vulgaris	Lemna trisulca	Lemna minor	Elodea canadensis	Ceratophyllum demersum
3 сутки	0,058	0	0,058	0,04	0,08
6 сутки	0,015	0	0	0,04	0,06
12 сутки	0,023	0	0	0	0
15 сутки	0,032	0	0	0	0

Из табл. 2 становится очевидным, что растения избирательно поглощают из растворов катион цинка. Спектрометром не зафиксирована остаточная концентрация цинка на 12–15 сутки во всех растворах с макрофитами, кроме пузырчатки. Более того, хорошую поглотительную способность показали не только погруженные, но и плавающие макрофиты, например, ряска трехдольная – гидрофит с самой низкой сорбционной способностью для ионов меди в том же растворе.

Таким образом, не смотря на присутствие в растворах ионов двух тяжелых металлов, фоновые виды макрофитов – ряска малая, ряска трехдольная, элодея канадская и роголистник погруженный – показывают высокую поглотительную способность к ТМ.

В парах Ni – Zn, Cu – Zn растениями поглощается преимущественно цинк, что объясняется, по всей видимости, биогенностью данного металла.

На 12–15 сутки экспозиции практически во всех опытных растворах наблюдается обратное выделение макрофитами ионов ТМ в раствор, что необходимо учитывать в технологии проведения фиторемедиационных работ.

1. Анищенко Л.Н. Флора и растительность настоящих водных макрофитов водоемов и водотоков Юго-Западного Нечерноземья России // Л.Н.Анищенко, Т.Н.Буховец. – Брянск: Изд-во «Курсив», 2009. – 202 с.
2. Линник П.Н. Формы миграции металлов в пресных поверхностных водах // П.Н.Линник, Б.И.Набиванец. – Л.: Гидрометеоиздат, 1986. – 270 с.
3. Марченко З., Бальцежак М. Методы спектрофотометрии в УФ и видимой областях в неорганическом анализе // З.Марченко, М.Бальцежак. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2007. – 712 с.

УДК 504.06:577.4:579.26:504.06

ТЕХНОЛОГИЯ БИОИНДИКАЦИИ В ДОНЕЦКОМ ЭКОНОМИЧЕСКОМ РЕГИОНЕ

Сафонов А.И.
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк
andrey_safonov@mail.ru

Констатируемая кризисная экологическая ситуация в индустриальных районах обусловливает острую необходимость разработки способов тестирования, диагностики, оценки, прогноза состояния и восстановления экосистем.

Комплексная технология ученых биологического факультете ДонНУ базируется на определении интегрального показателя и частных индексов оценки состояния среды. К показателям биоиндикационной значимости отнесены: индексы трансформации эмбриональных структур и вегетативных органов дикорастущих покрытосеменных растений, содержание продуктов перекисного окисления липидов в плодовых телах макромицетов, уровни каталазной активности, индекс сапробности воды, выживание лабораторных насекомых на специальных субстратах, а также проводится оценка влияния экологических условий на человека по психофизиологическому состоянию организма.

Предлагаемая технология предусматривает проведение мероприятий комплексного экологического биомониторинга состояния среды, получение объективной информации о степени нарушенности экотопов и токсической нагрузки на природные системы, возможность ранней диагностики изменений в среде и коррекции нежелательных экологических эффектов на локальном и национальном уровнях.

Использованный в этой технологии метод фитоиндикации основан на анализе частоты встречаемости отклонений от нормы в эмбриональных структурах и конформационных образованиях вегетативных органов *Cichorium intybus* L., *Plantago major* L., *Tripleurospermum perforatum* (Merat) M.Laipz, *Tanacetum vulgare* L., *Taraxacum officinale* Webb. ex Wigg., *Tragopogon major* Jacq., *Achillea collina* Becker ex Reichenb., *Berteroa incana* (L.) DC., *Echium vulgare* L., *Reseda lutea* L., *Dactylis glomerata* L., *Bromus arvensis* L. и *Bromopsis inermis* (Leys.) Holub. С большой степенью достоверности по шкалам структурной пластичности можно проводить эколого-токсикологический контроль в контрастных геохимических условиях, которые естественно и антропогенно сформированы в Донецком экономическом регионе. Используемые показатели структурной разнокачественности тесно коррелируют с результатами химического анализа. Метод можно реализовывать в полевых условиях для экспресс-диагностики и осуществления программы автоматизированной системы комплексного и дифференциального мониторинга в промышленных и урбанизированных регионах по биоиндикационным изменениям. Суммарный

показатель (при использовании основных признаков) реакций растений равен интегральному их изменению.

По результатам апробации предложена 5-балльная шкала оценки экологических условий (благоприятные, нормальные, субнормальные, неблагоприятные и крайне неблагоприятные).

На современном этапе составлена база данных по ризо-, каули-, фолио-, палино-, анто-, эмбрио- и(или) карпологическим признакам с целью характеристики структурной организации или степени трансформации (атипичного проявления) для фитоиндикаторов. Применения алгоритмизованной модели в значительной степени позволит облегчить и ускорить фитоиндикационные исследования локального и повсеместного использования с разными поисковыми, диагностическими или эколого-токсикологическими экспертными целями.

Успешность фитоиндикационного внедрения зависит от возможности дискретного структурного анализа, градиентности действия фактора или формирования условий среды. Полученные данные указывают на острую необходимость анализа не только структурных разнокачественностей видов-индикаторов факторов стресса, но и углубленного комплексного анализа репродуктивных характеристик локальных популяций видов растений техногенных экотопов, что в совокупности с четко определенными онтогенетическими и эколого-ценотическими стратегиями видов позволит определить тенденции реакционной антропотолерантности фитоиндикаторов в промышленно трансформированной среде.

На современном этапе мирового научного развития с возможностью использования новейших разработок, ГИС, Internet-технологий и др. ни один из элементов искусственного оборудования не может сравниться с информационными возможностями живого компонента среды. На протяжении всего научного прогресса человечество старается открывать секреты природы, устанавливать принципы системы жизнеобеспечения, которые максимально близко повторяют природные процессы, поэтому биотехнологии в системе природопользования являются определяющими на любом этапе развития человечества.

УДК 581.522+581.84

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРАТЕГИЙ АДАПТИВНОЙ ПЛАСТИЧНОСТИ РАСТЕНИЙ В БОТАНИЧЕСКИХ САДАХ

Стрельников И.И.
ГУ «Донецкий ботанический сад», ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»
ivanstrel87@gmail.com

Фенотипическая пластичность – это способность организма изменять свою физиологию, морфологию или направление развития в ответ на

изменение окружающей среды. Способность к формированию вариабельного фенотипа является важным механизмом, благодаря которому растение может подстраиваться под гетерогенность среды. В связи с этим адаптивная изменчивость играет главенствующую роль, как в экологическом распространении организма, так и в его эволюционной специализации. В последние десятилетия проблематика фенотипической изменчивости заняла одну из центральных позиций в экологии растений. Изучения значимой пластичности планируются с целью тестирования генотипов в диапазоне естественно встречающейся вариации факторов. Целью таких исследований является выделение качеств растительного организма значимых для функционирования в данной градации условий, а, следовательно, значимых для устойчивости организма.

Среди актуальных задач в рамках концепции фенотипической изменчивости выделяется необходимость разработки системы взглядов, в рамках которой будет возможным провести классификацию разных типов пластических ответов. Подчеркивается важность определения пределов потенциального адаптивного эффекта от вариабельности фенотипа. Интерес вызывают исследования на базе ботанических садов, в условиях которых, возможно исследовать экологическую пластичность растений разного географического происхождения в рамках одинакового комплекса факторов. Таким образом, появляется возможность рассмотреть систему из трех компонентов и их взаимосвязей: климат природных ареалов, проявляемая пластичность фенотипических признаков и приспособленность к условиям выращивания в закрытом грунте. В основу таких исследований ложатся следующие предположения: условия естественного ареала отображают присущий растению комплекс адаптивных реакций. Проявление этого комплекса пластичности предопределяет приспособленность организмов в искусственных условиях. Одинаковые условия содержания в оранжерейных комплексах обеспечивают общий базис при статистическом выявлении зависимостей между показателями изменчивости и условиями природного распространения видов.

С использованием обозначенной логической схемы в Донецком ботаническом саду были обнаружены ассоциации признаков изменчивости формы листовых пластинок, характера жилкования и особенностей анатомического строения листовых пластинок с показателями количества осадков и вариации годовых температур в пределах природных ареалов видов.

УДК 632.15:504

НЕГАТИВНОЕ ВЛИЯНИЕ ИОНОВ КОБАЛЬТА И МАРГАНЦА НА ПЛОЩАДЬ ЛИСТОВОЙ ПЛАСТИНЫ ПРОРОСТКОВ ЦВЕТКОВЫХ ДЕКОРАТИВНЫХ РАСТЕНИЙ

Хромых О.В., Постникова Г.В.
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк
hromyh82@mail.ru

В условиях возрастающего воздействия антропогенеза охрана окружающей среды стала одной из крупнейших социальных и экономических проблем. В настоящее время в биосферу поступает свыше 500 тыс. разновидностей химических веществ – продуктов техногенеза, большая часть которых накапливается в почве. Среди загрязнителей значительное место занимают тяжелые металлы, источниками которых служат промышленные и топливно-энергетические предприятия, автомобильный и железнодорожный транспорт, минеральные удобрения, пестициды. Наибольший вклад в загрязнение почв тяжелыми металлами вносят промышленные и транспортные выбросы в атмосферу.

Металлический пресс на биосферу, обусловленный хозяйственной деятельностью, приводит к возникновению техногенных геохимических аномалий, размеры которых непрерывно увеличиваются.

Увеличение концентрации тяжелых металлов в почве приводит к увеличению их содержания в тканях растений, что влечет за собой накоплениеионов тяжелых металлов в повышенных концентрациях в тканях разных органов растения, и в ответ на это в организме растения происходят разные физиологические изменения, которые иногда носят защитный или адаптивный характер.

Поэтому целью нашей работы было изучение влияния тяжелых металлов на цветковые декоративные растения, изучение механизмов адаптации растений к загрязнению почвы соединениями марганца и кобальта.

В качестве объектов исследований при проведении эксперимента были использованы проростки Фацелии пижмолистной *(Phaceliatanacetifolia)*.

Исследование по влиянию загрязнения почва ионами кобальта и марганца на цветочно-декоративные растения проводились по схеме полного двухфакторного трехуровневого эксперимента. В качестве загрязнителей использовались сульфат кобальта и сульфат марганца по стехиометрическому отношению. Семена растений проращивались согласно их биологическим особенностям. Выращивания велось на протяжении тридцати дней, продолжительности светового дня 14 часов, температуре 20–22°С и влажности почва около 70% полной влажности. В каждый сосуд вносилось по 350 г почвы, просеянной через почвенное сито с диаметром отверстий 3 мм, в который предварительно вносились сульфат кобальта и марганца согласно плану эксперимента.

Площадь листовой поверхности определяли по методике, которая основана на применении компьютерных технологий с использованием сканирующих устройств и программ для работы с растровыми изображениями (*AdobePhotoshop, CorelPhotopaint*).

Проведенные исследования влияния загрязнения почвы соединениями кобальта и марганца на площадь листовой поверхности цветковых декоративных растений свидетельствуют о том, что *Phaceliatanacetifolia* проявляет устойчивость к загрязнениям почвы кобальтом и марганцем, но при высоких концентрациях этих тяжелых металлов (Mn^{2+}– 3 г/кг, Co^{2+} – 10 мг/кг) наблюдается отрицательное воздействие на проростки изученного вида растений (таблица).

При внесении в почву небольших концентраций кобальта и марганца (Mn^{2+}– 1,5 г/кг, Co^{2+} – 5 мг/кг), наблюдалось улучшение роста проростков *Phaceliatanacetifolia*, но при увеличении концентрации – ростовые процессы угнетались. Так, в варианте 5 площадь листовой пластины проростков *Phaceliatanacetifolia*уменьшалась на 16%, а в варианте 6 – на 14%. Загрязнение почвы соединениями марганца также оказывали угнетающее влияние на площадь листовой пластины проростков *Phaceliatanacetifolia.* Причем малые концентрации активизировали ростовые процессы, а при больших наблюдалось уменьшение площади листовой пластины на 23–46 % по сравнению с контрольными растениями.

Таблица

Влияние разных концентраций кобальта и марганца на площадь листовой поверхности цветочно-декоративных растений *Phaceliatanacetifolia*

№ п/п	Площадь листовой пластины, $см^2$			
	M ± m	D	t^d	вероятность
1	1,282 ± 0,201			
2	1,355 ± 0,109	0,073	26,772	Нет
3	1,303 ± 0,096	0,021	26,772	Нет
4	1,332 ± 0,882	0,050	26,772	Нет
5	1,084 ± 0,078	-0,199	26,772	Нет
6	1,105 ± 1,071	1,041	26,772	Нет
7	0,758 ± 0,029	-0,525	26,772	Нет
8	0,568 ± 0,023	-0,715	26,772	Нет
9	0,496 ± 0,031	-0,786	26,772	Нет

Комплексное внесение кобальта и марганца негативно сказывалось на площади листовой пластины проростков.

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Загрязнение почвы ионами кобальта и марганца при низких концентрациях не оказывают негативного влияния на площадь листовой пластины проростков *Phaceliatanacetifolia*.

2. Комплексное внесение кобальта и марганца негативно влияет на площадь листовой пластины проростков *Phaceliatanacetifolia*

3. При увеличении концентрации полютантов их негативное влияние усиливается.

1. Агротехногенное загрязнение почвенного покрова тяжелыми металлами: источники, масштабы, рекультивация / Большаков В.А. и др. – М., 1993. – 91 с.
2. Байдина Н.А. Загрязнение городских почв и огородных культур тяжелыми металлами: Этоксикология // Агрохимия. – 1995. –- № 12. –С. 4-6.
3. Белоліпський В.О. Екологічна оцінка грунтовоохороннихагроландшафтів // Вісник аграрної науки. – 2006. – № 2. – С. 11-13.
4. Гуральчук Ж.З. Фітотоксичність важких металів та стійкість рослин до їх дії.– К.: Логос, 2006. – 208 с.
5. Давыдова С.Л.Тяжелые металлы как супертоксиканты XXI века. – М.: Изд-во РУДН, 2002. – 140 с.
6. Другов Ю.С., Родин А.А. Анализ загрязнений почвы и опасных отходов: Практическое руководство.- М.: БИНОМ, 2007.- 424 с.
7. Загрязнение тяжелыми металлами Донецкой области, их судьба в почве, растениях, животных, механизмы действия в биологических объектах / Тимофеев М.М. и др. – Донецк, 1996. – 72 с.
8. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва-растение. – Новосибирск: Наука, 1991. – 151 с.
9. Марфенина О.Е. Микробиологические аспекты охраны почв. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1991. – 118 с.
10. Мігас Р.В. проблеми забруднення довкілля та шляхи їх подолання // Екологічний вісник. – 2008. – № 1. – С. 12-14.
11. Определениеплощадилистовойповерхности с помощьюкомпьютернойтехники / Наумова Н.А, Наумов С.Ю., Соколов И.Д. // http://ido.tsu.ru/forums/conf/download.php?id=234&sid=46b1323eaeff4741dcd41765dc6a24a4
12. Пасічна О.О. Вплив міді та марганцю на фотосинтез, дихання та пігментну систему гідрофітів // Проблеми сучасної екології: Тези міжнарод. конф. (Запоріжжя, 20-22 вересня 2000 р.). – Запоріжжя, 2000. – С. 32-33.
13. Петко В. «Тиха катастрофа» в Україні: де вихід? // Пропозиція. – 2005. –№ 6. – С. 9-10.
14. Приседський Ю.Г. Пакет програм для проведення статистичної обробки результатів біологічних експериментів. Навчальний посібник.– Донецьк: ДонНУ, 2005. – 75 с.
15. Приседський Ю.Г., Бойко М.І. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт із спецкурсу «Фотосинтез» (для студентів спеціальності «Фізіологія рослин»). – Донецьк: ДонНУ, 2001. – 45 с.

УДК 582.284+57.083.132: 579.24

ОПТИМИЗАЦИЯ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ГРИБОВ-ОБЪЕКТОВ БИОТЕХНОЛОГИИ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

Чайка А.В.
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк
alexander.v.chaika@gmail.com

Высокий уровень техногенной нагрузки на природу приводит к снижению продуктивности экосистем, плодородия почв, что усугубляет продовольственную проблему. Во многих странах мира население испытывает дефицит полноценного питания. В этой связи можно отметить чрезвычайную перспективность искусственного культивирования грибов.

Известно, что грибы являются ценным продуктом питания: они содержат все аминокислоты, в том числе и незаменимые, различные органические кислоты, углеводы, липиды, многие витамины, пигменты, микроэлементы, ряд физиологически активных веществ [2].

В настоящее время грибы стали рассматриваться и как перспективные продуценты биологически активных веществ (БАВ), которые могут применяться в качестве средств медико-биологического воздействия с целью повышения сопротивляемости организма, снижения заболеваемости, улучшения показателей работоспособности. В этой области грибы оказались настолько востребованными, что появилось новое направление медицины – фармакологическая микология [1, 2]. Исследования показали, что по содержанию важнейших БАВ глубинный мицелий не уступает плодовым телам, а по накоплению белков, липидов, полисахаридов, каротиноидов и т.д. превышает их [1].

Ксилотрофные грибы, способные утилизировать древесину, имеют хорошо развитый ферментативный комплекс и могут быть источником получения разнообразных ферментов с широким спектром практического применения [3].

Обширные возможности использования ксилотрофных грибов в биотехнологических процессах побуждают исследователей к изучению особенностей их метаболизма.

Исходя из вышеизложенного, цель работы – оптимизация культивирования перспективных грибов-объектов биотехнологии в лабораторных условиях.

Процесс оптимизации условий культивирования штаммов ксилотрофных базидиомицетов в лабораторных условиях состоял из серии экспериментов, в которых решались задачи подбора питательной среды, способа культивирования, получения гомогенного инокулюма и установления его дозировки на определенный объем среды.

В качестве критерия пригодности питательной среды для культивирования штаммов ксилотрофов использовали показатель накопления абсолютно сухой биомассы мицелия (АСБ), который определяли весовым методом [1].

На первом этапе исследований проводили сравнение роста двух штаммов базидиомицетов – *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P. Kumm – P-107 и *Flammulina velutipes* (Curtis) Singer – F-03 на глюкозо-пептонной (ГПС) и стандартной синтетической [1] (СС) средах. Накопление АСБ определяли на 6-е, 9-е, 12-е и 15-е сутки культивирования. На ГПС наблюдалось стремительное накопление биомассы в течение всего периода культивирования, а на СС скорость роста обоих штаммов была значительно ниже. На 15-е сутки количество АСБ штамма *P. ostreatus* P-107 на СС было в 5 раз меньше, чем на ГПС, а штамма *F. velutipes* F-03 – в 3,7 раза. Поэтому при дальнейшей оптимизации условий культивирования ксилотрофов использовали ГПС.

На втором этапе работы изучали рост штаммов на ГПС в статических и динамических условиях на лабораторной качалке АВУ-6С с возвратно-поступательным движением. Накопление АСБ определяли на 6-е, 9-е и 12-е сутки культивирования. Было установлено, что динамические условия предпочтительнее для роста этих ксилотрофов. Так, на 6-е сутки показатель АСБ штамма *P. ostreatus* P-107 в динамических условиях был выше в 4,2 раза выше, чем в статических, а штамма *F. velutipes* F-03 – в 3,2 раза. На 12-е сутки различия в приросте АСБ сократились и составляли 1,5 раза для штамма *P. ostreatus* P-107 и 1,6 раза для штамма *F. velutipes* F-03. В связи с этим, культивирование в динамических условиях было выбрано, как более интенсивное.

Дальнейшая работа заключалась в оптимизации режимных параметров глубинного культивирования в динамических условиях. Объектами этого исследования были 9 штаммов: *P. ostreatus* – D-140, Hk-35, *F. Velutipes* – F-03, F-06, F-1, F-2, *Agrocybe cylindracea* (DC.) Maire – 960, *Lentinula edodes* (Berk.) Pegler – Le-340 и *Pleurotus eryngii* (DC.) Quél. – P-er.

Важной задачей, обеспечивающей быстрый рост глубинной культуры, является получение чистого гомогенного инокулюма, имеющего значительное количество точек роста, находящихся в активной фазе роста. Были опробованы различные способы получения инокулюма, в частности на агаризованных средах (сусло-агар, картофельно-глюкозный агар), при поверхностном и глубинном культивировании на ГПС в колбах и пробирках без гомогенизации и с последующей гомогенизацией путем асептического растирания мицелия. В результате был выбран способ получения инокулюма в колбах емкостью 250 мл с 50 мл ГПС, со специальными шиповидными отбойниками на стенках. Колбы засевали кусочком мицелия 5×5 мм из пробирки с рабочими культурами и выращивали инокулюм при оптимальной температуре в динамических условиях в течение 7-ми суток. Перед пересевом определяли биомассу и проводили контроль чистоты инокулюма. Для этого пробу культуральной жидкости асептически извлекали из колбы, готовили микропрепарат и исследовали при увеличении 16 × 100 с помощью светового микроскопа XS-5520 MICROmed. Констатировали характерные признаки базидиомицетов [2], отсутствие посторонней микрофлоры.

С целью установления влияния дозировки инокулюма и объема питательной среды на эффективность основной стадии культивирования использовали 20, 30, 40 ... 100 мл ГПС на колбу и вносили инокулюм в количестве 1; 3, 5, 7,5; 10, 12,5 и 15 % по объему. Полученные результаты показали общую тенденцию увеличения показателя прироста биомассы штаммов с увеличением содержания ГПС в колбе. Это, скорее всего, связано с содержанием лимитирующих компонентов в среде, то есть с увеличением объема среды в колбе увеличивается и содержание некоторых компонентов, необходимых для роста мицелия. Причем, при использовании объемов среды, превышающих 50 мл, наблюдается постепенное ослабление этой зависимости.

При изучении зависимости прироста биомассы штаммов от количества посевного материала наблюдалась тенденция, подобная таковой в предыдущем эксперименте – с увеличением количества инокулюма росла и скорость накопления биомассы культурами. Это объясняется тем, что при внесении большего объема посевного материала увеличивается количество точек роста культуры и, соответственно, скорость ее роста. Как оптимальная, для культивирования ксилотрофных грибов в лабораторных условиях в течение 6-ти суток, была принята дозировка 10 % инокулюма на 50 мл среды в колбе. Экспериментально установлено, что на основной стадии культивирования наиболее оптимальным является режим работы лабораторной качалки, аналогичный стадии получения инокулюма.

Таким образом, проведена оптимизация культивирования перспективных грибов-объектов биотехнологии в лабораторных условиях, что позволило значительно интенсифицировать культивирование, более рационально использовать ресурсы лабораторного оборудования, реактивы; способ культивирования может быть модифицирован и масштабирован при необходимости.

1. Бисько Н.А. Высшие съедобные базидиомицеты в поверхностной и глубинной культуре / Н.А.Бисько, А.С.Бухало, С.П.Вассер и др. – К.: Наук. думка, 1983. – 311 с.
2. Бухало А.С. Высшие съедобные базидиомицеты в чистой культуре / А.С.Бухало – Киев: Наук. думка, 1988. – 144 с.
3. Древаль К.Г. Нові продуценти целюлозолітичних ензимів серед вищих базидіальних грибів / К.Г. Древаль, М.І. Бойко // Biotechnologia Acta. – 2011. – №. 4, № 1. – С. 87-92.
4. Lee B.C. Submerged culture conditions for the production of mycelial biomass and exopolysaccharides by the edible basidiomycete Grifola frondosa / B.C. Lee, J.T. Baea, H.B.Pyoa et al. // Enzyme and Microbial Technology. – 2004. – № 35. – P. 369–376.

УДК 574.11

ВЫБОР БИОСОРБЕНТОВ ДЛЯ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ПОЧВЫ ОТ НЕФТЯНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ

Шингисбаева Ж.А.[1,2], Туракулова Е.А.[1,2], Оразова М.М.[1,2], Долтаева Б.З.[1,2], Наумчук А.Э.[3]

[1]Южно-Казахстанская государственная фармацевтическая академия,
[2]Южно-Казахстанский государственный университет,
[3] ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк
fifachka39@mail.ru

Предприятия нефтехимической промышленности являются основным источником загрязнения почв нефтепродуктами. Токсические элементы вызывают деградацию биогеоценозов, что приводит к выведению значительных территорий из сельскохозяйственного оборота. Актуальной

является задача разработки доступных путей получения биосорбентов для рекультивации загрязненных почв.

Были протестированы сорбенты природного происхождения: торф, остатки плодов подсолнечника, солома, опилки деревьев лиственных пород. Сорбенты оценивали в соответствии с основными физико-химическими (структурообразующими) и сорбционными характеристиками, а также способностью сорбента задерживать во время эксперимента клетки микроорганизмов. Для оценки эффективности определяли количество микроорганизмов, закрепленных на поверхности предлагаемых сорбентов. Наибольшим эффектом оценили древесные опилки в силу их большей удельной поверхности. Учитывая оптимальные соотношения мощности масла и объемной плотности, доступность сырья для получения сорбента, в широкомасштабном эксперименте нами рекомендованы опилки древесных пород. Основной экстракт получали из активного ила нефтехимических предприятий. Толщина фракции 2-5 мм. Экспозиция эксперимента учитывает концентрацию гетеротрофных микроорганизмов. Гидрофобизация носителя и иммобилизованной микрофлорой осуществляется с эффектом 15 г/кг. Сушка сорбента при температуре 35-40° С способствует увеличению емкости масла и снижению его влагоемкости до 4,54 г/кг.

Сравнительные доступные способы биоремедиации рассматривают наиболее эффективный способ – использование древесных опилок с активными нефтеокисляющими микроорганизмами.

УДК 595.797 : 591.563(477.75)

К ИЗУЧЕНИЮ СТАЦИЙ ГНЕЗДОВАНИЯ ОС РОДА *SCELIPHRON KLUG* (HYMENOPTERA, SPHECIDAE) В Г. ДОНЕЦКЕ И ЕГО ОКРЕСТНОСТЯХ

Амолин А.В.
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк
a.amolin@mail.ru

Всесветно распространенный род *Sceliphron* Klug, 1801 насчитывает в мировой фауне 35 видов ос (Немков, 2012). На территории Русской равнины эти теплолюбивые осы представлены 5 видами, большинство которых являются редкими и обитают только на юге данной равнины, в частности все пять видов отмечены в Крыму (Фатерыга, Ковблюк, 2013). Со второй половины XX века ареалы некоторых видов этого рода интенсивно расширяются, главным образом благодаря заселению урболандшафтов, в которых имеются благоприятные экологические условия для их обитания.

Город Донецк является крупным промышленным центром Донецкой Народной Республики, расположенным на юге Русской равнины в пределах юго-западной части Донецкой возвышенности (37º48′ восточной долготы и 48º00′ северной широты). На территории города развиты селитебные и промышленные ландшафты, при этом последние включают корпуса заводов, фабрик, угольные шахты, густую сеть транспортной инфраструктуры (дороги, линии электропередач, пруды, каналы и пр.). Среди селитебных ландшафтов города следует выделить кварталы городской застройки с многоэтажными домами, а также поселки одноэтажных домов с расположенными возле них приусадебными участками. В окрестностях города также доминируют антропогенные ландшафты, при этом хорошо представлены искусственные рекреационные лесные массивы, дачные поселки, терриконы угольных шахт, сельскохозяйственные угодья (пашни).

В ходе многолетних (с 1999 по 2015 гг.) эколого-фаунистических исследований жалоносных перепончатокрылых насекомых Донецкой и Луганской областей, нами были выявлены основные местообитания ос-сцелифронов на территории г. Донецка и его окрестностей. На данной территории род *Sceliphron* представлен двумя видами – *S. destillatorium* (Illiger, 1807) и *S. curvatum* (F. Smith, 1870), однако в пределах Донецкой и Луганской областей, не исключены находки некоторых других видов этого рода. Ниже приводим характеристики стаций гнездования выявленных видов на территории г. Донецка и его ближайших (до 5 км) окрестностей.

***Sceliphron (Sceliphron) destillatorium* (Illiger, 1807).** Ареал вида включает территорию всего Древнего Средиземья. В пределах Восточно-

Европейской равнины вид распространен главным образом на юге и юго-востоке, на север доходит до Владимирской и Нижегородской областей (Мокроусов, 2010), заходя в зону хвойно-широколиственных лесов. Как и все сцелифроны, самки этого вида строят из влажной почвы, свободные многоячейковые гнезда, размещая их в различных укрытиях, защищенных от попадания дождевой влаги (гнезда интенсивно разрушаются при намачивании их водой). При этом гнезда обычно прикреплены к твердому субстрату (каменные стены, потолки) часто под крышами и на чердаках домов, в нежилых, полуразрушенных строениях человека. Важно отметить, что у этого вида гнездовые ячейки сверху покрыты слоем почвы и все гнездо напоминает небольшой комок земли, прикрепленный к вертикальной поверхности.

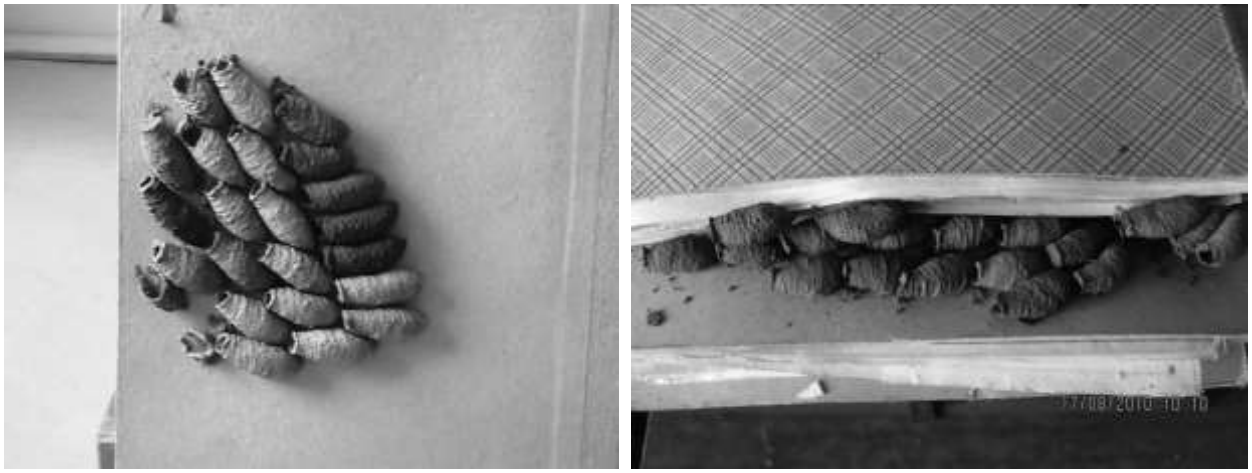
В юго-восточных окрестностях г. Донецка данный вид отмечали на каменистых склонах степных балок с выходами песчаника, на правом берегу речки Грузская. В данном биотопе гнездовой стацией вида являются обнажения песчаника, имеющие форму выступающих плоских карнизов, под которыми самки устраивают свои гнезда (рис. 1). В степных балках гнезда находили всегда поблизости от постоянных источников воды (речки, родники). В черте г. Донецка гнезда находили возле городских прудов под железобетонными мостами, а также внутри различных каменных строений. В естественных степных ландшафтах вид, по-видимому, приурочен к долинам рек, где способен гнездится в нишах глиняных обрывов, а также, вероятно, в старых, заброшенных гнездах некоторых видов птиц (например, в гнездовых ходах ласточки-береговушки, щурки золотистой).

а б

Рис. 1. Гнездовая стация *Sceliphron destillatorium* в окр. г. Донецка (окр. с. Грузско-Ломовка): а – обнажение песчаника на склоне степной балки; б – гнездо *S. destillatorium* отстроенное под карнизом песчаника

***Sceliphron (Hensenia) curvatum* (F. Smith, 1870).** Ареал этого вида, по-видимому, первично находился в горных районах Южной или Юго-Восточной Азии. В настоящее время ареал существенно расширился благодаря инвазии в Европу. На территории Восточной Европы впервые был зарегистрирован относительно недавно (в 1999 году) в Харьковской области (Шоренко, 2003).

В г. Донецке этот вид впервые нами был отмечен в 2004 году, однако он появился здесь, по-видимому, намного раньше. Систематические находки его регистрируются с 2006 года. Как и в других частях Европы, в г. Донецке он отмечен большей частью в селитебных ландшафтах. В частности, нами отмечен в кварталах многоэтажных домов, где строит лепные гнезда в жилых комнатах с открытыми окнами (на рельефных потолках, висящих на стенах картинах, книжных шкафах и др.) (рис. 2), а также на приусадебных участках в черте города. Гнезда находили как в жилых (комнаты с постоянно открытыми форточками), так и в не жилых помещениях со свободным доступом для ос. При этом гнездовые ячейки располагались, в виде плоской массы, как на почти вертикальной поверхности, так и на угловой поверхности (состоящей из двух прилегающих друг к другу взаимно перпендикулярных поверхностей). Коренными ландшафтами данного вида, по-видимому, являются горные ландшафты, а исходной стацией гнездования – пещеры и гроты. Расширение ареала *S. curvatum* обусловлено, вероятно, широким распространением урболандшафтов с подходящими обитания этого вида экологическими условиями (высотные дома), а также высокой выживаемостью потомства и широким спектром трофических связей (Фатерыга, Ковблюк, 2013).



а б

Рис. 2. Необычные места гнездования *Sceliphron curvatum*: а – группа ячеек на вертикальной поверхности обложки книги; б – группа ячеек в стопке бумаг

1. Мокроусов М. В. Фауна роющих ос (Hymenoptera: Ampulicidae, Sphecidae, Crabronidae) бассейна Верхней и Средней Волги // Труды Русского энтомол. общ-ва. – 2010. – Т. 81 (2). – С. 59-66.
2. Немков П. Г. Секция Spheciformes – Роющие осы. 62. Сем. Sphecidae – Сфециды // Аннотированный каталог насекомых Дальнего Востока России. Т. I. Перепончатокрылые. – Владивосток : Дальнаука, 2012. – С. 433-434.
3. Фатерыга А. В., Ковблюк Н. М. Экология гнездования роющей осы *Sceliphron curvatum* (F. Smith, 1870) (Hymenoptera, Sphecidae) на Украине // Евразиатский энтомол. журнал. – 2013. – 12 (3). – С. 309-314.
4. Шоренко К. И. Новые данные по фауне роющих ос (Apoidea: Ampulicidae, Sphecidae, Crabronidae) Украины // Известия Харьковского энтомол. общ-ва. – 2002 (2003). – Т. X, вып. 1–2. – С. 96-98.

УДК 595.771

ВЛИЯНИЕ АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА ЧИСЛЕННОСТЬ И РАСПРОСТРАНЕНИЕ МОШЕК ДОНЕЦКОЙ ОБЛАСТИ И СОПРЕДЕЛЬНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Рева М.В.[1], Семушин Р.Д.[2]
[1] ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк,
[2]Медицинское ООО «Санпрофдезинфекция», г. Макеевка
mvreva@mail.ru

В зонах тайги, полесья и лесостепи мошки преобладают по численности среди других компонентов гнуса (Янковский, 2002). Укусы мошек болезненны, а слюна их токсична. Массовое нападение мошек на людей нарушает нормальные условия их труда и отдыха. Отмечаются случаи заболевания и госпитализации людей вследствие укусов и интоксикации слюной мошек. В отдельных районах наблюдается заболевание и гибель крупного рогатого скота в результате массового нападения симулиид. Экономический ущерб, причиняемый мошками, определяется также снижением продуктивности домашних животных, подвергающихся их нападению. Кроме того, мошки являются переносчиками возбудителей ряда опасных заболеваний человека и животных.

Высокая плотность населения и многочисленные промышленные предприятия Донбасса обусловливают выброс во внешнюю среду отходов, загрязняющих водную среду – места выплода мошек и воздушную среду – места обитания их имаго.

Целью работы стало исследование влияния различных видов хозяйственной деятельности человека на видовой состав, распространение и численность мошек на территории Донецкой области и прилегающих областей.

Материалом для написания работы послужили сборы преимагинальных фаз и взрослых мошек на территории Донецкой области и прилегающих территорий с 1974 г. по 2013 г. В работе использованы общепринятые методики И. А. Рубцова (1956) и З. В. Усовой (1961).

Местами выплода преимагинальных фаз мошек являются все относительно чистые проточные водотоки. Однако в результате хозяйственной деятельности человека загрязняются реки и ручьи, что приводит к изменению качественного состава и снижению численности мошек. Так, строительство плотин на реках исключает выплод мошек на всем протяжении подпора воды (Бодрова, 1975). После строительства каскада водохранилищ на реке Днепр выплод мошек в ней не наблюдался (Павличенко, 1978). Мы также не находили водных фаз мошек на участках подпора воды выше водохранилищ на реках Днепр, Северский Донец, Бычок, Волчья, Самара, Саксагань, Миус, Крынка, Кальмиус, Грузской Еланчик, Жеребец.

По нашим наблюдениям, в пределах района исследований многие реки загрязняются промышленными стоками. Это привело к тому, что в реках Грузская, Ингулец, Бахмутка, Бык, загрязненных отходами металлургического

производства, а также в реках Северский Донец и других ниже г. Рубежное, загрязняемых отходами химической промышленности, личинок и куколок мошек вообще не встречали. В реках Нагольная, Соленая, Кривой Торец, Казенный Торец, Ольховка, а также притоках рек Грузская, Миус, Крынка, Кальмиус, загрязненных шахтными водами, обнаружены единичные личинки и куколки *Wilhelmia mediterranea, W. balcanica*. Однако в реках Северский Донец, Самара, Лугань, Луганчик, Волчья, Конка, Берда, Миус, Крынка, Кальмиус, также загрязненных отходами промышленности, выплаживались *Nevermannia latigonia, N. angustitarsis, Odagmia ornata, Wilhelmia mediterranea, W. balcanica, Eusimulium aureum, Boophthora erythrocephala.*

В реках, загрязненных сельскохозяйственными стоками (Грузской Еланчик, Мокрый Еланчик, Кальчик, Калка, Берда, Молочная, Жеребец, Мокрые Ялы, Сухой Торец), развиваются *W. mediterranea, W. balcanica, W. salopiensis, O. ornata, N. latigonia, N. angustitarsis, E. aureum, B. erythrocephala*. Вышеперечисленные виды являются эврибионтными антропофилами. Важным биологическим приспособлением, по мнению ряда авторов (Рубцов, 1966; Савустьяненко, 1991), обеспечивающим выживаемость этих видов, является потребность в дополнительном питании кровью, необходимой для завершения гонотрофического цикла. Поэтому антропофильные виды отличаются повышенной кровососущей активностью.

Применение удобрений в сельском хозяйстве приводит к сносу в реки и ручьи с полей азота, калия, фосфора и др. Сток удобрений увеличивает биологическую продуктивность водоемов. В них наблюдается массовое развитие сине-зеленых водорослей, что приводит к ухудшению качества воды. В период дождей, когда усиливается вынос удобрений с полей, наблюдается резкое сокращение численности гидробионтов, в том числе и личинок мошек. В первую очередь исчезают личинки наименее вредоносных видов (Усова, Семушин, Рева, 2011) и остаются личинки антропофильных видов: *O. ornata, W. mediterranea, N. latigonia, N. angustitarsis, E. aureum, Argentisimulium nollery, B. erythrocephala*.

Пруды и водохранилища, построенные на реках, уменьшают расстояние, на котором отмечается губительное действие удобрений на личинок мошек. По-видимому, в них происходит усвоение и переработка удобрений, и они теряют свою токсичность.

И.А. Рубцов считает, что распашка земель и уничтожение растительности ухудшает возможности дополнительного питания мошек и стимулирует их кровососущую активность. В пределах Донбасса и прилежащих территорий все земли распаханы, за исключением лесных массивов, непригодных земель (каменистые, песчаные), небольших территорий в поймах рек. Хозяйственная деятельность способствует появлению внутривидовых форм с повышенной потребностью кровососания. Кроме того, возрастает численность зимних форм вследствие изменения температурного режима и кормности водотоков. Мы отметили в поймах загрязняемых рек (Грузская, Кальмиус, Крынка, Грузской Еланчик, Кривой Торец) выплод морфологически отличающихся форм *O. ornata,*

W. mediterranea, N. latigonia. Нередко их выплод наблюдается только в верховьях этих рек или в их притоках. Популяции этих видов развиваются в относительной изоляции, так как разделены пространством до 10 км и более.

Таким образом, строительство на реках водохранилищ, загрязнение водотоков отходами промышленности, сельскохозяйственными стоками и минеральными удобрениями ухудшают условия выплода мошек, что проявляется в резком снижении их численности и уменьшении видового разнообразия, а иногда полностью препятствует выплоду. Вместе с тем, в загрязненных водотоках развиваются синантропные виды, отличающиеся повышенной кровососущей активностью. Личинки и куколки *O. ornata, W. mediterranea, N. latigonia, N. angustitarsis* встречаются в водотоках, загрязненных хозяйственными стоками, *W. mediterranea, W. balcanica* в водотоках, загрязненных шахтными водами.

1. Бодрова Ю.Д. Особенности мошек в связи с ландшафтно-географическим распределением и хозяйственной деятельностью человека // Биосфера и человек. – Москва, 1975. – С. 234-235.
2. Павличенко В.И. Фауна и некоторые вопросы экологии мошек (Diptera,Simuliidae) Запорожской области: Автореф. дисс. … канд. биол. наук. – Киев, 1978. – 22 с.
3. Рубцов И.А. Мошки (сем. Simuliidae). Фауна СССР. Двукрылые насекомые. – Москва ; Ленинград : Изд-во АН СССР, 1956. – Т. 6, вып. 6. – 860 с.
4. Рубцов И.А. Изменение видового состава и численности кровососущих мошек под влиянием деятельности человека // Итоги исследования по проблеме борьбы с гнусом. – Новосибирск: Изд-во АН СССР, 1966. – С. 114-121.
5. Савустьяненко Т.Л. Особенности гонотрофического цикла мошек в зависимости от характера питания личинок: Автореф. дисс. … канд. биол. наук. – Киев, 1991. – 23 с.
6. Усова З.В. Фауна мошек Карелии и Мурманской области. – Москва; Ленинград: Изд-во АН СССР, 1961. – 267 с.
7. Усова З.В., Семушин Р.Д., Рева М.В. Мошки как биоиндикаторы чистоты водоемов юго-востока Украины // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. – 2011. – № 1. – С. 188-203.
8. Янковский А.В. Определитель мошек (Diptera, Simuliidae) России и сопредельных территорий бывшего СССР. – Санкт-Петербург: РАН, 2002. – 570 с.

УДК 595.423 : 574.34

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА НАСЕЛЕНИЯ ПАНЦИРНЫХ КЛЕЩЕЙ РЕКУЛЬТИВИРОВАННОГО ТЕРРИКОНА ШАХТЫ № 3-3-БИС Г. ДИМИТРОВА

Штирц А. Д.
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк
shtirts@i.ua

В процессе добычи полезных ископаемых быстро расширяются пространства, лишенные почвенного покрова, нарушается целостность природных ландшафтов, формируются техногенные биогеоценозы. При разработке угольных месторождений подземным способом вместе

с добываемым углем на поверхность из шахт выносится порода, образующаяся при проведении подготовительных и очистных работ. Выносимая на поверхность порода складируется в породные отвалы, которые в зависимости от теплового состояния делятся на горящие и негорящие. Терриконы оказывают значительное влияние на окружающую среду, выделяя в атмосферу пыль, окись углерода, сернистый ангидрид, сероводород, окиси азота. Для снижения уровня негативного воздействия на окружающую среду проводится рекультивация шахтных терриконов путем защитно-декоративного озеленения.

Направленное рекультивирование промышленных ландшафтов и формирование устойчивых биогеоценозов является важным направлением их оптимизации. Для этого необходимы сведения о составе почвенного населения, его структуре и динамике на рекультивированных участках. Панцирные клещи (орибатиды), принимающие активное участие в почвообразовательных процессах, являются одной из пионерных групп беспозвоночных животных, заселяющих терриконы, промышленные отвалы предприятий и т.п. Этот процесс интенсифицируется при направленной биологической рекультивации породных отвалов.

Недостаточная изученность состава и экологической структуры населения панцирных клещей рекультивированных отвалов угольных шахт Донбасса определила выбор темы нашего исследования. Цель работы – установить видовой состав и экологическую структуру населения панцирных клещей рекультивированного террикона шахты «3-3-бис» г. Димитрова.

Материал и методика исследования. Для изучения экологической структуры населения панцирных клещей специфических техногенных комплексов был применен катенный подход. Шахтный террикон рассматривался как техногенная катена, на которой были выделены следующие позиции: аккумулятивная – у основания террикона, транзитная – на склоне, элювиальная – на вершине террикона. Сбор материала проводился в сентябре 2012 г. по трансекте в 7-кратной повторности на каждой позиции техногенной катены. Всего из 21 пробы извлечено 411 экз. взрослых панцирных клещей, относящихся к 25 видам.

Обработка материала проводилась по общепринятой методике Е. М. Булановой-Захваткиной: взятие почвенных проб объемом 250 см^3, доставка в лабораторию, выгонка клещей с помощью термоэклекторов Тульгрена-Берлезе, фиксация, изготовление микропрепаратов, определение, математическая обработка и анализ материала. Видовая принадлежность панцирных клещей устанавливалась при микроскопировании с помощью микроскопа Zeiss Primo Star (Германия). Анализ структуры доминирования проведен с использованием шкалы Г. Энгельманна для микроартропод, где E – эудоминант (>40%), D – доминант (12,5–39,9%), SD – субдоминант (4,0–12,4%), R – рецедент (1,3–3,9%), SR – субрецедент (<1,3%). Для оценки экологического разнообразия сообществ орибатид использовался индекс Шеннона. Все расчеты проведены в MS Excel.

Результаты и обсуждение. Проанализированы основные экологические характеристики сообществ орибатид каждой позиции

техногенной катены, такие как средняя плотность населения, видовое богатство, экологическое разнообразие, структура доминирования и соотношение жизненных форм панцирных клещей.

Анализируя показатель средней плотности населения панцирных клещей, следует отметить, что он варьирует от 5890 у подножия до 10230 экз./м^2 на склоне. На аккумулятивной позиции техногенной катены отмечено 12 видов орибатид, на склоне и вершине – по 16. Это достаточно высокие показатели для терриконов, что в первую очередь следует связать с успешно проведенной рекультивацией древесными породами (вершина, склон и подножие полностью засажены успешно прижившимися *Robinia pseudoacacia* и *Quercus robur*) и вследствие этого созданием благоприятных условий для жизнедеятельности почвенного населения.

Один из наиболее показательных индексов экологического разнообразия – индекс Шеннона, также отражает максимум на транзитной позиции катены (2,07), минимум (1,27) отмечен на аккумулятивной.

Характеризуя структуру доминирования населения орибатид техногенной катены следует отметить, что на элювиальной позиции доминируют виды *Zygoribatula frisiae* (38,8%)*, Tectocepheus velatus* (18,6 %) и *Punctoribates liber* (17,8 %). При этом отмечено 7 рецедентных и 5 субрецедентных видов. Такой характер распределения орибатид можно связать и с тем, что подножие террикона представляет собой участок пустыря, заваленного мусором. Сам террикон со всех сторон окружен гаражами, т.е. добавляются такие антропогенные факторы как замусоривание и вытаптывание. На транзитной позиции к доминантам добавляется *Peloribates europaeus* (14,5 %). Доля *Zygoribatula frisiae, Tectocepheus velatus* и *Punctoribates liber* здесь составляет, соответственно, 29, 14 и 19 %. К рецедентам относятся 4, к субрецедентам – 6 видов. Структура доминирования на аккумулятивной позиции более нарушена: *Zygoribatula frisiae* переходит в ранг эудоминантов – 63,1 %, доля доминанта *Tectocepheus velatus* составляет 19,4 %, а *Punctoribates liber* полностью исчезает. К рецедентам отнесены 2, к субрецедентам – 7 видов.

Несмотря на нарушения в структуре доминирования, достаточно высокую долю доминантов и даже наличие эудоминанта на аккумулятивной позиции, в сообществах орибатид всех исследуемых участков отмечены редкие виды – рецеденты и субрецеденты, что также свидетельствует о благоприятном влиянии проведенной биологической рекультивации.

На профиле техногенной катены отмечены представители всех шести жизненных форм орибатид: обитатели толщи подстилки, поверхности почвы, мелких почвенных скважин, а также глубокопочвенные, первично и вторично неспециализированные формы. Отмечено явное преобладание по численности представителей одного адаптивного типа – вторично неспециализированных форм, их доля варьирует от 77 % на вершине и склоне до 92 % у подножия террикона. На элювиальной позиции также встречаются обитатели поверхности почвы (11 %) и мелких почвенных скважин (9 %), на склоне – обитатели мелких почвенных скважин (15 %).

Остальные жизненные формы представлены незначительно. Такой характер распределения, с явным доминированием представителей вторично неспециализированных форм, является типичным для техногенно трансформированных ландшафтов. Тем не менее, наличие в сообществе представителей всех основных жизненных форм свидетельствует о положительной динамике формирования нормальной экологической структуры, чему в значительной степени способствовало проведение защитно-декоративного озеленения террикона.

Основываясь на результатах многолетних исследований состава и экологической структуры сообществ панцирных клещей антропогенно трансформированных и природных ландшафтов, нами были разработаны критерии оценки основных экологических показателей сообществ панцирных клещей (средняя плотность населения, видовое богатство, структура доминирования, соотношение жизненных форм, индекс экологического разнообразия Шеннона) по пятибалльной шкале и предложена схема оценки экологического состояния окружающей среды по интегральному показателю сообществ панцирных клещей. На основе проведенного анализа состава и экологической структуры сообществ каждой позиции техногенной катены установлено, что экологическое состояние элювиальной позиции катены характеризуется незначительным уровнем отклонения от нормы (II уровень – 16 баллов), транзитной – незначительным уровнем отклонения от нормы (II уровень – 18 баллов), аккумулятивной – средним уровнем отклонения от нормы (III уровень – 12 баллов).

Выводы. Установлен видовой состав и проанализированы основные экологические характеристики сообществ орибатид каждой позиции техногенной катены рекультивированного террикона шахты «3-3-бис» г. Димитрова. Проведенная биологическая рекультивация (защитно-декоративное озеленение древесными породами) на терриконе создает благоприятные условия для жизнедеятельности почвенного населения, способствует ускорению почвообразовательного процесса и уменьшает техногенную нагрузку на экосистемы.

УДК 595.423

ВЕРТИКАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПАНЦИРНЫХ КЛЕЩЕЙ «ЗУЙ-ГОРЫ» РЕГИОНАЛЬНОГО ЛАНДШАФТНОГО ПАРКА «ЗУЕВСКИЙ» ДОНЕЦКОЙ ОБЛАСТИ

Ярошенко Н.Н.
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк
eco99@i.ua

Кадастрово-мониторинговые исследования панцирных клещей на «Зуй-горе» высотой 150 м проведены в мае и октябре 2009 г. и в ноябре 2015 г.

Материал собран по общепринятой методике Е. М. Булановой-Захваткиной (1967 г.). Пробы брали биоценометром объемом 250 см^3 ежемесячно в 10-кратной повторности в каждом экотопе (вершина, склон и основание горы).

Вершина «Зуй-горы». В мае при температуре воздуха +20°С, влажности почвы 16,28 % в 10 пробах учтено минимальное количество панцирных клещей – 124 экз. со средней плотностью населения 4960 экз./м^2, что в 1,9 – 1,3 раза меньше, чем в октябре и ноябре, соответственно, в связи с неблагоприятными зимними условиями, при которых большинство клещей погибает. Видовой спектр панцирных клещей небольшой – 19. К часто и редко встречаемым отнесены по 7 видов. Доминировали 5 видов: *Sphaerochthonius ovatus* Serg., *Liochthonius lapponicus* (Trag.) – по 5,50%, в октябре и ноябре не встречались; *Lauroppia maritima* (Will.) – 7,34 %, доминировал в ноябре, часто встречался в октябре; *Microppia minus* (Paoli) – 43,12 %, *Microppia minutissima* (Selln.) – 7,34 % – часто встречаемые в октябре и ноябре. Как видно, доминирующие виды в различные годы и сезоны проявляли себя по-разному в зависимости от эдафических условий обитания.

В октябре в 10 пробах при температуре воздуха +10°С и влажности почвы 24,95 % учтено максимальное количество панцирных клещей – 234 экз., плотность – 9360 экз./м^2, в 1,3 – 1,9 раза больше, чем в ноябре и мае, соответственно. В октябре видовой спектр орибатид значительно возрастает (до 32 видов). Доминировали 6 видов: *Phylozetes emmae* Berl. – 6,25 %, часто встречаемый в мае, в ноябре не обнаружен; *Brachichthonius immaculatus* Forssl. – 7,50 %, *Epilohmannia cylindrica* (Berl.) – 5,62 %, *Zygoribatula exarata* Berl. – 11,25 %, – в остальной период исследований не обнаружены; *Discoppia cylindrica* (Perez-Inigo) – 15,00%, часто встречаемый в ноябре, в мае не встречался; *Punctoribates zachvatkini* Schald. – 8,13%, доминировал в ноябре, в мае не обнаружен. Часто встречались 6 и редко – 20 видов. В ноябре при температуре воздуха +11°С, влажности почвы 25,58 % в 10 пробах учтено 176 экз. орибатид, плотность – 7040 экз./м^2. Видовой состав (20), по сравнению с октябрем, сократился в 1,6 раза, с маем – увеличился на один вид. Доминировали 5 видов: *L. maritima* (Will.) – 19,75%; *Ramusella clavipectinata* (Mih.) – 8,92 %, *Hemilieus initialis* Berl. – 15,29 % в мае и октябре не обнаружены; *Ceratozetes minutissimus* Will. – 22,29 %; *P. zachvatkini* Schald. – 7,01 %. К часто встречаемым отнесены 4, к редким – 11 видов.

Таким образом, на вершине «Зуй-горы» в течение трех месяцев учтено 534 экз. орибатид со средней плотностью населения 7120 экз./м^2. Определено 56 видов панцирных клещей, относящихся к 37 родам и 22 семействам. Доминировали 6 видов: *L. maritima* – 10,79%, *D. cylindrica* – 6,81 %, доминировали в октябре, часто встречались в ноябре, в мае не найдены; *M. minus* – 13,85 %, доминировал в мае, часто встречался в октябре и ноябре; *H. initialis* – 5,63 %, *C. minutissimus* – 8,22 %, доминировали в ноябре, в остальное время наблюдений не встречались; *P. zachvankini* – 5,63 %, доминировал в октябре и ноябре, в мае не встречался. Видовой состав и обилие доминирующих видов орибатид на вершине вариабильно в различные

сезоны и годы, что зависит в основном от вертикального расположения и эдафических свойств исследуемых экотопов.

Склон «Зуй-горы». Склон представляет собой участок разнотравно-типчаково-ковыльной степи. В мае при температуре воздуха +20°С, влажности почвы 16,28% на склоне в 10 пробах учтено минимальное количество орибатид – 448 экз., плотность – 17920 экз./м^2. Обилие орибатид в мае в 1,1–1,2 раза меньше, по сравнению с октябрем и ноябрем, соответственно, и в 3,6 раза выше, чем в мае на вершине горы. Определено 37 видов панцирных клещей, что в 1,9 раза больше, чем в мае на вершине горы. Доминировали 6 видов: *L. maritima* – 7,12 %, *M. minus* – 17,15 %, доминировали в октябре, часто встречались в ноябре; *R. clavipectinata* – 7,92 %, преобладал в течение трех месяцев; *Protoribates capucinus* Berl., – 20,58 %, доминировал в ноябре, часто встречался в октябре; *P. longior* Berl. – 8,44 %, в октябре и ноябре не встречался; *Ceratozetes gracilis* (Mich.) – 6,86 %, часто встречаемый в октябре и ноябре. К часто встречаемым отнесены 4 и к редким – 27 видов. В октябре при температуре воздуха +10°С и влажности субстрата 19,05 % – до 497 экз., плотность – 19880 экз./м^2. Определено 32 вида орибатид. Доминировали 6 видов: *B. immaculatus* – 7,32%, часто встречаемый в мае, в ноябре не обнаружен; *L. maritima* – 11,87%, преобладал в мае, часто встречаемый в ноябре; *M. minus* – 20,96 %, *R. clavipectinata* – 6,06 %, доминировали на протяжении трех месяцев; *Zygoribatula exarata* (Berl.) – 7,58 %, в остальные 2 месяца не встречался; *P. zachvatkini* – 13,89 %, редкий в ноябре, в мае не найден. Для вершины и склона в октябре отмечено 4 общих доминирующих вида. В ноябре на склоне горы при температуре воздуха +11°С, влажности почвы 26,58% в 10 пробах учтено максимальное количество орибатид – 567 экз., плотность – 22680 экз./м^2. Определено 38 видов. Доминировали 3 вида: *M. minus* – 19,40 %, *R. clavipectinata* – 11,72 %, доминировали на протяжении трех месяцев; *P. capucinus* – 27,68 %, доминировал в мае, часто встречаемый в октябре. Из 38 видов часто встречались 10 и редко – 25 видов.

В результате трехмесячных наблюдений в разные годы на склоне горы в 30 пробах отмечено 1512 экз. орибатид, плотность – 20160 экз./м^2. Определено 69 видов, относящихся к 47 родам и 31 семейству. Из них доминировали 4 вида: *L. maritima* – 6,93 %, часто встречаемый в ноябре, преобладал в мае и октябре; *M. minus* – 19,21 % и *R. clavipectinata* – 8,82 % – преобладали на протяжении трех месяцев; *P. capucinus* – 17,64%. Из 69 видов к часто встречаемым отнесены 7 и к редким – 59 видов.

Основание «Зуй-горы». В мае при температуре воздуха +20°С, влажности почвы 26,58% в 10 пробах учтено 594 экз. панцирных клещей, плотность – 20160 экз./м^2. Определено минимальное количество видов – 22. Доминировали 5 видов: *Perlohmannia coiffaiti* Gr. – 5,62 %, в октябре и ноябре не обнаружен; *M. minus* – 8,91 %, доминировал в октябре, не встречался в ноябре; *R. clavipectinata* – 6,09 %, преобладал в октябре, часто встречаемый в ноябре; *P. monodactylus* – 15,46 %, доминировал в ноябре, редкий в октябре;

P. capucinus Berl. – 42,39 %, преобладал на протяжении всего периода исследований. К часто встречаемым отнесены 5 и к редким – 22 вида. Таким образом, численность орибатид в основании горы распределена неравномерно и своего пика достигала в октябре 2009 г., минимума – в ноябре 2015 г. В октябре при температуре воздуха +10°С, влажности почвы 33,33 % в 10 пробах учтено максимальное количество панцирных клещей – 569 экз., плотность – 22760 экз./м^2. По сравнению с маем количество видов орибатид увеличилось в 1,6 раза – 37. Доминировали 6 видов: *Oppiella nova* (Oudms.) – 11,68%, редкий в ноябре, не обнаружен в мае; *M. minus* – 6,73 %; *R. clavipectinata* – 6,53 %; *P. capucinus* – 22,18 %; *P. longior* – 6,14 %, в мае и ноябре не обнаружен; *Ceratozetes mediocris* Berl. – 14,26 %, часто встречаемый в ноябре, в мае не найден. К часто встречаемым отнесены 7 и к редким – 27 видов. В ноябре при температуре воздуха +11°С, влажности почвы 31,58 % в 10 пробах обнаружен минимум панцирных клещей – 366 экз., плотность – 14649 экз./м^2. Определено 37 видов орибатид. Доминировали 6 видов: *Hypochthoniella minutissima* (Berl.) – 17,74 %, *Fosseremaeus laciniatus* Berl. – 9,35% редкие в октябре, не встречались в мае; *Hermanniella punctulata* Berl. – 5,48%, редкий в мае и октябре; *M. emeryi* – 8,39%, в мае и октябре не найден; *P. monodactylus* – 9,03 %, *P. capucinus* – 11,93%. В целом у основания «Зуй-горы» в 30 пробах учтено 1439 экз. панцирных клещей со средней плотностью населения 19184 экз./м^2. Определено 63 вида орибатид 43 родов и 30 семейств. Доминировали 5 видов: *M. minus* – 5,80 %; *R. clavipectinata* – 5,72 %; *P. monodactylus* – 8,38 %; *P. capucinus*. – 26,57 %; *C. mediocris* – 7,01 %. К часто встречаемым отнесены 8 и к редким – 50 видов.

Таким образом, в трех исследуемых экотопах (вершина, склон и основание «Зуй-горы») отмечено 104 вида панцирных клещей, относящихся к 64 родам и 37 семействам. Пик численности орибатид зарегистрирован на склоне «Зуй-горы» – 1512 экз., что в 2,8–1,05 раза превышает численность клещей на вершине и в основании, соответственно. Минимум численности клещей отмечен в открытом экотопе на вершине горы. Вертикальное распределение панцирных клещей четко выражено. Обилие и большое видовое разнообразие панцирных клещей, как индикаторной группы почвенных членистоногих, характеризует уникальность природного ландшафта РЛП «Зуевский», что в целом характерно для заповедных территорий Донбасса.

УДК 502:581.5:581.15

МОНИТОРИНГОВЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ *AVENA FATUA* L.

Бебешко Е.Н., Сафонов А.И.
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк
andrey_safonov@mail.ru

Во многих регионах фоновое загрязнение и дальнейший перенос поллютантов приводят к острым повреждениям растений далеко от источников эмиссий. Для реализации своевременных мероприятий по защите природной среды очень важно разрабатывать систему раннего выявления и экспресс-диагностики изменений в экосистемах. В этом направлении существуют программы локального и комплексного мониторинга. Особо актуальны эти вопросы для антропогенно трансформированных регионов, среди которых выделяется Донбасс.

Морфометрический подход широко применяется довольно часто в ботанических исследованиях, поскольку он позволяет применять и использовать диагностику жизнеспособности растений. Отмечено, что в экстремальных условиях морфологическая изменчивость у растений несколько увеличивается или, наоборот, уменьшается.

Одним из видов-индикаторов является овсюг пустой (обыкновенный) – *Avena fatua* L. В настоящее время этот вид широко распространен во всем мире, встречается, главным образом, в антропогенно трансформированных местообитаниях. Благодаря своей способности адаптироваться к широкому диапазону местообитаний и высокой репродуктивной способности *Avena fatua* занесен в списки адвентивных видов растений многих стран с высокой инвазионной активностью.

Актуальность исследований определяется необходимостью проведения экологического мониторинга в условиях промышленного региона. Среди множества биологических методов оценки состояния окружающей среды использование индикационных признаков растений приобретает особое значение.

Цель работы – определить фитотоксичность почвогрунтов экспериментальных экотопов и провести апробацию индикаторных признаков *Avena fatua* на контрольном участке.

Для достижения цели применялись методы анализа образцов почвы, биоиндикационные подходы и статистическая обработка результатов.

Для получения информации о влиянии антропогенных загрязнений в промышленном регионе на *Avena fatua* были выбраны три экспериментальных экотопа в разных частях г. Донецка. 4-й экотоп является контролем и находится

за пределами города Донецка. Данные мониторинговые точки: № 1 – г. Донецк, Ворошиловский район, парк им. А.С. Щербакова, возле второго городского ставка, вдоль дороги; № 2 – г. Донецк, Ленинский район, ДМЗ, возле цеха; № 3 – г. Донецк, Куйбышевский район, Азотный, «Коксохимцех»; № 4 – ООПТ Донецкий кряж.

Для анализа выбранных опытных участков использовали метод фитотоксичности – оценка степени токсичности почв на исследуемой территории при помощи тест-вида.

Провели сбор *Avena fatua* для изучения изменчивости морфометрических индикаторных признаков в контрольном участке. Объем выборки – 10 особей. Изучены такие признаки: A – высота растения, данный признак относится к непрерывающимся (метрическим, пластическим) индикаторным признакам, которые определяются путем измерений; B – длина соцветия; C – асимметрия листовой пластинки; D – длина верхней и нижней цветочных чешуй срединного соцветия.

Установлено, что данный индикатор обладает высокой пластичностью и адаптирован к сильному антропогенному воздействию.

УДК 550.42:553.93/94

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СУЛЬФИДНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В УГЛЯХ И ОТХОДАХ УГЛЕОБОГАЩЕНИЯ ДОНБАССА

Власов П.А.
Республиканский академический научно-исследовательский институт горной геологии, геомеханики, геофизики и маркшейдерского дела (РАНИМИ), г. Донецк
pasha_shakhtyor@mail.ru

Добыча и обогащение углей сопровождается накоплением большого количества твердых и жидких отходов горного производства в виде терриконов, шламоотстойников, золонакопителей. Миллионы тонн отходов добычи и обогащения углей являются источником токсичных элементов, ухудшающих экологию Донбасса. С другой стороны, отходы представляют собой техногенные месторождения редких элементов и строительных материалов. Поэтому изучение закономерностей распределения «малых» элементов в углях и отходах углеобогащения на сегодняшний день является актуальной задачей.

Аномалии сульфофильных элементов в углях (Zn, Cd, Hg, Pb, As, Sb, Te и Se) в основном имеют постгенетическую гидротермальную природу и обусловлены поступлением этих элементов с гидротермальными растворами вдоль сместителей тектонических нарушений и в зонах дробления углепородного массива.

При формировании карбоновых торфяников наряду с гидротермальным процессом также играло незначительную роль образование горючих газов (в частности сероводорода) и последующие химические реакции их с неорганическим веществом торфяников с образованием сульфидов железа, меди, цинка, свинца, ртути, мышьяка и др. Разница между сульфидными минералами сингенетического (сероводородного) и эпигенетического (гидротермального) происхождения состоит в том, что сингенетические минералы, образовавшиеся при формировании торфяников, в углях и вмещающих породах имеют вид линз, желваков и сплошных агрегатных масс, а эпигенетические минералы встречаются в виде жил, прожилок, кристаллических включений, друз и монокристаллов.

Распределение цинка в пределах угольного пласта конкретного месторождения коррелируется с зольностью и сернистостью угля [1, 2]. Сульфофильные свойства цинка обусловливают концентрацию его в сульфидах. Вследствие существенной доли в цинконосных углях сульфидной формы цинка, обогащение углей могло бы служить средством снижения экологической опасности. Однако, если в углях доминирует микроминеральная сульфидная форма, обогащение окажется неэффективным.

Ртуть – элемент первого класса опасности, входящий в группу наиболее активных загрязнителей почв и других компонентов окружающей среды. Она имеет высокие миграционные свойства. В периоды тектонической активизации ртуть поступала из мантии по глубинным разломам и образовывала не только ртутные месторождения, но и рассеивалась в породах угленосной толщи.

Существует эмпирическая закономерность: чем выше сернистость углей, тем выше в них содержание ртути. Это связано с тем, что пирит не только главный концентратор, но и главный носитель ртути, т.е. пиритная ртуть дает наибольший вклад в валовое содержание ртути. В углях Донбасса ртуть имеет как сингенетическое, так и эпигенетическое накопление.

В углях, особо обогащенных ртутью, концентратором ее может быть не только пирит, но и собственный сульфид – киноварь (HgS), а также сульфиды мышьяка, свинца и цинка [3].

Многолетнее сжигание и коксование углей Донбасса, зараженных ртутью, привело к формированию огромных площадных геохимических аномалий ртути в почвах, особенно вблизи коксохимических заводов, а также в жилых районах одноэтажной застройки с печным угольным отоплением [4]. Дополнительным источником заражения почв ртутью являются горящие терриконы и золошлаковые отходы ТЭС.

Ртуть и её соединения относятся к весьма токсичным веществам, к тому же обладающим мутагенными свойствами. Токсичность Hg связана с ее действием на нервную систему и внутренние органы человека.

Свинец очень хорошо определяется в массовых эмиссионных спектральных анализах золы углей, поэтому данные о его содержаниях весьма многочисленны. Свинец – гораздо более слабый мигрант по

сравнению с цинком из-за эффективности не только сульфидного, но и сульфатного, карбонатного и даже фосфатного барьеров. Литофильность свинца ведет к накоплению его в глинистом веществе – в гидрослюдах. Это означает, что обогащение энергетических углей по сере и золе должно стать достаточно эффективным средством снижения содержания в них свинца, но будет определяться свойствами конкретного угля. Значительная часть свинца накапливается в тяжелых фракциях некоторых углей Донбасса до 1 % [5].

Два свойства делают мышьяк «элементом № 2» (после ртути) в экогеохимии углей: высокий угольный кларк и токсичность. Поэтому к мышьяку (как и к ртути) в настоящее время уделено основное внимание специалистов, занятых изучением геохимии и процессов промышленного использования углей. Содержания мышьяка в углях лимитируются вследствие его вредности в процессах использования технологических или энергетических углей. Как элементарный мышьяк, так и в особенности его оксид As_2O_3 относятся к числу высокотоксичных компонентов углей. Мышьяк обладает целым набором опасных свойств: он является канцерогеном и мутагеном, вызывает опасные заболевания кожи, дыхательной и пищеварительной систем человека.

Сурьма в углях накапливается как сингенетически, так и эпигенетически. В углях Донбасса резко доминирует эпигенетическая (гидротермальная) форма накопления сурьмы. Эмиссия сурьмы и ее токсичность создают определенные экологические проблемы, а ее токсичность влияет на нервную и сердечно-сосудистую системы человека.

Сурьма генетически связана с серой, ртутью и мышьяком. Кроме изоморфного замещения ртути и мышьяка сурьма также образует собственный сульфид антимонит. Этот минерал иногда встречается среди тектонических трещин и в зонах повышенной сульфидной минерализации угольных пластов в шахтах Горловки, Дзержинска, Енакиева и Макеевки в виде сплошных минеральных масс, корок, налетов и очень редко кристаллов.

Выводы. Анализ площадного распространения аномалий Zn, Cd, Hg, Pb, As, Sb, Te и Se в пределах шахтных полей показал, что ртуть и мышьяк имеют сходные особенности распределения. К полям высоких содержаний ртути и мышьяка относятся и повышенные концентрации цинка. Пространственное распределение сурьмы отличается от распределения ртути, мышьяка и цинка.

Сульфофильные свойства Zn, Cd, Hg, Pb, As, Sb, Te и Se обуславливают концентрацию их в сульфидах (в основном в пирите). Кроме того, цинк, ртуть, свинец, мышьяк и сурьма образуют собственные сульфиды в углях и вмещающих породах: киноварь, аурипигмент, реальгар, антимонит, сфалерит, галенит и др. Селен, теллур и кадмий изоморфно связаны с сурьмой и цинком. Та же сурьма, в свою очередь, которая образует собственный сульфид – антимонит, изоморфно связана с ртутью.

Обогащение энергетических и коксовых углей по сере и золе должно быть достаточно эффективным снижения содержания в них сульфидов, что понижает экологическую опасность их использования, но присутствие

микроминеральной формы исследованных элементов снижает эффективность их удаления из углей.

1. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Токсичные элементы-примеси в ископаемых углях. – Екатеринбург, УрО РАН, 2005. – 654 с.
2. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Ценные элементы-примеси в углях. – Екатеринбург, УрО РАН, 2006. – 538 с.
3. Дворников А.Г. Ртутоносность углей Донецкого бассейна / А.Г.Дворников, С.И.Кирикилица. – М.: Недра, 1987. – 155 с.
4. К геоэкологии Донецкого каменноугольного бассейна / Б.С.Панов, О.А.Шевченко, А.М.Дудик [и др.] // Изв. вузов. Геол. и разведка. – 1998. – № 5. – С. 138-145.
5. Юровский А.З. Минеральные компоненты твердых горючих ископаемых. – М.: Недра, 1968. – 214 с.

УДК 581.5:574.21:581.15(477.60)

ЭКОСИСТЕМНОЕ НОРМИРОВАНИЕ ПО ДАННЫМ ФИТОИНДИКАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА

Глухов А.З.[1], Сафонов А.И.[2]

[1]ГУ «Донецкий ботанический сад», [2]ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»

donetsk-sad@mail.ru, andrey_safonov@mail.ru

Экосистемное нормирование является частью прикладного направления в экологии – нормирования уровня антропогенной нагрузки на окружающую среду.

При внедрении в практику экосистемное нормирование основывается на использовании комплексных интегральных показателей вредности. Эти показатели в отдельности или в совокупности отражают степень устойчивости или сбалансированности экосистем различных масштабов. При обосновании количественных оценок устойчивости экосистем мы рассматривали резистентность отдельных компонентов природно-техногенных систем. В оценке качественного состояния растительных элементов ландшафта использовали принцип пороговости действия.

Установлено, что определение устойчивости природных экосистем тесно связано с фитоиндикационными показателями. Мы рассматривали показатели строения сорных растений как информативные критерии устойчивости экосистем к антропогенным нагрузкам.

Рабочая гипотеза такого прикладного направления: при трансформации экосистемы в сторону ее дисбаланса наблюдаются нарушения на структурных уровнях организации растительных организмов.

Сбор материалов осуществляли в летний период с 2001 по 2015 гг. Пробные площадки были заложены в узлах локализации мониторинговой сети.

Важным звеном нормирования в природных экосистемах является установление сигнальных показателей – так называемых индикационных критериев, по которым можно с определенной долей вероятности судить об

уровне трансформации или истощенности экосистемы, определять вещественный и энергетический балансы в локальных геосистемах.

При анализе растительного материала учитывали следующие показатели: внешний вид строения растений, жизненная форма; особенности архитектоники подземных органов; трансформации в корневых терминалях; изменчивость в побегообразовании, формировании соцветий; изменчивость проводящей системы в стебле растений; система формирования листового аппарата в различных формациях; вариативность структур поверхности листа; вариативность внутренних конформационных тканей листа; тератологические проявления в цветке; изменчивость в мужской генеративной сфере – дефектность пыльцы; изменчивость в женской генеративной сфере – дефектность семязачатков; генетическая гетерогенность семян; морфологическая разнокачественность плодов; гистохимическая разнокачественность плодов; выявление отклонений при прорастании семян; дезориентация жизненной стратегии.

Критериями для установления степени нормальности экосистемы являются показатели индикационной ботанической экспертизы: информативные трансформации структур растений-индикаторов, размах их экологической амплитуды и реализация стратегий видов по новым адаптивным сценариям.

Теоретическая важность этой идеи заключается в выявлении информативных связей между реально существующими потоками вещества и энергии в условиях развития экосистем с интенсивной эксплуатацией их ресурсов.

УДК 721.012:581.524:502:325.111

КАРПОЛОГО-ИНДИКАЦИОННАЯ ЗНАЧИМОСТЬ РУДЕРАЛОВ В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

Калинина А.В., Исиков А.А., Сафонов А.И.
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк
andrey_safonov@mail.ru

Актуальность исследований определяется прежде всего необходимостью разработки системы биомониторинга антропогенно трансформированной среды. К регионам с наибольшим техногенной нагрузкой, где в первую очередь необходимо создать пункты наблюдения и проведения мониторинга почв, принадлежит территория Донбасса. Среди биологических методов оценки состояния окружающей среды использование возможностей растений приобретает особенное значение и имеет определенные преимущества в отличие от разнообразных инструментальных технических методов. Поэтому заслуживает внимания вопрос о применении фитоиндикаторов для определения загрязнения окружающей среды

токсическими элементами. Данная работа представляет собой попытку освещения и решения именно этого малоизученного аспекта современной экологии, что и определяет ее актуальность.

Цель работы – провести анализ теоретических данных и обобщить оригинальные результаты эксперимента по фитоиндикационной оценке токсической нагрузки на среду в индустриальном регионе с помощью *Tragopogon major* L. Объект исследования – определенные реакции растений на загрязнения почв токсическими веществами и их соединениями. Предмет исследования – дискретные информативные признаки строения тест-вида в контрастных геохимических условиях**.** В задачи исследований нами были включены поисковые информационные работы по обнаружению методов и способов проведения фитоиндикационной оценки в промышленном регионе по состоянию эмбриональных структур видов природной флоры.

Эксперимент реализован в рамках заложенной 20-компонентной мониторинговой сетки на территории Донецко-Макеевского промышленного узла. Выбранные точки позволяют не только ранжировать территорию по степени антропогенной нагрузки и токсичности среды, но и визуализировать зоны риска в картографическом эквиваленте – схематически выделять территории с максимальным уровнем комплексного промышленного загрязнения.

При изучении гетероспермии (гетерокарпических в данном случае проявлений) у *T. major* было выявлено, что морфогенез семязачатков и семян характеризуется асинхронностью. В процессе их развития выявлены различные аномалии: деструкция всего семязачатка, разрушение элементов зрелых зародышевых мешков, нарушение формирования эндосперма. В плодах, собранных в период диссеминации, семена различаются по форме, размеру, наличию или отсутствию зародыша, степени сформированности этого зародыша, эндосперма и семенной кожуры. В аберратных семязачатках и семенах обнаруживаются прежде всего отклонения в развитии и изменения путей метаболизма в тканях. Так, при нарушении принципа пространственно-временной координации аномальные семязачатки отличаются от фертильных меньшими размерами, что может быть связано с остановкой роста зародышевого мешка в длину, уменьшением размеров нуцеллуса и увеличением размеров интегументов, что приводит к уменьшению их соответствия.

Показатели ширины плодов соответствовали нижней 1/3 части семянок *Tragopogon major* L. – самой функционально важной зоне плода, содержащей семязачаток. Изучение внешних и внутренних структур этой зоны семянки представляет наибольший научный интерес, поскольку отражает стратегическую способность растения формировать полноценное потомство и переносить период покоя. Ожидаемые результаты, что в градиенте токсической нагрузки ширина плодов будет уменьшаться прямо не подтвердились, поскольку были установлены места сбора растительного материала, где длина плода была минимальной, а ширина колебалась в верхнем диапазоне значения показателя (например, мкрн. Красная звезда).

Общее численное значение вариативности плодов для *Tragopogon major* по показателю ширины колебалось в пределах от 0,74 мм до 0,94 мм. Важно отметить, что семенной материал, собранный на территории металлургического комбината характеризовался наименьшими показателями ширины плодов. Это связано с высокой частотой (более 60%) встречаемости абортивных зародышевых структур, что территориально позволяет нам свидетельствовать о высоком уровне токсической нагрузки в зоне сбора растительного материала. Если сравнить показатели абсолютной ширины плодов изучаемого вида в пределах мониторинговой сетки г. Макеевки, то диапазон значений колебался от 0,81 до 0,94, что статистически не указывает на существенную разницу между точками, но дополнительные исследования внутренних структур плодов на поперечных срезах указывали, что в условно чистых точках сбора материала доля эмбриональных структур по сравнению с толщиной перикарпических тканей значительно выше. Это указывает на то, что показатель ширины плодов является комплексным и по абсолютным размерам не позволяет выделить качества семенного материала, поскольку его слабое развитие в градиенте токсической нагрузки компенсируется интенсификацией развития поверхностных защитных оболочек плода.

Сравнительный количественный анализ частоты встречаемости аберратных семязачатков и семян позволяет констатировать, что в контрольных точках сбора материала этот показатель не был выше 1–3 %, а в зонах промышленного влияния достигал 23–38 %, что указывает на характерные признаки дегенерации зародышевого аппарата и позволяет использовать такой показатель в общей программе индикационного биомониторинга в промышленном регионе.

УДК 581:501:574:614

БОТАНИЧЕСКАЯ ЭКСПЕРТИЗА В ЭКОЛОГИЧЕСКОМ МОНИТОРИНГЕ ПРОМЫШЛЕННОГО РЕГИОНА

Литвинова В.А., Авдеева А.В., Сафонов А.И.
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк
andrey_safonov@mail.ru

Концепция создания комплексной системы мониторинга природной среды в целом в настоящее время практически не может быть реализована, т.к. существующая система фактически состоит из отдельных подсистем мониторинга качества объектов природной среды (вода, воздух, почва), которые слабо методологически связаны между собой. Хотя это тоже не абсолютное утверждение, если учитывать хотя бы появляющиеся в большем количестве сейчас универсальные приборы-анализаторы, в числе которых часто используют и живые организмы, в первую очередь – растения. В последние годы создаются системы мониторинга отдельных сред с их

методологической и метрологической увязкой. При этом интегрирование систем мониторинга количественных и качественных показателей отдельных сред (загрязнения воды и гидрологии, загрязнение атмосферы и метеорологии) необходимо сохранять и развивать с самого начала, т.к. в противном случае не будет обеспечена правильная оценка их состояния.

Фитоиндикация – прикладное направление ботанических исследований, безусловно, являющихся неотъемлемой частью экологических разработок. Растения-индикаторы используются человеком в огромнейшем количестве с давних времен. Типичные и феноменальные возможности растений содержатся в многочисленных информационных базах. В нашем промышленном регионе многие типичные растения можно использовать как объективные научно-исследовательские лаборатории, по состоянию и реакции которых реально получать адекватную информацию о процессах, происходящих в окружающей среде.

Это направление интересно как с фундаментально-теоретической, так и с прикладной точек зрения: проведение экологического мониторинга, планирование и нормирование антропогенной нагрузки на природные системы, территориальная оценка уровней загрязнения в широком и узком смыслах – эти и сопутствующие им практические выходы характеризуют современные фитоиндикационные исследования в Донбассе. Направление изучения фитоиндикационной информативности востребовано. При этом перед исследователями стоит четкая задача получения адекватной информации и правильного, корректного интерпретирования данных. Чем большие запросы перед этим научно-прикладным направлением, тем более специфические признаки используются.

По ботанико-экологическим характеристикам выбраны перспективные тест-виды для проведения исследований: *Cichorium intybus* L. (для использования во всех блоках запланированного эксперимента), *Tripleurospermum inodorum* (L.) Sch. Bip. (для использования в лабораторном, палинологическом и карполого-эмбриологическом блоках), *Plantago major* L. (для лабораторного, фолиологического и палинологического анализов), *Tanacetum vulgare* L. (исследования лабораторного, палинологического и карполого-эмбриологического блоков), *Reseda lutea* L., *Berteroa incana* (L.) DC. и *Echium vulgare* L. (лабораторные и палинологические исследования) и *Tragopogon major* Jacq. (лабораторные исследования).

Общие направления исследования основаны на синтезированном системном подходе и использовании методов аутэкологической структурной фитоиндикации.

Стратегия непосредственно фитоидикационного исследования заключается в следующем: 1) определение для модельных объектов (тест-видов) признаков, которые характеризуются наибольшей индикационной вариабельностью; 2) изучение структурных элементов растений в динамике, а также установление их связи с другими структурами и показателями металлопрессинга.

Выбор методов изучения анатомо-морфологических особенностей растений, произрастающих в условиях антропогенно трансформированных экотопов, был детерминирован необходимостью выявления дискретных признаков для составления шкал по диапазону морфопластичности, установлением специфики отдельного признака и созданного на его основе показателя или показателей, а также возможностью отбора большого количества образцов и наличием достаточного времени для однородной их обработки в камеральных условиях при создании базы данных. Проведен анализ дискретных признаков листовых пластинок, пыльцевых зерен, семян и плодов тест-видов. Оценка техногенной нагрузки на территории опыта проведена метом картосхематической визуализации на основе данных химико-аналитического определения содержания металлов в почвах и фитообъектах (атомно-абсорбционный и рентгенофлуоресцентный методы).

При формировании системного подхода к проблемам фитоиндикационной оценки степени загрязнения учитывали следующее:

1) выбранные блоки «лист-пыльца-плоды» – это системы, которые составлены из определенных структурных элементов (например, основных эпидермальных клеток, трихом, устьичных комплексов, кутикулярного слоя и др. для первого блока), между которыми существуют четко определенные морфогенетические и эколого-морфофизиологические корреляции;

2) определенные связи существуют в системе «структурные элементы – факторы», что более четко проявляется в условиях монофакторного действия при однородности других экологических влияний; но в природных условиях практически невозможно элиминировать общие многочисленные факториальные характеристики; в этом случае необходимо использовать методы статистической обработки и обязательно использовать несколько альтернативных показателей (например, коэффициенты корреляции, детерминации), а также дополнительные методы (например, производные картографического визуализационного метода, метода наложения плоскостей, совпадения динамических территориальных изменений признаков во временном аспекте и др.);

3) происходит постоянная дифференциация и трансформация элементов строения растительного организма в аспекте «структура тест-вида – окружающая среда»;

4) лист, пыльцевые зерна, семена и плоды в условиях гетерогенной среды организованы с позиции надежности и консервативности биологических систем.

Общая схема последовательности выполнения эксперимента: подбор территории исследования → выбор перспективных фитоиндикаторов → анализ миграционных потоков и локализации тяжелых металлов → установление местных стандартов варьирования дискретных признаков растений или отдельных их показателей → построение шкал экологической пластичности индикаторов → разработка и применение метода картосхематической визуализации полученных данных на плоскости → поиск корреляционных связей в системе «фактор-признак» → установление

сопряженных групп совместных и сопутствующих характеристик → возможный прогноз дальнейшего состояния ботанико-экологических показателей территории → апробация, использование и усовершенствование методов структурной фитоиндикации. Для предварительного и текущего фитоиндикационного тестирования необходимо разработать специальный аппарат интерпретации и индексирования для адекватного и корректного сравнения вариабельности признаков (формирования сопряженных групп) с показателями эколого-токсикологического состояния на определенной территории.

В настоящее время при разработке способов фитоиндикационного тестирования степени нарушенности экосистем и(или) уровней антропогенной нагрузки (в первую очередь токсикологического содержания) возникла необходимость обобщения полученных данных и апробации комплексного способа интегральной оценки.

УДК 582:581.4:581.15

МОНИТОРИНГ В УСЛОВИЯХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЭКОТОПОВ С ПОМОЩЬЮ МОХООБРАЗНЫХ

Морозова Е.И., Сафонов А.И.
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк
andrey_safonov@mail.ru

Индикация состояния окружающей среды проводится с помощью биомониторинга. С этой целью рационально использовать мохообразные, поскольку они являются одними из наиболее перспективных объектов биомониторинга.

Целью данной работы является изучение видового состава мохообразных и особенности распространения их в промышленных экотопах Донецкой области в частности г. Донецка и г. Горловки.

Материалами исследования были мохообразные, взятые с исследуемых мониторинговых точек с техногенно-трансформированной территории.

Сбор и гербаризация материала проводили в период с 2014 по 2015 гг. в пяти мониторинговых точках: №1 – г. Донецк, Куйбышевский район, поселок Новый горняк (частный сектор), № 2 – г. Донецк, шахта им. В. В. Куйбышева, № 3 – г. Донецк, микрорайон «Азотный», № 4 – г. Горловка завод «Стирол», № 5 – условный контроль ООПТ Донецкий кряж. Изучение флористических и геоботанических показателей мохообразных проводили методом маршрутных исследований и на стационарных участках.

Нами выявлены такие экологические группы мохообразных (по отношению к фактору увлажнения): мезофиты – 4 вида – 40% (*Syntrichia ruralis* (Hedw.) F. Weber & Mohr, *Bryum turbinatum* (Hedw.) Turn„ *Didymodon fallax* (Hedw.) Zander, *Syntrichia virescens* (De not) Ochyra) от общего

количества видов и 3 вида ксеромезофитов (30%) (*Amblystegium serpens* (Hedw.) Schimp., *Platygyrium repens* (Brid.) Schimp., *Leskea polycarpa* Hedw.). Наименьшим количеством видов было представлено группа ксерофитов 2 вида (20%) *(Camptotecium lutescens* (Hedw.) Schimp., *Bryum argenteum* Hedw.) и 1 вид гигрофитов (10%) (*Brachythecium mildeanum* (Schimp.) Schimp.).

На исследуемой территории были собраны и определены 10 видов мохообразных и отнесены к 4 экологическим группам по отношению к фактору увлажнения. Преобладающей экологической группой мохообразных являются мезофиты, так как на территории районов исследования преобладают места со средними условиями увлажнения.

УДК 556.114

ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СТОЧНЫХ ВОД ШАХТЫ МОСПИНСКАЯ

Наумчук А.Э., Захаренкова Н.С., Сафонов А.И.
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк
fifachka39@mail.ru, natalya_zaharenkova@mail.ru

Одной из центральных экологических проблем в мировом масштабе является количественное истощение и качественное изменение пресных природных вод. В последнее время очень остро стоит проблема загрязнения вод в промышленном регионе – Донбассе. Развитый промышленный регион, и особенно горные предприятия систематически загрязняют подземные воды шахтными стоками. Угольная промышленность оказывает интенсивное техногенное влияние на окружающую среду. Химический состав шахтных вод сильно зависит от интенсивности угледобычи, глубины разрабатываемых горизонтов, особенностей материнских пород. Имея разные показатели химического состава и агрессивные свойства, шахтные воды, поступая в поверхностные водотоки и водоемы, вызывают в них изменения солевого режима, обуславливая нежелательные экологические нарушения в гидросфере. Наибольшее количество поллютантов в результате сброса шахтных вод попадает в крупные водные объекты. Это воздействие распространяется на природный ландшафт, атмосферу и поверхностные водоёмы не только в непосредственной близости от угольных предприятий, но и на значительных от них расстояниях. Поэтому проблема оценки влияния предприятий угольной отрасли на обеспечение водными ресурсами крупных промышленных городов является очень актуальной.

Шахтные воды отличаются высоким содержанием взвешенных веществ (до 0,1 г/л), повышенной минерализацией (содержание солей до 3 г/л приходится на 70% всех шахт, от 3 до 7 г/л на 26% всех шахт), из-за чего в водоемы и реки ежегодно сбрасывается более 3 млн. т минеральных солей и веществ. Это привело к повышению в ряде случаев минерализации

поверхностных водных источников в Донецкой области до 2–2,9 г/л, увеличению содержания в водоемах тяжелых металлов и заиливанию водных объектов.

Для очистки вод предусмотрены проточные пруды-отстойники, которые представляют собой бассейны. В отстойниках при медленном течении воды происходит очистка и осветление стоков перед попаданием в основное водное русло.

Шахтная вода с горизонтов шахты Моспинская через водоотливные скважены поступает в горизонтальные отстойники, находящиеся на основной промплощадке. После механической очистки и хлорирования вода сбрасывается в пруды-отстойники №1, 2, 3 с последующим выпуском в Оздоровительный пруд и реку Грузская.

В сбрасываемых шахтных водах содержатся особо загрязняющие элементы – марганец, никель, стронций, титан и цинк.

В ходе исследований была проведена качественная характеристика сточных вод шахты Моспинская.

Таблица 1

Утвержденный состав и сброс веществ в сточные

Наименование вещества	Утвержденная допустимая концентрация, мг/дм^3	Утвержденный ПДС, г/час	Сброс в перерасчет в т/год
Взвешенные вещества	15,0	3745,50	32,81
ХСК	20,0	4994,00	43,74
БСК$_3$	4,0	998,80	8,75
Азот аммонийный	1,0	249,70	2,19
Нитриты	0,5	124,85	1,09
Нитраты	5,0	1248,50	10,94
Хлориды	350	87195,00	765,52
Железо (общее)	0,3	74,91	0,66
Сухой остаток (минерализация)	1500	374550,00	3280,80
Сульфаты	500	124850,00	1093,60
Нефтепродукты	0,3	74,91	0,66
Фосфаты	0,1	24,97	0,22
Фенолы	0,001	0,25	0,0022

Таблица 2

Фактический состав и сброс веществ в сточные воды

Показатели состава сточных вод	Фактическая концентрация, мг/дм^3	Фактические расходы, г/час
1	2	3
Взвешенные вещества	13,08	3150,47
ХСК	12,72	3062,98
БСК$_3$	2,72	654,57
Азот аммонийный	0,74	178,59
Нитриты	0,06	15,09

Продолжение таблицы 2

1	2	3
Нитраты	2,75	662,60
Хлориды	452,78	109030,23
Железо (общее)	0,16	38,93
Сухой остаток (минерализация)	3660,33	881408,27
Сульфаты	1713,07	412506,45
Нефтепродукты	0,09	22,07
Фосфаты	0,02	5,62
Фенолы	0,00	0,00

Утвержденные свойства сточных вод: плавающие примеси: отсутствуют; запах, вкус не больше 1 балла; прозрачность не меньше 20 см; в июле температура воды в результате сброса сточных вод не должна повышаться чем на 3^0С в сравнении с среднемесячной температурой самого жаркого месяца года за последние 10 лет; pH 6,5–8,5; растворенный кислород: не меньше 4 мг/дм^3; колифаги: не больше 100 в дм^3; лактоположительные кишечные палочки: не больше 10 тыс в дм^3; жизнеспособные яйца гельминтов: отсутствуют.

На основании полученных данных, фактическое качество сточных вод отвечает предъявленным нормам ПДС по показателям, за исключением: хлоридов – 452,78 мг/дм^3, сульфатов – 1713,07 мг/дм^3 и сухого остатка (минерализация) – 3660,33 мг/дм^3. Значительного влияния сброшенные шахтные воды не имеют на качественную характеристику реки Грузская.

УДК 502.175

ЭКОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАЗЛОМНЫХ ЗОН

Николаев И.Ю.[1], Власов П.А.[2]
[1] ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк, [2]РАНИМИ, г.Донецк
nikolaev.donnu@gmail.com

Разломные зоны относятся к одним из важнейших элементов структуры земной коры. Эти зоны являются наиболее мобильными, энергоемкими и самыми ослабленными ее частями. С ними связан основной поток энергии и вещества в недрах Земли. Эти же зоны являются основными проводниками продуктов техногенеза в недра. С энергетических позиций все эти структуры относятся к энеростоковым зонам (ЭСЗ) с сложной иерархической структурой. Выделяют несколько уровней ЭСЗ: глобальный, региональный, локальный, элементарный. Зоны различных уровней отличаются шириной и протяженностью, уровнем энергомассопереноса, характером и интенсивностью экологического воздействия на окружающую среду и человека.

Среди многочисленных разломных структур территории Донецка выделяетсяМушкетовский надвиг. Эту структуру можно отнести к региональному уровню ЭСЗ. Ширина зоны влияния таких зон достигает сотен метров, а экологическое воздействие на окружающую среду выражается в активизации экзогенных геологических процессов, приводящих к развитию оврагов, карстообразованию, образованию оползней, просадок грунтов и др. В пределах этих зон увеличивается число аварий на транспорте, происходят деформации зданий и сооружений, подтопления, разрывы трубопроводов и сетей городских коммуникаций, увеличивается травматизм и процент заболеваемости населения.

Изучение анизотропии электромагнитного поля грунтов и содержания в них углекислого газа в зоне влияния Мушкетовского надвига позволило установить наличие в поверхностном слое покровных отложений микродеформационных структур, генетически связанных с современными геодинамическими процессами в массиве коренных пород вблизи сформированных разрывных нарушений и вновь зарождающихся тектонических структур или участков с аномальными полями тектонических напряжений.

Опыт исследований таких структур указывает на формирование в почвенных отложениях над ними аномальных концентраций не только углекислого газа, но и метана, радона. Эти газы способны накапливаться в подвальных помещениях и нижних этажах жилых домов. В случае метана это приводит к возникновению взрывоопасной ситуации. Газ радон, проникая в легкие людей, вызывает тяжелые заболевания. Известно, что геофизические аномалии в ряде случаев отражают положение геопатогенных зон в земной коре. Длительное нахождение или проживание в пределах таких зон создает дискомфортную ситуацию для человека или даже приводит к тяжелым заболеваниям.

УДК 581.5

ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ПРИНАДЛЕЖНОСТЬ ИНВАЗИОННЫХ ВИДОВ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ ГОРОДА ДОНЕЦКА

Рачкова К.С., Демьяненко Т.В.
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк
Kristina-rachkova@bk.ru

Образование глобальной сети техногенных экотопов привело к трансформации структур флор степной зоны в пределах сопредельных территорий России и северного Причерноморья, к деградации и необратимым изменениям локальных флор, снижению или полному исчезновению редких и эндемичных видов, существенному сокращению их ареалов, заносу новых адвентивных, в том числе, активно распространяющихся, карантинных видов растений, вытесняющих раритетные местные виды [3].

На протяжении почти двух столетий ученые-ботаники (флористы и систематики, геоботаники, лесоводы, натуралисты) занимались изучением флоры Юго-Востока Украины. Каждое поколение ученых внесло свой вклад в общее сведение информации о флоре региона. Работы ботаников прошлого ценятся нами не только в качестве исторической реликвии. Любая флора, как известно, характеризуется динамичным развитием, особенно этот процесс ускоряется в условиях синантропизации растительного покрова [2, 5].

По времени занесения адвентивные виды подразделяют на археофиты – занесенные до XVI века, кенофиты (неофиты) – появились в более позднее время. Некоторые авторы, например, Бурда [1], предлагают отдельно выделить эунеофиты, что переселились в новые районы в XX ст.

По нашим данным, во флоре северного Причерноморья 14 семейств и 22 вида представлены исключительно древесными адвентивными растениями.

Таблица

Географический спектр инвазионных видов города Донецка

Распространение	Виды	
	количество	% от общего количества
Североамериканское	6	27,27
Ирано-туранское	3	13,64
Середземноморское	2	9,09
Середземноморско-ирано-туранское	2	9,09
Восточноазиатское	4	18,18
Южноамериканское	1	4,55
Центрально-восточноевропейское	2	9,09
Евроазиатское	2	9,09
Всего:	22	100

Среднюю часть спектра составляют группы по 4-2 вида (восточноазиатского, середземноморского, евроазиатского, ирано-туранского, центрально-восточноевропейского, середземноморско-ирано-туранского происхождения). Растения южноамериканского происхождения представлены одним видом. Среди исследуемых видов значительная часть принадлежит видам с Северной Америки (6 видов; 27,27%): *Rubus macrophyllus Weihe &Nees., Amorpha fruticosa L., Robinia pseudoacacia L., Acer negundo L.,Vitis quinquefolia Planch., Symphori-carpos albus (L.)S.F. Blake.*

Таким образом, формирование современной флоры техногенных экотопов происходило постепенно и, очевидно, имеет общие черты с образованием таких же флор в других регионах [4].

Для адвентивной фракции дендрофлоры региона на современном этапе характерно преобладание преднамеренно занесённых человеком в XIX и начале XX века видов, активно расселяющихся в селитебных экотопах и культурных фитоценозах, с последующим внедрением в слабонарушенные местообитания и естественные сообщества [5].

1. Бурда Р.И. Новые адвентивные виды в флоре юго-востока Украины / Р.И. Бурда, В.К. Тохтарь // Интродукция и акклиматизация растений. – 1995. – Вып. 22. – С. 14-22.
2. Кондратюк Е.Н. Конспект флоры юго-востока Украины / Е.Н. Кондратюк, Р.И. Бурда, В.М. Остапко. – К.: Наук. думка, 1985. – 272 с.
3. Остапко В.М. Адвентивная фракция флоры юго-востока Украины / В.М. Остапко, А.В. Бойко, Е.Г. Муленкова // Промышленная ботаника. – 2009. – Вып. 9. – С. 32–47.
4. Протопопова В.В. Натурализация адвентивных растений Украины / В.В. Протопопова // Укр. ботан. журн. – 1988. – Т.45, № 4. – С. 10-15.
5. Протопопова В.В. Синантропная флора Украины и пути ее развития / В.В. Протопопова. – Киев: Наук. думка. 1991. – 204 с.

УДК 581.2:632.164:581.4

ЭКОТОПИЧЕСКАЯ ОБУСЛОВЛЕННОСТЬ ТЕРАТОГЕНЕЗА РАСТЕНИЙ

Самошкина Э.Д., Сафонов А.И.
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк
andrey_safonov@mail.ru

В условиях действия факторов специфического и неспецифического стрессов у растений реализуются различные механизмы адаптации, которые отражаются в приспособительных реакциях. Проявление таких реакций может быть зафиксировано на всех уровнях организации растительного организма. Наиболее наглядным и показательным, используемым в полевой экспедиционной диагностике и экологической ботанике, является уровень морфоструктурной организации растения от тканевого до органного, с учетом изменения габитуса и жизненной стратегии видов.

Цель нашей работы – составить инвентаризационную базу промышленно и антропогенно трансформированных экотопов г. Донецка и сопредельных территорий с приуроченностью видов природной форы восточной Европы с явными морфо-структурными деформациями для определения их индикационной значимости.

По результатам полевых сборов 2014–2015 гг. нами был собран иллюстративно-фотографический материал 187 атипичных случаев строения растений (на морфологическом уровне). В процентном соотношении частота встречаемости таких находок по экотопам была распределена следующим образом: районы жилой застройки – 15, свалки бытового мусора – 22, промышленные пустыри и свалки – 44, карьерно-отвальные комплексы и отвалы угольных шахт – 12, экотопы путей сообщения (автодороги и железные дороги) – 7 %.

Нами были зарегистрированы следующие виды: *Berteroa incana* (L.) DC., *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik., *Echium vulgare* L., *Polygonum aviculare* L., *Elytrigia repens* (L.) Nevski)., *Artemisia absinthium* L., *Artemisia vulgaris* L., *Convolvulus arvensis* L., *Chenopodium album* L., *Daucus carota* L., *Amaranthus retroflexus* L., *Dactylis glomerata* L., *Cyclachaena xanthiifolia*

(Nutt.) Fresen., *Diplotaxis tenuifolia* (L.) DC., *Xanthium albinum* (Widd.) H.Scholz, и *Ambrosia artemisiifolia* L.

Наиболее частые случаи аномального строения растений мы отнесли к следующим типам тератоморф: аномалии листового аппарата, карликовость, деформация побега, ложное ветвление соцветий, нарушение листорасположения. Особое внимание обращали на строение покровных тканей в области корневой шейки и точках, функционально сопряженных с влиянием контакта растения на стыке агрегатных состояний пространства – переходе из воздушной среды в эдафическую. Именно в таких зонах контакта наблюдается наибольшая, по нашему мнению, структурная реорганизация растительного организма на тканевом уровне.

УДК 581.5: 581.15

ИНДИКАЦИОННАЯ ЗНАЧИМОСТЬ *CAPSELLA BURSA-PASTORIS* (L.) MEDIK. В УСЛОВИЯХ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ЛАНДШАФТОВ ДОНБАССА

Червоная А.Н., Сулейманова Ю.Б., Сафонов А.И.
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк
andrey_safonov@mail.ru

Фитоквантификацию рассматривали как область ботанико-экологических знаний и форм деятельности по оценке качества природных сред.

Цель работы – анализ изменчивости некоторых качественных и количественных признаков *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik. в условиях урбанизированных ландшафтов Донбасса и выявление значимости этого вида в фитоквантификационном эксперименте.

C. bursa-pastoris характеризуется широкой экологической пластичностью, является устойчивым видом по отношению ко многим неблагоприятным факторам промышленной среды.

Нами были собраны образцы *C. bursa-pastoris* в мониторинговых точках, имеющих разную степень антропогенной нагрузки (период цветения): территория Донецкого металлургического завода, г. Донецк; парк им. А.С. Щербакова (городской ставок №1), г. Донецк; Авдеевский коксохимический завод (расстояние около 300 м от точки выбросов), г. Авдеевка; Авдеевский коксохимический завод (вдоль дороги), г. Авдеевка; микрорайон Широкий (селитебная зона, придорожная полоса), г. Донецк; Ленинский проспект (вдоль дороги), г. Донецк; завод химреактивов (возле пруда в санитарной зоне), г. Донецк; н.п. Степановка, Александровский район, Донецкая область (окраина дорог); Святопокровская шахта, Александровский район, Донецкая область (возле терриконников); н.п. Степановка, Александровский район (Донецкая область) – условный контроль.

В результате морфоструктурного анализа собранных образцов были определены некоторые тератоморфы, характерные для этого вида. Частота

встречаемости и проявлений полиморфизма листовых пластинок характерна практически для всех исследуемых экотопов, но наиболее выражена на участках с повышенной антропогенной нагрузкой. Зафиксированные частые случаи гигантизма *C. bursa-pastoris* в мониторинговых точках Авдеевского коксохимического завода и завода химреактивов в г. Донецке указывают на проявление морфо-физиологических ответных реакций в соответствии со специфичностью химизма эдафотопа; мы предполагаем – с установленными высокими концентрациями Mn, Fe и B в корнеобитаемом слое почвы. Изучение тератологичности формы плода *C. bursa-pastoris* – важный качественный индикаторный признак, который отражает степень токсикогенной нагрузки (по удаленности от источников выбросов промышленных предприятий) на растения. У данного фитоквантификатора, как представителя семейства *Brassicaceae,* в норме формируется двухгранный треугольный стручочек, сплюснутый с боков. Для многих форм плодов в экспериментальных точках характерны трехгранные варианты (до 15-17 %) вместо типичных двухгранных.

Индикаторные показатели проявления тератоморфизма вида *C. bursa-pastoris* дают возможность оценивать экотопы разной степени антропогенной трансформации и химической специфичности, связанной с производственной деятельностью в промышленном регионе. Сравнение критериев фитоквантификационной значимости в отдельных локальных мониторинговых точках позволяет дифференцировать ландшафты по степени пригодности к различным формам хозяйственной деятельности. Квантифицированные территории ранжированы по частоте встречаемости морфоструктурных отклонений у *C. bursa-pastoris*, что в дальнейшем нуждается в сравнении подобных появлений и у других видов природной флоры в условиях указанных экотопов.

УДК 574.21:581.5:630

ГЕНЕРАТИВНАЯ ДИССИММЕТРИЧНОСТЬ *BETULA PENDULA* ROTH. В АНТРОПОГЕННО ИЗМЕНЕННОЙ СРЕДЕ

Швец Я.И., Сафонов А.И.
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк
andrey_safonov@mail.ru

Флуктуирующая асимметрия и диссимметрический полиморфизм являются категориями асимметрии, и, по анализу первичных поисковых данных, *Betula pendula* характеризуется наличием обоих указанных видов асимметрии. Явление диссимметрии наблюдается, когда наряду с симметричными (S-формы) существуют L-левые (от лат. *laevo*) и D- правые (от лат. *dextro*) формы органов растений – корней, стеблей, листьев, соцветий, цветков, плодов и семян.

Диссимметрический полиморфизм наблюдается в том случае, если качественно одинаковые объекты имеют разные формулы диссимметрии.

Дисимметрический полиморфизм – явление, когда качественно различным объектам присуща одна и та же формула диссимметрии. Так, у мальвы и хлопчатника диссимметрия венчика вызвана последовательным веерообразным наложением одних лепестков на другие по ходу или против хода часовой стрелки.

Цель работы – провести индикационный скрининг дисимметричного полиморфизма *B. pendula* в условиях городов Донецка, Макеевки и Авдеевки по генеративной составляющей.

Для реализации мониторинговой программы изучения диссиметричного скрининга состояния урбанистической среды указанных населенных пунктов, нами было заложено 10 стационарных и 20 постов наблюдений с периодичной программой отслеживания данных. В данной работе представляем описательный вариант структурного полиморфизма *B. pendula,* имеющий корреляционно-индикаторное значение по генеративным органам. Для экологических программ промышленных городов такое изучение может быть востребовано и включено в государственную программу экологического мониторинга.

Как мужские, так и женские соцветия *B. pendula* сложные, состоящие из сильно редуцированных дихазиев; первичные брактеи главной оси всего соцветия расположены спирально, и в пазухе каждой брактей сидит по одному теоретически 3-цветковому дихазию (в норме – г. Авдеевка, ул. Воробьева).

Ось дихазия (вторичная ось) несет пару вторичных брактей и заканчивается цветком (средний цветок дихазия), а из пазух 2 вторичных брактей выходят третичные оси, заканчивающиеся цветками (боковыми цветками дихазия), подпираемыми парой третичных брактей (брактеолей);

Средний цветок дихазия, однако, часто отсутствует, реже отсутствуют боковые цветки и имеется лишь один средний цветок (нами была отмечена зависимость, что первый случай чаще (на 23 % зарегистрирован в местах интенсивной промышленной деятельности металлургического типа, второй – в местах интенсивного движения автотранспорта); мужские соцветия из 3-цветковых дихазиев; женское соцветие *Betula*, как правило, состоит из 3-цветковых дихазиев. Мужские цветки приросшие к первичной брактеи дихазия. Чашечка очень сильно редуцирована и часто полностью подавлена (дифференциации по этому признаку в рамках сравнения для заложенной мониторинговой сетки не обнаружено, т.е. этот признак не является индикаторно-информативным).

Тычинок 2–14 (анализ данных показывает, что количество тычинок не является информативным признаком для экологического мониторинга, а вот процентное соотношения сформированных пыльников – на 94 % коррелирует со степенью нагрузки на среду по показателю загруженности автомобильным транспортом), пыльники вскрываются продольно. Тапетум секреторный. Микроспорогенез симультанный.

Гинецей синкарпный из 2(3) карпелл, со свободными или почти свободными стилодиями (разница между контрольными и экспериментальными участками сводилась практически к общей тенденции формированная 1(2) карпелльных гинецеев); завязь нижняя, в нижней части 2(3)-гнездная, в верхней части 1-гнездная, с 1–2 висячими семязачатками в каждом гнезде. Женский гаметофит *Polygonun*-типа. Характерна халазогамия. Эндосперм нуклеарный. Плоды – орешки, без плюски, но часто с перепончатыми или травянистыми крыльями (для фитоиндикации и мониторинга этот признак не выявлен как информативный), образованными 2 или 3 брактеолями. Семена без эндосперма, с большим прямым зародышем, что характерно без аномальных конструкций как для контрольных, так и для экспериментальных пробных площадок.

Таким образом, в генеративных структурах *Betula pendula* отмечены некоторые закономерности появления асимметричности, что может рассматриваться как информативный индикаторный признак в проведении экологического мониторинга в условиях городской среды.

УДК 504.06:581.15

НЕКОТОРЫЕ ФИТОИНДИКАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ В ЭКОЛОГИЧЕСКОМ МОНИТОРИНГЕ

Шульгина Н.А., Сафонов А.И.
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк
andrey_safonov@mail.ru

Проблемы изменений окружающей среды под влиянием антропогенных факторов в настоящее время приобретают все большую актуальность. Экологические факторы антропогенного происхождения оказывают мощное действие на рост и развитие растений. В настоящее время актуальным аспектом практического применения аномальной изменчивости растений является фитоиндикация – оценка состояния окружающей среды по ботаническим составляющим.

Цель работы – фитоиндикационным методом провести оценку состояния окружающей среды на территории города.

Исходя из цели работы, были поставлены следующие задачи: выбор растений-индикаторов, сбор теоретических сведений об индикационной возможности модельного вида; определение показателей морфологии, которые информативны в качестве параметров индикации; апробация методов оценки состояния окружающей среды с помощью биоиндикационных методов: фолиологический аспект (изменчивость листового аппарата); палинологический аспект (степень дефектности пыльцы, частота встречаемости фертильных пыльцевых зерен); антологические аспект (особенности строения цветка и соцветий); тератологический аспект (частота встречаемости атипичных форм растений); разработка индикационной шкалы

с использованием *Ehiun vulgare* L., *Cichorium intybus* L. и *Tragopogon major* L. для рабочего применения на центральных улицах города.

Нами изучено строение разновозрастных листьев *E. vulgare* в каждой из микропопуляций, которые с геоботанической точки зрения логичнее назвать локальными ассоциациями. Были использованы следующие показатели: А – средняя длина листьев в прикорневой розетке, см; Б – средняя ширина листьев в прикорневой розетке, см; В – площадь листовой пластинки, см^2, Г – коэффициент асимметрии вершины листовой пластинки (Ка); Д – коэффициент удлиненности листовой пластинки (K_u); Е – устьичный индекс, шт./мм^2. Пределы колебания средних значений линейных размеров листа составляют: для длины – 11,15–13,97 см; ширины – 1,21–1,87 см. Площадь листовой пластинки варьирует от 14,64 до 22,37 см^2. Значения устьичного индекса варьируют от 190 до 370 шт./мм^2. Ксероморфность листьев на основе значений устьичного индекса увеличивается при усилении загрязнения. В течение вегетационного периода в зоне сильного загрязнения наблюдается значительное увеличение этого параметра.

Адаптации проявляются и при формировании устьичного аппарата. На протяжении большей части вегетационного периода в зоне сильного загрязнения устьичный индекс выше, чем в зоне слабого загрязнения. Данная особенность может быть связана с тем, что при повышенном уровне загрязнения происходит нарушение газообмена листьев с окружающей средой. Большое же количество устьиц может служить средством улучшения регулирования интенсивности газообмена.

Полученные данные свидетельствуют о том, что в условиях повышенной концентрации загрязняющих веществ наблюдается уменьшение общего числа междоузлий двулетнего побега *E. vulgare,* а также длина междоузлий, наблюдается их скученность. Это влечет за собой появление карликовых форм. Такие изменения в структуре побега могут быть обусловлены также изменением таких факторов как температура, количество осадков, освещенность, которые действуют совместно с антропопрессингом. Абиотические факторы среды в период исследований находились в пределах значений исключающих возможность их значительного влияния на длину междоузлий. Это подтверждает связь изменений в структуре побега в большей степени с антропогенными факторами.

Тератологические проявления схизокотилии и синколилии нами специально описаны в обзорной части дипломной работы. Нами установлено, что наибольшие значения этих показателей соответствуют зонам максимальной нагрузки на среду.

Ehiun vulgare L., *Cichorium intybus* L. и *Tragopogon major* L. – виды растений с широкой экологической амплитудой, о чем свидетельствует специфика их регистрации в природных и техногенных экотопах на территории центральных улиц промышленного города. Отмечен высокий научно-прикладной интерес к *E. vulgare, C. intybus* и *T. major* в экологических исследованиях и представлено обоснование необходимости фитоиндикационной апробации для экотопов Донбасса. Природный

структурный полиморфизм и гетерогенность строения в контрастных геохимических условиях произрастания видов существенно различаются, что является основанием к рекомендации апробации этих видов в фитоиндикационных мониторинговых исследованиях в Донецкой области.

В числе информативных показателей, которые апробированы для фитоиндикационной оценки урбанистических экотопов города по блокам нами были выделены следующие: структурные показатели листовой пластинки (коэффициент асимметрии верхушки листовой пластинки, ее площадь, устьичный индекс); архитектоника побеговой системы (количество модусов в порядке ветвления побега, его удельная длина); доказано, что состояние пыльцевых зерен может иметь большое индикационное значение; по полученным данным можно предположить, что существует связь между наличием токсической нагрузки (в данном случае для пробных площадей с повышенным уровнем антропогенной нагрузки) и структурными характеристиками пыльцевых зерен; соотношение типологических структур плодов указывает на то, что структурная разнокачестенность плодов по указанным признакам может рассматриваться как критерий антрпотолерантности и информативный фитоиндикационный показатель; на основании выявленных тенденций трансформации семенного материала в сторону деградативных процессов можно констатировать положительную корреляцию между увеличением техногенной нагрузки на среду и качеством зародышей.

Составлены фитоиндикационные шкалы: на основании полученных данных и существующих принципов шкалообразования для определения экологической пластичности вида и экологических режимов мест произрастаний растений, нами была разработана унифицированная интегральная шкала индикационной значимости *Ehium vulgare* с учетом четырех коэффициентов: асимметрии верхушки листовой пластинки, удлиненности листовой пластинки, нарушения строения цветков и изменение площади листовой пластинки. Шкала позволяет, установив несколько показателей изменения структуры *E. vulgare,* определить состояние исследуемого эдафотопа. При необходимости аддитивности шкала может быть переформатирована в 10 и 100-балльные варианты; фитоиндикационная значимость *Tragopogon major* и *Cichorium intybus* в условиях разных техногенных нагрузок может быть представлена нами в следующем перечне информативных характеристик в спряженных группах: 1) степень дефектности пыльцы, показатель гетерокарпии; 2) частота встречаемости фертильных пыльцевых зерен, абсолютная длина плодов, индекс вариабельности скульптуры поверхности плода; 3) частота встречаемости несформированного зародыша, ширина плодов в зоне максимального расширения и индексы тератологичекой син- и схизокотилии. Эти данные при наличии знаний о специфике промышленной нагрузки можно использовать и при реализации программ сопряженного альтернативного мониторинга, расширенного по времени сбора материала, а также при дифференцированном подходе при оценке специфики антропопрессии на природные урбанистические территории.

УДК 504.054

ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

Ярошева О.И.
Донецкий национальный университет экономики и торговли им. М. Туган-Барановского
Physics@kaf.donnuet. dn. ua

На современном этапе развития общества стала очевидной необходимость изменения индустриальной парадигмы развития общества на экологический императив путем революции в мировоззрении и духовной жизни всего общества. Главная особенность современного исторического этапа заключается в том, что для продолжения своей истории человеку необходимо научиться согласовывать не только локальную, но и глобальную деятельность с потребностями природы; устанавливать твердые рамки своего развития, своей деятельности, согласовывать их с развитием биосферы. Рост масштабов хозяйственной деятельности человека, бурное развитие научно-технической революции усилили негативное влияние на природу, привели к нарушению экологического равновесия на планете. Выросло потребление в сфере материального производства природных ресурсов. За годы после второй мировой войны было использовано столько минерального сырья, сколько за всю предыдущую историю человечества. Поскольку запасы угля, нефти, газа, железа и другой полезных ископаемых не возобновляемые, они будут исчерпаны, по расчетам ученых через несколько десятилетий. Но даже и те ресурсы, которые постоянно возобновляются быстро убывают. Наша планета никогда раньше не поддавалась таким физическим и политическим перегрузкам, которые она испытывает на рубеже XX-XXI веков.

Мировое сообщество не может продолжать развиваться, ориентируясь только на удовлетворение своих собственных и к тому же явно завышенных потребностей. Теперь необходимо также учитывать и возможности окружающей природной среды, а точнее биосферы, в которой существует общество. Обеспечение рационального использования природных ресурсов, сохранения и возобновления природной среды является одной из важнейших проблем человечества. Для обеспечения безопасности развития человечества в третьем тысячелетии необходимо осуществить целый комплекс программ в экономической, экологической, социальной, политической, технологической, идеологической и других областях.

Человеческое общество влияет на окружающую среду главным образом в процессе производственной деятельности. Основной сферой и формой общественного производства является природопользование.

Украина принадлежит к государствам с высоким уровнем негативных экологических последствий производственной деятельности.

Добыча ископаемых ресурсов и их переработка сопровождаются многократным увеличением количества отходов. Ежегодно на планете добывается более 100 млрд. т ископаемых, но в конечную продукцию из них

переделывается приблизительно 5–10 %. В итоге нарушаются огромные участки поверхности суши, вытесняются из своих экологических ниш виды растений и животных, нарастает загрязнение среды существования. Нахождение наиболее приемлемых форм сосуществования человека и природы это прежде всего контроль за рациональным использованием природных ресурсов. Развитие рационального природопользования – один из важных факторов преодоления глобального экологического кризиса и перехода от современного индустриально – потребительского общества к ноосферной, экологической цивилизации.

Одним из направлений решения экологических проблем предлагается создание такой системы планирования, стимулирования и управления природопользованием, чтобы нерациональное природопользование было экономически убыточным и наоборот – предприятия, которые выполняют правила научно-обоснованного природопользования получали бы дополнительный доход. Как известно, предлагаются различные методы практического решения проблем рационального использования и охраны природы. Целесообразно назвать такие: технико-технологический, административно-правовой, образовательно-воспитательный.

Технико-технологическое направление заключается в обосновании и разработке технологий производственных процессов, схем и систем производства, которые обеспечивали бы экономное, комплексное использование природных ресурсов, и минимально влияли на закономерные процессы в природных экосистемах. Осуществление этого направления связано в первую очередь с использованием новейших научно-технических достижений, изобретений. Он требует коренной перестройки производственно-технологических процессов. Это длительный процесс, требующий значительных финансовых расходов и соответствующего уровня общественного сознания.

Административно-правовая регуляция природопользования заключается в создании законодательной основы и системы правовых норм и административных ограничений, направленных на соблюдение принципов рационального природопользования и охраны природной среды. .

Образовательно-воспитательное направление предусматривает создание системы экологического образования и воспитания членов общества. Все методы перехода к рациональному природопользованию осуществляет человек, поэтому последовательное формирование знаний о закономерностях взаимодействия общества и природы, принципов рационального природопользования; формирование мировоззренческих убеждений, что природа это тот дом, в котором живет человек, и сохранение этого дома является необходимым условием выживания человечества.

Рядом с новой модернизацией экономики обществу необходимо создать новую культуру взаимоотношений как между людьми, так и с природой, частью которой является человек. Сейчас речь идет об изменении системы ценностей, в том числе и мировоззренческих, вхождение в новое мировоззрение – экологическое. Все более актуальной становится

необходимость перехода от современного индустриально – потребительского общества к экологической цивилизации. Большое количество исследователей считают, что экологический кризис – это, в первую очередь, кризис мировоззрения, философско-идеологический кризис. Гуманистическая парадигма культуры, которая основана на антропоцентризме, исчерпала себя и перед угрозой нарастающей опасности экологической катастрофы требует рационального изменения. К сожалению, в структурах законодательной и исполнительной власти пока нет полного и четкого осознания экологической опасности. Это во многом обусловлено сформированным антропоцентристским менталитетом этих структур. Антропоцентристское экологическое сознание пронизывает все сферы деятельности человека: хозяйственную, политическую, образовательную и др. В экономических расчетах при планировании нового производства учитываются его рентабельность, конкурентоспособность, другими словами, в центр внимания поставлены факторы полезности для человека; благополучие же мира природы вообще выносится за рамки анализа.

Однако, только путем экологизации всей человеческой деятельности, а главное, человеческого мышления, то есть путем формирования экологического мировоззрения, экологической культуры общества, возможно достичь разумного взаимодействия общества и природы. Таким образом, с развитием цивилизации на определенном ее этапе у всего человечества появляется некоторая общая цель – обеспечение возможности коэволюции человека и природы, их общего развития. Без соответствующей образовательной и воспитательной работы, формирования экологически сознательного общества, человек-специалист не в состоянии осуществлять ни административно-правовую регуляцию природопользованием, ни соответствующую перестройку производственно-технологических процессов. Формирование нового человека, который, в отличие от нынешнего, который относится к виду homo sapiens, может быть зачислен в вид homo ecologus – важное условие перехода к рациональному природопользованию и преодолению глобального экологического кризиса.

Необходимо сформировать новые нормы и правила жизни людей на нашей планете, когда природопользование будет основываться не только на экономических принципах, но и на принципах медицинской целесообразности, когда интересам здравоохранения и окружающей среды будет предоставляться преимущество перед производственно-экономической рентабельностью.

1. Данилов-Данилян В.И. Возможна ли коэволюция природы и общества? // Вопросы философии. – 1998. – № 8. – С. 15-25.
2. Киселев Г.С. Кризис нашего времени как проблема человека // Вопросы философии.- 1999. – №1. – С. 40-50.
3. Уорд Б., Дюбо Р. Земля только одна. – М.: Прогресс, 2001. – 319 с.
4. Урсул А.Д. Путь в ноосферу: концепция выживания и устойчивого развития цивилизации. – М.: Луч, 1993. – 248 с.

УДК 504.75.06

ФОРМИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МЕНЕДЖМЕНТА НА ПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ В УСЛОВИЯХ МОДЕРНИЗАЦИИ ЭКОНОМИКИ

Беляева А.В., Ульяницкая О.В.
Донбасский государственный технический университет
anastasiy.belyaeva93@mail.ru

В условиях модернизации экономки целесообразно при управлении предприятием рассматривать его как элемент эколого-экономической системы, в таком случае появляется возможность для анализа и оценки экологической составляющей подсистем промышленного предприятия, представляющей совокупность элементов подсистем предприятия, которые прямо или косвенно оказывают (способны оказать) влияние на состояние окружающей природной среды. Анализ существующих теоретических и методологических разработок в области теории систем, экономики природопользования, теории управления и менеджмента позволит выявить наиболее существенные факторы воздействия окружающей среды на функционирование промышленного предприятия и рассматривать его как элемент эколого-экономической системы [2].

Экологический менеджмент как система управления промышленным предприятием обеспечивает нахождение реальных, экономически целесообразных для предприятия вариантов реализации эколого-социальных потребностей социума. Внедрение экологического менеджмента, дает предприятию инструмент, с помощью которого оно может более эффективно и результативно управлять всей совокупностью своих источников и факторов воздействия на окружающую среду, а также приводить свою деятельность в соответствие с разнообразными экологическими требованиями, тем самым обеспечить свою эколого-экономическую устойчивость [4].

Разработка и внедрение на предприятии системы экологического менеджмента, это длительный и многоэтапный процесс. В работе осуществлена систематизация этапов его формирования и становления, а также определены мотивационные условия его внедрения.

Внедрение экологического менеджмента на предприятии основывается на общем подходе использования стандарта ISO 14001, но каждое предприятие вырабатывает собственную стратегию. Проведенный анализ внедрения экологического менеджмента и полученных результатов более чем на 40 предприятиях страны позволил выделить три основные стратегии использования стандарта ISO 14001 российскими предприятиями, отличающиеся уровнем целей и задач, требуемыми ресурсами и объемом работ, а также основными возможностями демонстрации и практического использования достигаемых результатов [1, 3]:

- Применение предприятием стандарта ISO 14001 в целях создания СЭМ третьей стороной;

- Применение предприятием стандарта ISO 14001 в целях создания на предприятии эффективно действующей СЭМ;

- Применение стандарта ISO 14001 в целях создания и использования СЭМ как инструмента, позволяющего предприятию достигать и демонстрировать последовательное улучшение во всех экологических аспектах деятельности, где это практически достижимо.

- Интеграция системы экологического менеджмента в общую систему управления организацией имеет очень большое значение, поскольку фактор окружающей среды – один из важнейших внешних факторов, оказывающих влияние на предприятие. Система экологического менеджмента без взаимодействия с другими системами (подсистемами) управления предприятием не будет эффективной [5].

Определяющее значение имеет доступность экологического менеджмента для большинства существующих предприятий, в первую очередь, связанная с широким использованием разнообразных малозатратных и беззатратных методов и средств решения экологических проблем. Практикой экологического менеджмента доказана возможность снижения отрицательного воздействия на окружающую среду на 20–40% для любого действующего предприятия на основе использования только малозатратных и беззатратных подходов, методов и действий. Эти подходы и методы чрезвычайно просты, понятны и доступны для любого предприятия.

Чтобы улучшить экологическую политику предприятия целесообразным является внедрение системы экологического менеджмента на предприятии, основополагающими положениями которой являются формирование экологической политики, планирование мероприятий по снижению вредного воздействия на окружающую среду, При разработке мероприятий рекомендуется применение метода экологического картирования площадок предприятия, внутренние аудиты СЭМ проводятся специалистами в рамках аудитов системы менеджмента качества и в составе соответствующих аудиторских групп [1, 2].

Для совершенствования системы экологического управления в нашем регионе необходимо провести ряд следующих мероприятий, а именно:

- разработать и внедрить механизмы и средства, которые бы помогали находить баланс природоохранных расходов и выгод для того, чтобы поддержать разработчиков экологической политики в разработке в установлении ими реальных экологических приоритетов;

- внедрить механизмы и процедуры, которые бы сделали возможным рассмотрение комплекса экологических влияний решений и деятельности начиная с определения приоритетных областей;

- принять стратегии постепенного приближения к развитию экологических институций, а не механическое копирование существующего комплекса зарубежных моделей.

Внедрение отмеченных мероприятий способно сыграть исключительную роль в условиях выхода нашей республики из социально-экономического кризиса при крайней ограниченности финансовых и материальных ресурсов для решения экологических проблем.

1. Артемова О.В. Стабилизация и экономический рост в условиях цик личности (макро-экономический подход): Монография. – Челябинск: Че-ляб. Дом печати, 2011. – 296 с.
2. Бобылев С.Н., Ходжаев А.Ш. Экономика природопользования: Учебное пособие. – М.: ТЕИС, 2010. – 272 с.
3. Климова Ю.В. Экономические регулятивы устойчивого развития социоэкосистем// Устойчивое развитие: экология и управление природопользованием / Сб. статей. -М.; Изд-во РАГС, 2012. – С.3-16.
4. Масленникова И.С., Николаев А.С., Пшенин В.Н. Экологически-ориентированное управление предприятием. Сегодняшние проблемы и перспективы совершенствования // Экономика, экология и общество России в 66. XXI столетии: труды 3-й междунар. науч. практ. конф. – СПб.: изд-во1. СПбГТУ, 2011. – С.979.
5. Пахомова Н.В., Рихтер К.К. Экономика природопользования и охрана окружающей среды: Учеб. пособие. – СПб.: Изд-во С.- Петерб. ун-та, 2010. – 220 с.

УДК 669.162

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АЭРОДИНАМИКИ БУРОГО ДЫМА ПРИ ПЕРЕЛИВАХ ЧУГУНА ИЗ МИКСЕРА В КОВШ С УЧЕТОМ СТРУЙ АЗОТА

Бодряга В.В., Бондаренко В.И., Белоусов В.В., Недопекин Ф.В., Прохоренко С.Ф.
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк
vvbod@yandex.ru

Подавляющее большинство процессов в металлургическом производстве сопровождаются явлениями, крайне неблагоприятными в экологическом отношении. В частности, перелив чугуна из миксера в ковш, характеризуется интенсивным образованием бурого дыма. Перспективным методом борьбы с выбросами является замещение атмосферного воздуха в ковше каким-либо инертным газом, осуществляемое путем подачи струй этого газа в полость коша [1].

Эффективность данного метода существенным образом зависит от характера и особенностей аэродинамических процессов, развивающихся под воздействием струи азота и чугуна. Для рационального управления механизмом подавления выбросов бурого дыма необходимо знать распределения газовых потоков в ковше в зависимости от различных конструктивных параметров.

Объектом моделирования являются аэродинамические потоки в ковше (350 т), обусловленные эжектирующим влиянием падающей заливочной струи чугуна и вдуванием азота через сопла, расположенные на верхнем срезе ковша.

Наиболее эффективным методом решения задачи является математическое моделирование. Предположим, струя металла падает отвесно вдоль вертикальной оси ковша и имеет идеальную цилиндрическую форму, а поверхность расплава в ковше плоская. Модель формулировалась для цилиндрической области, имеющей вертикальную симметрию вдоль оси z, ограниченной справа стенкой ковша, слева струёй металла, зеркалом металла

в ковше снизу и верхней кромкой ковша сверху (область $A_1 A_2 A_3 A_4$ на рис. 1) [2]. Математическая модель описывается в переменных вихрь ω, функция тока ψ, где $\omega = -\Delta\psi$.

$$\frac{\partial}{\partial t}\left(\frac{\omega}{r}\right) + v_r \frac{\partial}{\partial r}\left(\frac{\omega}{r}\right) + v_z \frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{\omega}{r}\right) = \frac{\nu}{r^3}\frac{\partial}{\partial r}\left[r^3 \frac{\partial}{\partial r}\left(\frac{\omega}{r}\right)\right] + \nu \frac{\partial^2}{\partial z^2}\left(\frac{\omega}{r}\right),$$

$$\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(\frac{1}{r}\frac{\partial\psi}{\partial r}\right) + \frac{1}{r^2}\frac{\partial^2\psi}{\partial z^2} = -\frac{\omega}{r}, \qquad v_r = -\frac{1}{r}\frac{\partial\psi}{\partial z},\ v_z = \frac{1}{r}\frac{\partial\psi}{\partial r},$$

где v_r, v_z – радиальная и вертикальная скорость, соответственно; ω – вихрь скорости; ψ – функция тока; r, z – радиальная и вертикальная координаты, соответственно. Система уравнений замыкается краевыми условиями.

Подача нейтрального газа может сильно изменить характер движения газов в объеме ковша. Изменяя такие параметры как угол наклона сопел, скорость истечения и расход нейтрального газа, можно достичь максимальной эффективности процесса пылеподавления.

Особенностью разрабатываемой математической модели для определения оптимальных параметров подачи нейтрального газа, является граничные условия, имитирующими ввод струи нейтрального газа в объем ковша на расстоянии от струи металла равном радиусу эффективного смешения потоков азота (рис. 2). Радиус эффективного смешения рассчитывался по формуле:

$$r_1 = R\,\mathrm{tg}\beta$$

где r_1 – радиус эффективного смешения струй нейтрального газа, м; R – радиус ковша, м; β – угол бокового расширения струи газа, истекающего из сопла.

Скорость потока нейтрального газа раскладывалась на расстоянии на горизонтальную и вертикальную составляющую по перпендикулярным друг другу и соосным струе металла кольцевым поверхностям.

Вертикальная – образует коаксиальное кольцо около струи чугуна, горизонтальная – примыкает к нему и перпендикулярна оси Oz (рис. 2). Суммарный импульс газа на выходе сопел равен импульсу потока, пересекающего вертикальное и горизонтальное кольца.

Площади эквивалентных колец:
вертикального –

$$S_1 = 2\pi r_{эф} \triangle z,$$

горизонтального –

$$S_2 = \pi \triangle r\left(2r_{эф} + \triangle r\right),$$

где $r_{эф}$ – радиус эффективного смешения вдуваемых встречных струй, зависящий от угла расширения струй β (рис. 3).

Размеры колец $\triangle z$ и $\triangle r$ определяются как:

$$\triangle z = R_0 \frac{2\sin\beta}{\sin(\alpha+\beta)}\sin\alpha; \qquad \triangle r = R_0 \frac{2\sin\beta}{\sin(\alpha+\beta)}\cos\alpha\ .$$

Скорость потоков через S_1 и S_2:

$$V = \frac{Q}{S_1 + S_2}.$$

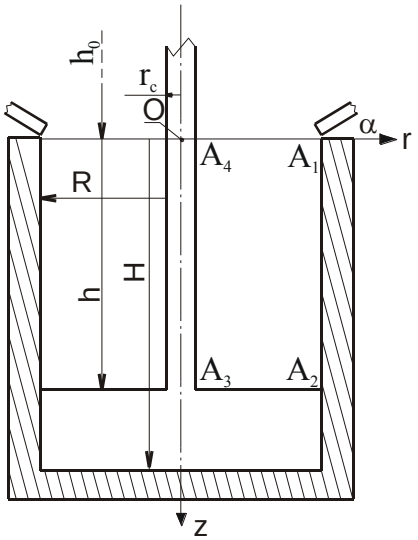


Рис. 1. Область моделирования

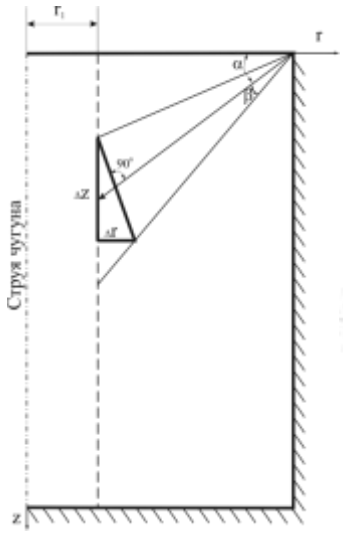


Рис. 2. Схема расчета колец для имитации подачи азота (вид сбоку)

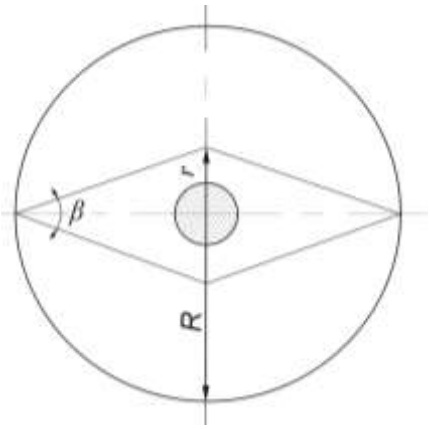


Рис. 3. Схема расчёта радиуса эффективного смешения

Ввод в расчетный алгоритм этих потоков осуществляется на каждой итерации при решении уравнения Пуассона назначением в соответствующих Δz и Δr участках расчетной сетки численных значений ψ, которые в соответствии с (2) дают здесь определенную выше эквивалентную скорость струйных потоков. Компоненты скорости и V_r и V_z при данной постановке задачи следует принимать, как средние по контурам $2\pi r$ для любого z.

Разработана математическая модель процесса эжекции воздуха при заливке чугуна из миксера в ковш с учетом воздействия симметрично расположенных вдуваемых струй нейтрального газа. Проведен учет влияния вдуваемых струй путем задания исходного импульса внутри ковша, где происходит встречное взаимодействие струй.

Разработана математическая модель процесса эжекции воздуха при заливке чугуна из миксера в ковш с учетом воздействия симметрично расположенных вдуваемых струй нейтрального газа. Проведен учет влияния вдуваемых струй путем задания исходного импульса внутри ковша, где происходит встречное взаимодействие струй.

1. Кравец В.А. Подавление бурого дыма при переливах чугуна: Монография // В.А.Кравец. – Донецк: Издательство «УкрНТЭК», 2002. – 186 с.
2. Недопекин Ф.В. Повышение экологической безопасности при переливах чугуна путем учета влияния аэродинамики выбросов // Ф.В.Недопекин, В.В.Белоусов, В.А.Кравец, В.В.Бодряга / Металлургическая теплотехника, 2007. – С.187-192.
3. Недопекин Ф.В. Учет струи азота при моделировании факела выбросов при переливах чугуна // Ф.В. Недопекин, В.А. Кравец, В.В. Белоусов и др. / Матеріали IV міжнародної конференції Прикладні проблеми аерогідромеханіки та тепломасопереносу: – Дніпропетровськ, ДНУ, 2012. – С. 225-227.

УДК 550.42:553.93/94

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СУЛЬФИДНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В УГЛЯХ И ОТХОДАХ УГЛЕОБОГАЩЕНИЯ ДОНБАССА

Власов П.А.
Республиканский академический научно-исследовательский институт горной геологии, геомеханики, геофизики и маркшейдерского дела (РАНИМИ), г. Донецк
pasha_shakhtyor@mail.ru

Добыча и обогащение углей сопровождается накоплением большого количества твердых и жидких отходов горного производства в виде терриконов, шламоотстойников, золонакопителей. Миллионы тонн отходов добычи и обогащения углей являются источником токсичных элементов, ухудшающих экологию Донбасса. С другой стороны, отходы представляют собой техногенные месторождения редких элементов и строительных материалов. Поэтому изучение закономерностей распределения «малых» элементов в углях и отходах углеобогащения на сегодняшний день является актуальной задачей.

Аномалии сульфофильных элементов в углях (Zn, Cd, Hg, Pb, As, Sb, Te и Se) в основном имеют постгенетическую гидротермальную природу и обусловлены поступлением этих элементов с гидротермальными растворами вдоль сместителей тектонических нарушений и в зонах дробления углепородного массива.

При формировании карбоновых торфяников наряду с гидротермальным процессом также играло незначительную роль образование горючих газов (в частности сероводорода) и последующие химические реакции их с неорганическим веществом торфяников с образованием сульфидов железа, меди, цинка, свинца, ртути, мышьяка и др. Разница между сульфидными минералами сингенетического (сероводородного) и эпигенетического (гидротермального) происхождения состоит в том, что сингенетические минералы, образовавшиеся при формировании торфяников, в углях и вмещающих породах имеют вид линз, желваков и сплошных агрегатных масс, а эпигенетические минералы встречаются в виде жил, прожилок, кристаллических включений, друз и монокристаллов.

Распределение цинка в пределах угольного пласта конкретного месторождения коррелируется с зольностью и сернистостью угля [1, 2]. Сульфофильные свойства цинка обусловливают концентрацию его в сульфидах. Вследствие существенной доли в цинконосных углях сульфидной формы цинка, обогащение углей могло бы служить средством снижения экологической опасности. Однако, если в углях доминирует микроминеральная сульфидная форма, обогащение окажется неэффективным.

Ртуть – элемент первого класса опасности, входящий в группу наиболее активных загрязнителей почв и других компонентов окружающей среды. Она имеет высокие миграционные свойства. В периоды тектонической активизации ртуть поступала из мантии по глубинным

разломам и образовывала не только ртутные месторождения, но и рассеивалась в породах угленосной толщи.

Существует эмпирическая закономерность: чем выше сернистость углей, тем выше в них содержание ртути. Это связано с тем, что пирит не только главный концентратор, но и главный носитель ртути, т.е. пиритная ртуть дает наибольший вклад в валовое содержание ртути. В углях Донбасса ртуть имеет как сингенетическое, так и эпигенетическое накопление.

В углях, особо обогащенных ртутью, концентратором ее может быть не только пирит, но и собственный сульфид – киноварь (HgS), а также сульфиды мышьяка, свинца и цинка [3].

Многолетнее сжигание и коксование углей Донбасса, зараженных ртутью, привело к формированию огромных площадных геохимических аномалий ртути в почвах, особенно вблизи коксохимических заводов, а также в жилых районах одноэтажной застройки с печным угольным отоплением [4]. Дополнительным источником заражения почв ртутью являются горящие терриконы и золошлаковые отходы ТЭС.

Ртуть и её соединения относятся к весьма токсичным веществам, к тому же обладающим мутагенными свойствами. Токсичность Hg связана с ее действием на нервную систему и внутренние органы человека.

Свинец очень хорошо определяется в массовых эмиссионных спектральных анализах золы углей, поэтому данные о его содержаниях весьма многочисленны. Свинец – гораздо более слабый мигрант по сравнению с цинком из-за эффективности не только сульфидного, но и сульфатного, карбонатного и даже фосфатного барьеров. Литофильность свинца ведет к накоплению его в глинистом веществе – в гидрослюдах. Это означает, что обогащение энергетических углей по сере и золе должно стать достаточно эффективным средством снижения содержания в них свинца, но будет определяться свойствами конкретного угля. Значительная часть свинца накапливается в тяжелых фракциях некоторых углей Донбасса до 1 % [5].

Два свойства делают мышьяк «элементом № 2» (после ртути) в экогеохимии углей: высокий угольный кларк и токсичность. Поэтому к мышьяку (как и к ртути) в настоящее время уделено основное внимание специалистов, занятых изучением геохимии и процессов промышленного использования углей. Содержания мышьяка в углях лимитируются вследствие его вредности в процессах использования технологических или энергетических углей. Как элементарный мышьяк, так и в особенности его оксид As_2O_3 относятся к числу высокотоксичных компонентов углей. Мышьяк обладает целым набором опасных свойств: он является канцерогеном и мутагеном, вызывает опасные заболевания кожи, дыхательной и пищеварительной систем человека.

Сурьма в углях накапливается как сингенетически, так и эпигенетически. В углях Донбасса резко доминирует эпигенетическая (гидротермальная) форма накопления сурьмы. Эмиссия сурьмы и ее токсичность создают определенные экологические проблемы, а ее токсичность влияет на нервную и сердечно-сосудистую системы человека.

Сурьма генетически связана с серой, ртутью и мышьяком. Кроме изоморфного замещения ртути и мышьяка сурьма также образует

собственный сульфид антимонит. Этот минерал иногда встречается среди тектонических трещин и в зонах повышенной сульфидной минерализации угольных пластов в шахтах Горловки, Дзержинска, Енакиева и Макеевки в виде сплошных минеральных масс, корок, налетов и очень редко кристаллов.

Выводы. Анализ площадного распространения аномалий Zn, Cd, Hg, Pb, As, Sb, Te и Se в пределах шахтных полей показал, что ртуть и мышьяк имеют сходные особенности распределения. К полям высоких содержаний ртути и мышьяка относятся и повышенные концентрации цинка. Пространственное распределение сурьмы отличается от распределения ртути, мышьяка и цинка.

Сульфофильные свойства Zn, Cd, Hg, Pb, As, Sb, Te и Se обуславливают концентрацию их в сульфидах (в основном в пирите). Кроме того, цинк, ртуть, свинец, мышьяк и сурьма образуют собственные сульфиды в углях и вмещающих породах: киноварь, аурипигмент, реальгар, антимонит, сфалерит, галенит и др. Селен, теллур и кадмий изоморфно связаны с сурьмой и цинком. Та же сурьма, в свою очередь, которая образует собственный сульфид – антимонит, изоморфно связана с ртутью.

Обогащение энергетических и коксовых углей по сере и золе должно быть достаточно эффективным снижения содержания в них сульфидов, что понижает экологическую опасность их использования, но присутствие микроминеральной формы исследованных элементов снижает эффективность их удаления из углей.

1. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Токсичные элементы-примеси в ископаемых углях. – Екатеринбург, УрО РАН, 2005. – 654 с.
2. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Ценные элементы-примеси в углях. – Екатеринбург, УрО РАН, 2006. – 538 с.
3. Дворников А.Г. Ртутоносность углей Донецкого бассейна / А.Г.Дворников, С.И.Кирикилица. – М.: Недра, 1987. – 155 с.
4. К геоэкологии Донецкого каменноугольного бассейна / Б.С.Панов, О.А.Шевченко, А.М. Дудик [и др.] // Изв. вузов. Геол. и разведка. – 1998. – № 5. – С. 138-145.
5. Юровский А.З. Минеральные компоненты твердых горючих ископаемых. М.: Недра, 1968. 214 с.

УДК 620.9:662.7

ОСНОВЫ НОВОЙ КОНЦЕПЦИИ МАВЭ О ВОДОРОДНОЙ ЦИВИЛИЗАЦИИ БУДУЩЕГО

Гольцов В.А., Гольцова Л.Ф.

ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк,

goltsov@physics.dgtu.donetsk.ua

В XX веке полностью сформировалась экономика, основанная на ископаемых топливах (прежде всего на нефти и природном газе). Наряду с перманентным достижением успехов, экономика нефти и газа постепенно и неотвратимо ведет человечество к общемировой экологической катастрофе (парниковый эффект, озоновые дыры, кислотные дожди и т.д.) и глобальным

геополитическим потрясениям (из-за ограниченности мировых запасов нефти и газа и неадекватного восприятия угрозы мировой экологической катастрофы).

В разгар энергетического кризиса 70-х годов XX столетия по инициативе “водородных романтиков” была образована (1974 г., Президент-основатель профессор T.N. Veziroğlu) Международная ассоциация водородной энергетики (МАВЭ) со штаб-квартирой в Институте чистой энергии Майамского университета (США), которая приступила к изданию международного журнала “The International Journal of Hydrogen Energy” [1] и стала проводить Всемирные конференции по водородной энергетике [2]. В эти же годы в СССР стал интенсивно разрабатываться более широкий энерготехнологический вариант водородной концепции, а именно “Атомно–водородная энергетика и технология”. Концепция была поддержана на государственном уровне, и СССР вошел в МАВЭ. Ежегодно стали публиковаться сборники обзорно–аналитических и научно-технических работ (каждый сборник объемом 230–250 страниц) [3], стали проводиться Всесоюзные конференции и семинары (Москва, Донецк), Всесоюзные молодежные школы (Донецк, Ионава, Тула и т.д.), в каждой из которых принимали участие от 250 до 500 ученых, инженеров, руководителей производства.

В 70–80-х годах XX века концепция водородной энергетики была полностью разработана и детализирована, был осуществлен ее наукометрический анализ и разработана ее структура (сноски см. в [4]). Далее под влиянием начавшейся коммерциализации водородной техники и водородных технологий (водородные автомобили, топливные элементы, водород–никелевые батареи, усовершенствованные электролизеры и т.д.), концепция *водородной энергетики* трансформировалась и утвердилась концепция *водородной экономики*.

В конце XX века для специалистов уже стало совершенно очевидным, что в XXI веке произойдет эпохальная смена основного энергоносителя: ископаемые топлива будут постепенно вытесняться новым экологически чистым энергоносителем – водородом. *При этом в жизни человечества неизбежно произойдут основополагающие и материальные, и духовные изменения. Осмысление этого планетарного процесса с позиции учения Вернадского привело к зарождению и развитию новой крупномасштабной Концепции МАВЭ о водородной цивилизации будущего* ([4–7] и сноски в этих работах).

Концепция водородной цивилизации (далее Концепция) состоит из трех взаимозависимых и взаимообусловленных составляющих: индустриально–экологической, гуманитарно–культурной, геополитической – международно–правовой.

В основе первой из них (индустриально–экологической) лежит учение Вернадского о биосфере, а в своем развитии она, кроме того, опирается на синергетику – современную науку о развитии сложных, открытых, самоорганизующихся систем, каковой является биосфера.

Гуманитарно–культурная составляющая Концепции исходит из учения Вернадского о ноосфере и его культурно–философского наследия, а в своем развитии она опирается на современные достижения философии, культурологии и других гуманитарных дисциплин. В частности, Концепция осмысли-

вает и раскрывает вопрос о соотношении и взаимосвязи теории перехода к водородной цивилизации и синергетической концепции мироздания. Историческая задача Концепции в ее гуманитарно-культурном аспекте состоит в формировании массового водородно-экологического и ноосферного сознания населения отдельных стран, а затем и всего человечества, которое позволит принять новую парадигму качества жизни и послужит гуманитарно–культурной основой для введения в жизнь мирового сообщества законодательно–экономического механизма перехода в эру водородной цивилизации.

Геополитическая – международно–правовая составляющая Концепции утверждает правомерность и неизбежность возникновения в мировом сообществе глобальных и локальных геополитических и геоэкономических противоречий в процессе исторически длительного перехода в эру водородной цивилизации. Концепция обосновывает приоритетность международно–правовых подходов, методов и норм для разрешения геополитических и геоэкономических противоречий и конфликтов, прежде всего, под эгидой ООН и ее структурных организаций (УНИДО, ЮНЕСКО и т.д.).

Концепция МАВЭ формулирует этапы цивилизационного процесса, которые начнут осуществляться в XXI веке, и раскрывает законодательно–экономический механизм перехода к водородной цивилизации.

Итак, фундамент новой Концепции Международной ассоциации водородной энергетики о будущем переходе человечества в эру водородной цивилизации уже заложен. Концепция носит явно выраженный программный характер. Она была одобрена на заседании Совета директоров МАВЭ, состоявшемся в Монреале 10 июня 2002 г. во время 14-й Всемирной конференции по водородной энергетике (Канада, Монреаль, 8–10 июня 2002 г.), и рекомендована для представления мировому водородному движению в качестве официальной Концепции МАВЭ. Это решение было выполнено в год 30-летнего юбилея МАВЭ во время 15-й Всемирной конференции по водородной энергетике (Япония, Йокогама, 27 июня–2 июля 2004 г.) [2], где Концепция была обнародована (пленарный заказной доклад [5]) перед двумя тысячами делегатов из 52 стран мира.

Концепция утверждает, что принципиальным образом может и должен быть сокращен исторический временно́й интервал, необходимый для достижения первой ступени водородной цивилизации, когда человечество уже сможет избежать мировой экологической катастрофы и сохранить биосферу пригодной для жизни [8]. Основной принцип Концепции утверждает, что это возможно только одним единственным путем, а именно сознательно-настойчивым движением по вектору “Водородная энергетика → Водородная экономика → Водородная цивилизация”.

Дальнейшее развитие и детализация Концепции должны быть (и будут) плодом совместных коллективных усилий, прежде всего, мирового водородного движения, а в последующем потребуются ноосферные усилия всего мирового научного и культурного сообщества [6,7].

В заключение необходимо подчеркнуть, что Концепция является по своей сути оптимистичной и разрабатывает общественный идеал для

оптимистичного ви́дения устойчивого будущего человечества – водородную цивилизацию.

1. Intern. J. Hydrogen Energy. Editor-in-Chief T.N. Veziroğlu. 1975–2016. Vols. 1–43.
2. Hydrogen 2004: Proceedings 15th World Hydrogen Energy Conf. Yokohama, Japan, 27 June–2 July 2004.–CD.
3. Атомно–водородная энергетика и технология / Гл. ред. В.А. Легасов. М.: Атомиздат, 1978–1988, Вып. 1–8.
4. Goltsov V.A., Veziroğlu T.N. // Intern. J. Hydrogen Energy. 2001. Vol. 26. P. 909–915.
5. Goltsov V.A., Veziroğlu T.N., Goltsova L.F. // Hydrogen 2004: Proceedings 15th World Hydrogen Energy Conf. Yokohama, Japan, 27 June–2 July 2004 (CD, No. 30Pl-03, 10 pp.).
6. Гольцов В.А., Везироглу Т.Н., Гольцова Л.Ф. // Вестник водородной экономики и экологии. – Донецк: ДонНТУ–ДонИФЦ ИАУ. 2004. №2. С. 5–14.
7. Goltsov V.A., Veziroğlu T.N., Goltsova L.F. Hydrogen civilization of the future – a novel conception of the International Association for Hydrogen Energy // Intern. Hydrogen Energy Congress & Exhibition, 13–15 July 2005, Istanbul, Turkey.–CD–10 pp.
8. Goltsov V.A., Goltsova L.F. Biosphere synergism and the humankind virtual path to the hydrogen civilization era // Intern. J. Hydrogen Energy. 2014. Vol. 39, Issue 19. P. 9931–9942.

УДК 662.7:620.9

РАСПРЕДЕЛЕННОЕ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕ ПРЕДПРИЯТИЙ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫМИ ЭНЕРГОНОСИТЕЛЯМИ – БУДУЩЕЕ ДОНБАССА

Гольцов В.А., Гольцова Л.Ф., Котельва Р.В.

ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк

Goltsov@physics.dgtu.donetsk.ua

В статье А.И. Иванова и соавторов [1] было предложено решение конкретного вопроса о газоснабжении отдельного промышленного предприятия. В то же время этот вопрос затрагивает глобальную проблему распределенного теплоэнергообеспечения индустрии Донбасса путем производства “на месте” экологически чистого энергоносителя газификацией угля.

Хорошо известно, что устройство и функционирование энергетического сектора промышленности определяется типом экономики, построенной в данной стране. Плановая экономика была нацелена на строительство и эксплуатацию наиболее крупных энергетических агрегатов и производств, которые дают наибольший экономический эффект при рациональной организации энергопотребления одновременно многими потребителями. По этому принципу была построена не только электроэнергетическая система (что естественно), но и, например, газоснабжение, а также теплоснабжение городов. Такой подход оказался неадекватным в условиях перехода к рыночной экономике и вызывает хорошо известные трудности. Например, в одной связке оказываются плательщики и неплательщики за природный газ и т.д. и т.п.

Ориентация теплоэнергетики на природный газ, который является дорогим импортируемым продуктом, ложится тяжелым бременем на экономику предприятий и нашего региона. Вследствие этого распределенное

теплоэнергообеспечение путем производства и потребления “на месте” своего газообразного топлива, полученного газификацией угля – это насущная задача сегодняшнего дня для крупных и средних предприятий Донбасса и для региона в целом.

Уголь как первичный источник энергии и химический реагент занимает важное место в крупномасштабной концепции водородной энергетики [2–4]. При этом важно, что разведанных запасов угля на земном шаре (в отличие от нефти и природного газа) хватит человечеству на достаточно длительный исторический период (по имеющимся оценкам на 300–400 лет).

В то же время уголь как энергоноситель имеет и весьма существенные отрицательные качества. Транспортировка угля на средние и особенно на дальние расстояния существенно дороже транспорта газообразных и жидких энергоносителей. Технические устройства по сжиганию угля и управлению этим процессом менее совершенны, чем таковые для сжигания газообразных топлив [5]. Прямое энергетическое использование угля (его сжигание) сопряжено с нанесением существенного ущерба окружающей среде.

Перечисленные проблемы находят свое положительное разрешение при исходной газификации угля, история которой насчитывает уже более 200 лет [3]. Действительно, во-первых, газификация переводит твердый, трудно транспортируемый энергоноситель в газообразную форму, которая хорошо транспортируется и дает большие технико-экономические преимущества для теплоэнергетических технологий [5]. Во-вторых, находят свое решение экологические проблемы. При этом практически очень важна открывающаяся возможность реализовать постепенное улучшение экологических параметров использования угля как первичного энергоносителя и химического реагента.

Уже на первом этапе реализации технологии газификации угля достигается существенное улучшение экологических параметров использования этого энергоносителя. Действительно, конструкция газогенератора [1] позволяет не выбрасывать в атмосферу твердую составляющую технологического процесса газификации (золу), которая затем может перерабатываться в стройиндустрии, дорожном строительстве и т.д. Уже одно это делает данный технологический подход экологически ощутимо полезным. В этом смысле он может рассматриваться как первый шаг к водородной энергетике [3], так как основными ***горючими*** компонентами генераторного газа являются окись углерода (до 60–20 %) и водород (до 26 % в процессе Лурги, до 30 % в процессе Копперс-Тотцека, до 35 % в методе Винклера и до 56 % в методе Хай-газ). При осуществлении паро-воздушной конверсии [3] генераторный газ содержит также газообразный азот (N_2) и двуокись углерода (CO_2).

В будущем, когда экологические налоги на энергоносители [4] будут приняты, станет экономически выгодным для предприятий использовать дополнительные технологии повышения экологической чистоты продуктов газификации и в пределе получать из генераторного газа технически чистый энергетический водород. Научная сторона этой проблемы в главном уже решена [3]. Сначала паровоздушная конверсия заменяется парокислородной.

Продукты парокислородной конверсии представляют собой смесь H_2, CO и CO_2. Далее из этой смеси CO_2 удаляется и осуществляется реакция сдвига $CO + H_2O = H_2 + CO_2$. Вновь образовавшаяся двуокись углерода из смеси также удаляется, и на выходе получают технически чистый энергетический водород [3]. Необходимо подчеркнуть, что уголь как исходное сырье практически не содержит водорода. Итак, технология газификации с парокислородным дутьем и последующим получением энергетического водорода использует уголь и как энергоноситель, и как химический реагент. Если убрать все промежуточные химические реакции, то процесс в главном сводится к разложению воды с помощью угля на водород и кислород. Кислород связывается с углеродом и удаляется. Конечный продукт – водород – используется как абсолютно экологически чистый энергоноситель.

Таким образом, для угледобывающего Донбасса, как можно образно сказать, открывается своя Донецкая тропа постепенного 10–20-летнего перехода к водородной экономике.

Обсуждаемый подход, естественно, должен планомерно сочетаться с развитием в Донбассе ветроводородной энергетики и солнечно–водородной энергетики, к чему также есть все предпосылки [4].

Созданный в 90-х годах и работавший на угле промышленный газогенератор [1] показал возможность частичной замены импортируемого природного газа на местный газообразный энергоноситель и перспективы улучшения экологических показателей региона уже сегодня, а в будущем – возможность движения к водородной экономике [2–4]. Все это делает необходимым разработку соответствующего инвестиционного проекта по практической реализации распределенного теплоэнергообеспечения индустрии Донбасса. В будущем широкое использование разработанной технологии [1], экономическая эффективность которой для Донбасса очевидна, позволит нашему экологически перегруженному региону найти свою “тропу” постепенного перехода к экологически чистой водородной экономике [2–4]. Технико-экономические, экологические и социальные аспекты перехода человечества в водородную эру рассмотрены в работе [6].

1. Перспективная технология получения заменителя природного газа / А.И. Иванов, В.В. Кравцов, Г.Г. Махов и др. // ВВЭЭ. 2003. № 1. – С. 28–30.
2. Атомно-водородная энергетика и технология. Гл. ред. В.А. Легасов, вып. 1. – М.: Атомиздат, 1978. – 243 с.
3. Введение в водородную энергетику / Э.Э.Шпильрайн, С.П.Малышенко, Г.Г.Кулешов; Под ред. В.А.Легасова. – М.: Энергоатомиздат, 1984.–264 с.
4. Гольцов, В.А. От водородной экономики к водородной цивилизации: планетарные и региональные аспекты трансформации / В.А. Гольцов, Т.Н.Везироглу, Л.Ф.Гольцова // Intern. Sci. J. Alternative Energy and Ecology. 2002. No. 4. P. 7–16.
5. Чепель, В.М. Сжигание газов в топках котлов и печей и обслуживание газового хозяйства предприятий / В.М. Чепель, И.А. Шур; Под ред. И.А. Шура. Изд. 6-е исправл. и дополн. – Л.: Недра (Ленинградское отделение), 1969. – 477 с.
6. Гольцов, В.А. Виртуальный путь человечества в эру водородной цивилизации / В.А.Гольцов, Л.Ф. Гольцова // Энергия. 2015. № 6. – С. 57–64.

УДК 621.791:628.5

УСЛОВИЯ ТРУДА НА МАЛЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Друзь О.Н.
ГОУ ВПО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля»
druz238@gmail.com

Согласно Трудовому кодексу ЛНР [1] каждый работодатель должен обеспечить безопасные условия труда и ознакомить работника с условиями труда под роспись. При наличии вредных и опасных факторов работник должен получать компенсации в виде доплат к заработной плате, дополнительных отпусков, специального питания и пенсионного обеспечения.

Для выполнения требований Трудового кодекса необходимо иметь службу охраны труда и лабораторию для проведения инструментальных измерений на рабочих местах (измерение параметров микроклимата, освещения, шума, вибрации и т.д.).

К сожалению даже на крупных предприятиях, с количеством работающих от 100 до 2000 человек и более не все требования Трудового кодекса выполняются. Это обстоятельство привело к увеличению количества травм, в том числе со смертельным исходом. На сегодняшний день разработана карта условий труда и методика определения физиологических показателей факторов производственной среды и трудового процесса для ее заполнения.

Малые машиностроительные предприятия с численностью персонала до 50 человек согласно нормативным документам должны иметь работника, который на условиях совместительства выполняет обязанности по организации безопасных условий труда. Обследование более 40 малых предприятий Донбасского региона показало следующее:

- организация рабочих мест проводится неудовлетворительно;
- ответственные за организацию охраны труда выполняют свои обязанности номинально.

Применительно к сварочным рабочим местам такое положение приводит к повышенному и скрытому травматизму.

Специфика работы сварщика и газорезчика требует особенно тщательного соблюдения правил допуска к работам и выполнения правил техники безопасности, особенно при сварке резервуаров, цветных металлов и при наплавке.

Основной опасностью для сварщиков и газорезчиков, работающих в необорудованных, узких местах являются токсичные газы и аэрозоли (дым), выделяющихся при сварке, наплавке и резке.

Химический состав газов и аэрозолей зависит от вида работы, состава основных и присадочных материалов и от метода сварки. Например, при газовой сварке в воздухе содержится большое количество двуокиси углерода, превышающее ПДК. При ее вдыхании у сварщика возникают явления удушья, снижается работоспособность, появляется быстрая утомляемость.

При накоплении вредных веществ снижается содержание кислорода и при уровне ниже 17 об. % возникает удушье у сборщика и вспомогательных рабочих. Поскольку уменьшение содержания кислорода для человека незаметно, то единственным критерием служит быстрая утомляемость в работе.

Вредное воздействие сварочных аэрозолей на организм человека отражено в работах [2–4].

При обезжиривании металла и других сварочных материалов не следует применять трихлорэтилен, дихлорэтан и другие хлорированные углеводороды, так как при их соединении с озоном, присутствующим в атмосфере при дуговой сварке возможно образование фосгена.

Из всего вышесказанного можно заключить, что необходимо более тщательно подходить к вопросам охраны труда на малых предприятиях и разработать действенные законодательные меры, которые принудили бы работодателя, прежде всего, ознакомить работника с вредностями данного производства и обеспечить нормальные условия труда в соответствии с нормативными требованиями. Наиболее существенными проблемами в этой области являются не информированность работника о вредных и опасных факторах на рабочем месте, скрытие фактов профессиональных заболеваний и травматизма владельцем малого предприятия и необходимость дополнительных материальных затрат для обеспечения требуемых условий труда.

Выход из данных проблем возможен по следующим основным направлениям:

- ужесточить контроль над обеспечением условий труда и за работой служб охраны труда на малых предприятиях со стороны государственных уполномоченных органов;
- создать организации, куда могли бы обращаться работники различных предприятий с жалобами на не обеспечение норм условий труда и за бесплатными консультациями по любым вопросам охраны труда;
- материально поощрять и заинтересовывать малые предприятия с целью обеспечения норм условий труда.

Выводы. Без владения базой знаний относительно нормирования параметров рабочего места и условий труда работник находится в невыгодных условиях с точки зрения ухудшения своего здоровья. Из-за чего работник даже не может требовать необходимых условий труда.

Для снижения высокого уровня профессиональных заболеваний и травматизма необходимо более серьезное вовлечение государственных органов в решение данной проблемы.

1. Трудовой кодекс ЛНР №22-II от 30.04.2015 г.
2. Гришагин В.М. Сварочный аэрозоль: образование, исследование, локализация, применение: монография / В.М. Гришагин; Юргинский технологический институт. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 213 с. – ISBN 978-5-98298-896-6.
3. Левченко О.Г. Охорона праці у зварювальному виробництві : навч. посібн. для студентів зварювальних спеціальностей / О.Г. Левченко. – К. : Основа, 2010. – 240 с. – ISBN 978-966-699-520-2.
4. Дзыгал Н.Д. Гигиеническая оценка условий труда электросварщиков / Н.Д. Дзыгал, Л.Г. Кондакова, Н.Н. Иващенко [и др.] // Український журнал з проблем медицини праці. – 2006. – №4(8). – С. 11-15.

УДК 574.9:57.045

СИСТЕМА ОЦЕНКА ОПАСНОСТИ ПРИ ЗАГРЯЗНЕНИИ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ПО ДАННЫМ ПРОЯВЛЕНИЯ ТОКСИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА У БИООБЪЕКТОВ

Звягинцева А.В.
ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк
anna_zv@ukr.net

Системный подход в области охраны окружающей среды начал использоваться с начала 70-ых годов. Этому послужила публикация известной работы Ю. Одума «Основы экологии», в которой системный анализ экологических проблем был положен в основу изучения и охраны окружающей среды. В настоящее время загрязнение приземной атмосферы является основным постоянно действующим фактором негативного воздействия как на человека, так и на биосферу в целом и все ее экологические системы. Так, согласно данным ЮНЕП загрязнение атмосферы приводит к смерти 500 тыс. человек в год. Загрязненный воздух служит основной причиной возникновения 4 – 5 млн. новых случаев хронического бронхита ежегодно и многих миллионов случаев других заболеваний. По данным Агенства по охране окружающей среды США факторы окружающей среды играют ведущую роль в развитии 50% всех злокачественных новообразований. Оценка экологической опасности и установление связи между воздействием факторов окружающей среды и негативными эффектами у биообъектов и экосистем в целом является актуальной, так как это одна из основных проблем в области экологической и техногенной безопасности, токсикологии, эпидемиологиии, биологии и т.д.

Целью работы является анализ, систематизация и обобщение основных положений, принципов и подходов, используемых в процессе оценки опасности при загрязнении атмосферного воздуха химическими веществами по данным проявления токсических эффектов у биообъектов.

Процедуры оценки опасности при загрязнении атмосферного воздуха имеют большое значение, так как позволяют предупредить увеличение заболеваемости населения в крупных промышленных городах, сохранить биологические ресурсы промышленных регионов и предотвратить деградацию природных экосистем.

В основе анализируемого подхода лежит оценка опасности событий, связанных с возникновением негативных эффектов у биообъектов при загрязнении атмосферы. В качестве объектов воздействия рассматриваются человек, животные, растения и биосфера. Подход ориентирован на использование сравнительно полной информации о токсическом воздействии веществ на различные организмы в широком диапазоне изменения времени воздействия и концентрации загрязняющего вещества [1 – 5]. В целом существующий подход к оценке опасности обобщен в таблице в таблице.

Таблица

Система оценки опасности при загрязнении атмосферного воздуха химическими веществами по данным проявления токсического процесса у биологических объектов

Характер действия и формы проявления токсического процесса при воздействии	Характеристики и параметры токсического процесса	Оценка опасности токсического действия
1) на человека и животных: – болезни химической этиологии (интоксикации, отравления); – транзиторные токсические реакции (состояния, сопровождающиеся кратковременной утратой дееспособности – раздражение глаз, дыхательных путей); – аллобиоз (стойкие изменения реактивности организма на воздействие факторов среды, психические и физические нагрузки (аллергия, иммуносупрессия, повышенная утомляемость); – специальные токсические процессы (развиваются у части популяции в особых условиях – канцерогенез, эмбриотоксичность, нарушение репродуктивных функций); 2) на растительность: нарушение регуляторных функций биологических мембран, разрушение и подавление синтеза пигментов, инактивация важных ферментов из-за распада белков, подавление фотосинтеза, активация окислительных ферментов и дыхания, увеличение транспирации и изменение соотношения форм воды в клетке, что ведет к нарушению строения хлоропластов, к плазмолизу клетки, повреждению ассимиляционных органов, усилению старения, развитию видимых симптомов повреждения (хлорозы и некрозы) тканей листа.	– по пороговому и беспороговому принципу действия; – по времени (продолжительности) воздействия токсиканта на биообъект (острая, подострая, хроническая формы проявления токсического процесса); – по локализации патологического процесса (местный, общий, смешанный или избирательный характер действия); – по интенсивности воздействия токсиканта, определяющейся дозовременными особенностями действия (тяжелая, средняя и легкая степень тяжести проявления токсического эффекта).	1) по показателям, видам и характеристикам вредности химических веществ: – по лимитирующему показателю вредности; – по специальным видам токсического действия (иммунотоксичность, тератогенез, канцерогенез, мутагенез, влияние на репродуктивную функцию), а также по сенсибилизирующему действию; – по классам опасности / канцерогенности, факторам канцерогенного потенциала SF_i; – по показателям кумулятивности; 2) по продолжительности и порогам вредного действия вещества: – по периодам времени (за ожидаемую продолжительность жизни человека – 70 лет, период усреднения для хронических воздействий для взрослых – 30 лет, для детей в возрасте до 6 лет – 6 лет, для условий кратковременного непрерывного воздействия – от 5 – 30 мин. до 6 – 8 или 24 часов), 10 – 12 % средней продолжительности жизни, т.е. для человека 8 лет, для крыс и мышей – 13 недель; – по порогам: острого, острого избирательного, подострого, хронического общетоксического, хронического специфического, раздражающего, сенсибилизирующего действий; ощущения неспецифического запаха и т.д. 3) по характеристикам и параметрам зависимости «доза-эффект»: – по концентрациям веществ, вызывающим заданный % неблагоприятных эффектов в группе биообъектов (смертность, заболеваемость) при определенной экспозиции (2 – 4 часа – в остром эксперименте; 10 – 15 % времени жизни животного (для белых крыс – 3 мес.) – в хроническом эксперименте для выявления общетоксического действия; не менее трети продолжительности жизни (для наиболее распространенных экспериментальных животных (мыши, крысы) – 12 мес.) – в хроническом опыте для выявления канцерогенного действия и т.д.): CL_{100}, CL_{95}, CL_{50}, CL_{84}, CL_{16}, CL_5, CL_0); – по различным критериям оценки уровней неблагоприятных воздействий: а) по доверительным границам концентрации / дозы, рассчитанной с заданной вероятностью эффекта: порог обнаружения запаха; б) по концентрациям, не вызывающим / вызывающим неблагоприятные эффекты; – по комплексу показателей выражения эффективной токсичности (коэффициент опасности ингаляционного отравления (КВИО), коэффициент вариабельности смертельных концентраций, функция угла наклона кривой смертельных концентраций к абсцисс, величина зоны острого, хронического и биологического действия и т.д.

Положительным фактом данного подхода является его информативность, связанная с использованием обширной информации о различных спектрах негативных воздействий на различных реципиентов.

Основным недостатком подхода является пока что слабая изученность зависимостей «доза-эффект» и существенная неопределенность в данных для многих веществ по отношению ко многим биологическим объектам. Сложность этой задачи связана с необходимостью изучения токсического действия широкого спектра веществ по отношению к человеку, животным и растениям, при самых разных временах и концентрациях действия веществ, а также при изучении различных форм проявлений токсического процесса на разных уровнях организации жизни. Именно поэтому, полная характеристика зависимостей «доза-эффект» существует пока для ограниченного списка веществ. Данный подход использует вероятностную оценку опасности, на основе определения рисков негативных эффектов в зависимости от времени и концентраций воздействия вещества, причем опасность воздействия на биологические объекты определяется исходя из непосредственно нанесенного вреда. Конечным результатом данного методологического подхода является полное представление о негативном воздействии на реципиентов загрязненного большим количеством вредных веществ атмосферного воздуха и оценка рисков негативных эффектов у биообъектов при реализации опасных событий, связанных с загрязнением атмосферного воздуха. Это позволяет разрабатывать мероприятия по охране здоровья населения и уменьшению нагрузки на природно-ресурсный потенциал страны.

1. Звягинцева А.В. Системы оценки опасности при загрязнении атмосферного воздуха: попытка обобщения подходов // Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе. 2014. № 1(6)–2(7). – С. 131 – 163.
2. Николаевский В.С., Николаевская Т.В. Методика определения предельно допустимых концентраций вредных газов для растительности. – М.: МЛИ Госкомплес СССР, 1988. – 15 с.
3. Р 2.1.10.19920-04. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. – 143 с.
4. Куценко С.А. Основы токсикологии. – С.-Пб.: Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова, 2002. – 395 с.
5. Временные методические указания по обоснованию предельно допустимых концентраций (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест. – М.: Минздрав СССР; Главное санитарно-эпидемиологическое управление. Утв. Минздравом СССР 15.06.88, № 4681–88. 1989. – 110 с.

УДК 628.16

УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ БЫТОВЫХ СТОЧНЫХ ВОД

Лучина А.Ю., Недопекин Ф.В., Семко А.Н.
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк
anastasiia.luchyna@gmail.com

Ситуация с природными запасами воды в республике очень сложная, а очищаемые сточные воды недостаточно соответствуют показателям качества и санитарно-гигиеническим нормам [1]. Отечественные канализационные очистные сооружения значительно износились и устарели, на данный момент они являются технологически несовершенными и не обеспечивают выполнение требований, предъявляемых к качеству очистки бытовых сточных вод.

Поэтому возникает необходимость развития технологий и эффективных сооружений для очистки сточных вод от органических веществ и соединений азота биологическим методом, а так же создания методики расчета сооружений биологической очистки, учитывающей качественные и количественные характеристики поверхностного стока.

Для успешного решения задач, связанных с прогнозированием, оперативным управлением и контролем над качеством процесса водоочистки, необходимо комплексное описание гидродинамических, гидрохимических и гидробиологических процессов [2].

Комплексная оптимизация систем водоотведения предполагает определение рационального потокоотведения, размещения аэрационных устройств в очистных сооружениях и определение рациональной степени очистки сточных вод с учетом гидрологических характеристик приемника сточных вод [3].

Основная трудность процесса биологической очистки бытовых сточных вод заключается в том, что удовлетворительную работу очистных сооружений необходимо обеспечить в постоянно изменяющихся условиях их эксплуатации (изменение состава, объема сточных вод, возникающие неполадки в оборудовании и т.д.).

Для удаления из поверхностных сточных вод органических загрязнений и соединений азота в технологической схеме их очистки нередко применяют биологические сооружения. Основным таким сооружением, хорошо зарекомендовавшим себя стабильной работой с высокой степенью очистки, является аэротенк. Сточная вода в аэротенке очищается активным илом, который представляет собой сложный биоценоз различных организмов. Тип аэротенка, технологический режим работы, химический состав поступающей сточной воды оказывают большое влияние на формирование биоценоза аэротенка. Необходимо отметить, что гидродинамика аэротенка также влияет на формирование поля распределения

активного ила, а концентрация активного ила в различных областях аэрационных сооружений и доставка кислорода к хлопкам ила определяют окислительную способность всего объема аэротенка [4].

Для исследования были изучены технологические схемы работы на очистных сооружениях в пгт. Новый Свет (Украина) и в г. Тимашевск (РФ) общей производительностью 6 тыс. $м^3$/сутки и 8 тыс. $м^3$/сутки соответственно [5].

Для определения соотношений циркуляционных потоков в системе аэрационная колонна – аэротенк предлагается математическая модель, позволяющая определить поле скоростей в зависимости от геометрических параметров и глубины расположения циркуляционной колонны в объеме сооружения.

Для этого рассматривается цилиндрическая область, соответствующая геометрическим параметрам внешнего объема, заполненного водой. В этот объем устанавливается колонна цилиндрической формы, жидкость в которой отделена от жидкости в объеме боковыми гранями. В верхней части колонны располагается диспергатор воздушных масс. Задача реализована на ЭВМ в пакете прикладных программ ANSYS Fluent 15.0

Гидродинамические процессы в системе аэротенк – аэрационная колонна описываются уравнениями Навье-Стокса и неразрывности, а также уравнениями k-ε-модели турбулентности (для транспорта кинетической энергии турбулентности и диссипации турбулентности) [4]:

$$\rho\left(\vec{u}\cdot\nabla\right)\vec{u}=\nabla\left[-p\vec{I}+\left(\eta+\eta_T\right)\left(\nabla\vec{u}+\left(\nabla\vec{u}\right)^T\right)\right];$$

$$\nabla\vec{u}=0;$$

$$\frac{\partial}{\partial t}\left(pk\right)+\frac{\partial}{\partial x_i}\left(pku_i\right)=\frac{\partial}{\partial x_j}\left[\left(\mu+\frac{\mu_t}{\sigma_k}\right)\frac{\partial k}{\partial x_j}\right]+G_k+G_b+p\varepsilon-Y_M+S_k;$$

$$\frac{\partial}{\partial t}\left(p\varepsilon\right)+\frac{\partial}{\partial x_i}\left(p\varepsilon u_i\right)=\frac{\partial}{\partial x_j}\left[\left(\mu+\frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon}\right)\frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j}\right]+C_{1\varepsilon}\frac{\varepsilon}{k}\left(G_k+C_{3\varepsilon}G_b\right)-C_{2\varepsilon}\rho\frac{\varepsilon^2}{k}+S_\varepsilon.$$

Система уравнений дополняется начальными и граничными условиями в виде условий непроницаемости и прилипания.

При решении задачи предполагается: процесс стационарный; жидкость считается изотермической и несжимаемой; физические характеристики считаются однородными и изотропными; деформацией свободной поверхности можно пренебречь; процессы в установке считаются симметричными относительно оси; химические реакции не учитываются.

Математическое и компьютерное моделирование гидродинамических потоков жидкости позволило визуально представить распределение циркуляционных токов воды вне аэрационной колонны и определить зоны высокой скорости потока (зоны турбулизации потока), зоны смешивания и стабилизации.

Полученное поле распределения скоростей (рис. 1) характеризуется неравномерным распределением ила по объему аэротенка. Уменьшение

скорости циркуляции жидкости в центре кольца способствует коагуляции активного ила с образованием крупных хлопьев, которые дробятся в потоках воды, имеющих большую скорость.

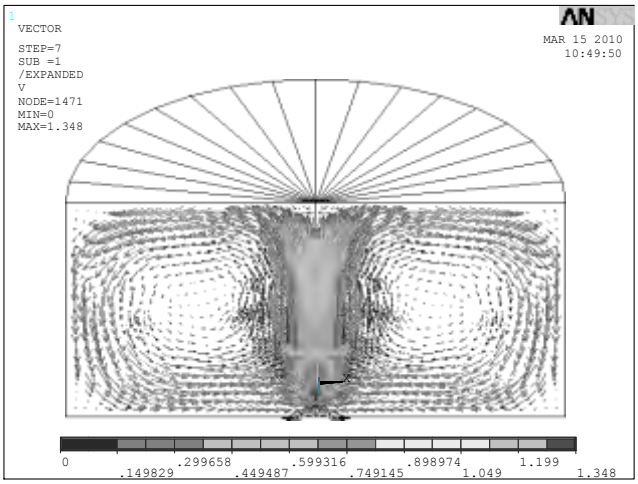


Рис. 1. Векторное поле скоростей в системе аэрационная колонна – аэротенк, полученное в пакете программ ANSYS Fluent 15.0

Таким образом, с помощью предложенной математической модели можно с большой достоверностью проектировать габаритные размеры аэротенка с циркуляционной колонной, обеспечивающие стабильное протекание биохимических процессов с различным активным илом при различной интенсивности аэрации в циркуляционной колонне и возникающей турбулентности потоков за колонной. Результаты моделирования показали, что существующие скорости потоков достаточны для того, чтобы частицы находились во взвешенном состоянии и были распределены равномерно по всему объему жидкости.

1. СанПиН 4630–88. Правила охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами: Утв. Гос. комитетом СССР по охране природы 22.03.1991. М. 1974. 12 с.
2. Понкратова С.А., Емельянов В.М., Сироткин А.С., Шулаев М.В. Математическое моделирование и управление качеством очистки сточных вод // Вестник Казанского технологического университета, 2010. – Вып. 6. – С. 76-85.
3. Бурханов А.И., Потоловский Р.В., Акимов О.Ю., Романов В.А. Комплексная оптимизация и управление системами водоотведения // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая 012. Вып. 1(20). URL: http://vestnik.vgasu.ru/attachments/BurkhanovPotolovskyAkimovRomanov-2012_1_20_.pdf
4. Bezkrovna M., Kazak O., Luchyna A. Recommendation of sewage treatment facilities and improvement of their efficiency // Interdisciplinary Integration of Science in Technology, Education and Economy. Monograph: edited by Shalapko J. and Zołtowski B. Poland, 2013. P. 122-127.
5. Берёза Г.Н., Бескровная М.В., Лучина А.Ю. Модернизация существующих очистных сооружений с целью повышения эффективности биологической очистки // Комунальне господарство міст. 2014. – №. 114. – С. 88-93.

УДК 628.3

РАЦИОНАЛЬНОЕ РАЗМЕЩЕНИЕ ЕРШЕЙ И АЭРАЦИОННЫХ ТРУБ В ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЯХ

Недопекин Ф.В.[1], Дремов В.В.[2], Артемова И.А.[1]
[1]Донецкий национальный университет,
[2]Донбасская академия строительства и архитектуры
artyomova_i@mail.ru

В настоящее время уровень загрязненности окружающей среды продуктами жизнедеятельности человека в густонаселенных местах достигает критической отметки. Это приводит к отравлению водных горизонтов. Различные органические вещества, содержащиеся в стоках, при попадании в водоемы начинают гнить и вызывают ухудшение санитарного состояния как самих водоемов, так и окружающего воздуха, а также становятся источниками распространения болезнетворных бактерий. Поэтому важнейшими вопросами охраны окружающей среды являются водоотведение и очистка сточных вод, позволяющие предотвратить нанесение вреда здоровью населения и экологической ситуации населенных пунктов.

В работе, для очистки сточных вод, рассматриваются фильтры, которые представляют собой гирлянды из волосяных ершей, укрепленных на рамках из металлического уголка. Ерши – это нейлоновые нити, вставленные в скрученные капроновые шнуры. Рамы ставятся поперек движения жидкого потока и при обтекании потоком волос ершей, происходит выделение твердых, жидких и газообразных примесей. По дну канала проложены воздушные трубы с отверстиями. Под давлением воздух закачивается в трубы и выходит через отверстия в виде пузырьков, которые всплывая, перемешивают ее вследствие барботажного эффекта и обеспечивают дополнительную поперечную составляющую скорости. Также при взаимодействии воздушного пузыря и жидкости на толщине погранслоя происходит окисление примесей, что способствует выделению их в осадок.

Рассматривается невязкая, несжимаемая жидкость, предполагается, что в данный момент времени с данным волосом ерша и пузырьком воздуха взаимодействует только один элементарный жидкий кубик. Из этого условия определяется размер жидкого кубика. После первого взаимодействия предполагается, что на протяжении времени движения жидкого кубика происходит выравнивание концентрации примесей в объеме этого кубика до тех пор, пока он не подойдет ко второму волосу или воздушному пузырю.

Цель данного исследования состоит в создании достаточно простой физико-математической модели явления процеживания жидкого потока сквозь рамки с волосяными ершами и аэрации, и получении математических выражений, описывающих взаимодействие жидкости с волосами ершей и воздушными пузырями.

В результате анализа рассмотренной физической модели получены математические формулы, объясняющие взаимодействие жидкости с ершами и воздушными пузырями. Можно отметить, что изменение плотности

примеси в стоках уменьшается по степенному закону, в котором основанием служит число меньше единицы, а показатель зависит от длины устройства, средней плотности волос и пузырей, и отношения скоростей течения жидкости в поперечном и продольном направлениях. По этим формулам, для заданных численных параметров, получены графики, изображающие изменения концентрации примесей в потоке жидкости в зависимости от длины очистной камеры и плотности ершей и воздушных пузырей. Характер полученных кривых – гиперболы. Используя такие графики можно подобрать необходимые параметры плотностей ершей и пузырей для данной камеры, обеспечивающей необходимую степень очистки.

В работе учитывается гидродинамическое сопротивление, оказываемое ершами, для этого рассматривается следующая физическая модель взаимодействия жидкости с гирляндами ершей: весь жидкий поток разбивается на прямоугольные параллелепипеды по высоте равные длине гирлянды с ершами и на примере взаимодействия одного такого параллелепипеда считается величина потерь поступательного движения потока. В данном случае предполагается, что с каждой гирляндой взаимодействует один прямоугольный параллелепипед и теряет часть своей энергии. Получено, что при малых скоростях течения жидкости ерши оказывают небольшое сопротивление и его можно не учитывать при расчете камер очистки, но при скоростях больших 0,2 м/с сопротивление нужно учитывать.

При прохождении волоса ерша через жидкий кубик часть твердых примесей, находящихся в нем оседает на волос. Чтобы обеспечивать очистку жидкой среды на высоком уровне на протяжении всего времени работы очистного сооружения, нужно учитывать налипание осадка на волосы ерша.

Так как плотность примеси в жидкости уменьшается по степенному закону, на первые рамки с ершами оседает больше примеси, чем на остальные. Установлено, как должна увеличиваться плотность волос, которая зависит от координаты x, по длине канала, чтобы обеспечить равномерную нагрузку во всем объеме камеры. Предложенные формулы позволяют рассчитать количество волос на данной координате.

Заселяя волосы ерша определенным видом микроорганизмов можно осуществить выборочную адсорбцию той или иной примеси и переработку ее с помощью микроорганизмов в безвредное состояние. Очистка с помощью ершей позволит эффективно использовать колонии бактерий, которые размещаются на ершах и не уносятся жидким потоком.

Приведен пример расчета очистных камер с учетом вышеприведенных процессов.

Все предложенные расчеты позволяют более грамотно проектировать новые и модернизировать существующие устройства, чтобы обеспечить более высокую степень очистки жидкой среды с помощью процеживания и аэрации и облегчить уход за ними.

УДК 502.175

ЭКОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАЗЛОМНЫХ ЗОН

Николаев И.Ю.[1], Власов П.А.[2]
[1] ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк,
[2]РАНИМИ, г.Донецк
nikolaev.donnu@gmail.com

Разломные зоны относятся к одним из важнейших элементов структуры земной коры. Эти зоны являются наиболее мобильными, энергоемкими и самыми ослабленными ее частями. С ними связан основной поток энергии и вещества в недрах Земли. Эти же зоны являются основными проводниками продуктов техногенеза в недра. С энергетических позиций все эти структуры относятся к энеростоковым зонам (ЭСЗ) с сложной иерархической структурой. Выделяют несколько уровней ЭСЗ: глобальный, региональный, локальный, элементарный. Зоны различных уровней отличаются шириной и протяженностью, уровнем энергомассопереноса, характером и интенсивностью экологического воздействия на окружающую среду и человека.

Среди многочисленных разломных структур территории Донецка выделяется Мушкетовский надвиг. Эту структуру можно отнести к региональному уровню ЭСЗ. Ширина зоны влияния таких зон достигает сотен метров, а экологическое воздействие на окружающую среду выражается в активизации экзогенных геологических процессов, приводящих к развитию оврагов, карстообразованию, образованию оползней, просадок грунтов и др. В пределах этих зон увеличивается число аварий на транспорте, происходят деформации зданий и сооружений, подтопления, разрывы трубопроводов и сетей городских коммуникаций, увеличивается травматизм и процент заболеваемости населения.

Изучение анизотропии электромагнитного поля грунтов и содержания в них углекислого газа в зоне влияния Мушкетовского надвига позволило установить наличие в поверхностном слое покровных отложений микродеформационных структур, генетически связанных с современными геодинамическими процессами в массиве коренных пород вблизи сформированных разрывных нарушений и вновь зарождающихся тектонических структур или участков с аномальными полями тектонических напряжений.

Опыт исследований таких структур указывает на формирование в почвенных отложениях над ними аномальных концентраций не только углекислого газа, но и метана, радона. Эти газы способны накапливаться в подвальных помещениях и нижних этажах жилых домов. В случае метана это приводит к возникновению взрывоопасной ситуации. Газ радон, проникая в легкие людей, вызывает тяжелые заболевания. Известно, что геофизические аномалии в ряде случаев отражают положение геопатогенных зон в земной коре. Длительное нахождение или проживание в пределах таких зон создает дискомфортную ситуацию для человека или даже приводит к тяжелым заболеваниям.

УДК 681.518.3

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС МОНИТОРИНГА ТЕХНОСФЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Пилипенко О.Н, Кривякин А.С., Готин Б.А., Романчук Н.В.
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк
odt86@rambler.ru

Оценка экологических рисков на территории Донбасса является достаточно сложной. Здесь за годы интенсивного использования природных ресурсов накопилось большое количество экологических проблем, и любая дополнительная техногенная нагрузка может привести к экологической катастрофе.

Традиционные системы мониторинга, основанные на аппаратно-измерительных методах физико-химической диагностики состояния окружающей среды, не решают проблему определения комплексного (интегрального) загрязнения окружающей среды в трансформированных по разным причинам регионах. А отсутствие автоматизированных комплексов не позволяют проводить такую работу оперативно.

Автоматические измерительные станции имеют различное назначение, методы измерения, конструкцию. Но в каждой из них, в той или иной степени, присутствует модуль алгоритма взятия проб и проведения измерений, и модуль сбора, хранения, обработки, передачи данных.

В СКТБ «Турбулентность» Донецкого национального университета разрабатываются автоматизированные системы мониторинга, которые позволяют анализировать параметры по заданному алгоритму без участия человека, выполнять обработку данных, определять динамику изменения индикатора и прогнозировать неблагоприятные экологические ситуации. В состав автоматизированных систем мониторинга входят автоматические измерительные станции для оценки параметров как одной среды, так и нескольких (воды, воздуха, грунта).

При участии СКТБ «Турбулентность» была разработана и внедрена автоматизированная станция взятия проб для мониторинга состояния загрязнения сточных вод на канализационных насосных станциях г. Донецк.

Для биомониторинга водной среды был разработан макет автоматизированного комплекса в составе которого:

- сигнализаторы на основе биосенсоров, измерители концентрации взвешенных веществ, растворенного кислорода, электропроводности, температуры, PH-метр;
- автоматический пробоотборник;
- микропроцессорная система сбора, предварительной обработки и допускового контроля параметров;
- система передачи информации по GPRS-каналу.

Информация, полученная при помощи этой системы, необходима для оценки влияния долгосрочных антропогенных влияний на биоценозы и прогнозирования развития неблагоприятных процессов в водной среде.

Основываясь на актуальных задачах и полученном опыте, был разработан автономный автоматизированный измерительный комплекс для использования в коммунальной и экологической сфере. Автоматизированный комплекс представляет собой набор функциональных блоков и устройств. Структура комплекса предполагает локальное регулирование, мониторинг технологических процессов и связь с диспетчерской. На верхнем уровне решаются задачи управления объектами, хранения больших объемов информации, обработки информации и их предоставление оперативному персоналу в форме, удобной для принятия решений.

Структура удаленного автоматизированного измерительного комплекса является модульной и свободно расширяемой, и разработана по критерию низкого энергопотребления. Существует необходимость в рациональном использовании энергии автономного источника питания при применении автоматизированного измерительного комплекса на объектах, на которых отсутствует энергоснабжение. Использование управляемого модуля питания и автономного источника питания позволило решить данный вопрос.

В составе системы сбора и передачи информации (ССПИ) используются базовые и дополнительные модули. Базовые модули ССПИ взаимодействуют лишь с основным интерфейсом автоматизированного измерительного комплекса (RS-485 Modbus RTU). Применение дополнительных модулей зависит от технологического процесса и применяемых исполнительных устройств, измерительных приборов. Преобразователи интерфейсов применяются при необходимости для совместимости различных видов устройств. Для хранения настраиваемых параметров применяется карта памяти SD-micro. Взаимодействие базовых модулей ССПИ с центральным уровнем управления предполагается по проводным сетям Ethernet (TCP/IP) или сотовым сетям мобильной связи GSM900/1800 с пакетной передачей данных GPRS.

Герметичный корпус системы сбора и передачи информации со степенью защиты IP68 позволяет ее эксплуатацию в условиях повышенной влажности.

Автоматизированный комплекс предназначен для применения в ведомствах экологической безопасности, жилищно-коммунальных хозяйствах города, производственных предприятиях с необходимостью контроля над технологическим процессом.

УДК 504

ТЕХНОСФЕРА И ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ДОНБАССА

Резцов П.И., Пичахчи А.Г., Раков В.Н.
ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк
bgdigo@mail.ru

Техника – неотъемлемый рукотворный элемент жизнедеятельности современного общества. Высокая плотность технических устройств, обеспечивающих жизнь современного человека, ввела в обиход

представление о техносфере и сопряженными с ней техногенными опасностями, так как техника без опасности (неопасная техника) на практике невозможна.

В наше время природа техногенных опасностей наглядно иллюстрируется энергетическим происхождением. Деятельность человека связана с выработкой, хранением, преобразованием различных видов энергии. Управляемое уменьшение энергетических потенциалов, накопленных в технических устройствах, сопровождается совершением полезной работы для человека. Самопроизвольное высвобождение накопленной энергии, обусловленное ее диссипативными свойствами, приводит к потерям. Поэтому энергия через технику приносит человеку не только пользу, тепло, уют, но и большое количество техногенных потерь. Беспокоящее ожидание их возникновения в ненужное время и в ненужном месте называют техногенными опасностями. Когда временные и пространственные рамки проявления опасностей сужаются до определенных границ, принято говорить об угрозах. Таким образом, опасность – это потенциал потерь, а угроза – актуализированная опасность. Само название техногенных потерь указывает на технику как основной источник опасности.

На наш взгляд, анализ техногенных опасностей и угроз, являющийся одной из важнейших проблем безопасности техногенной сферы как определяющей области жизнеобеспечения и жизнедеятельности человека, общества и государства, а также среды обитания, заслуживает особого внимания.

Сегодня в обиходе распространены как определение «техногенная безопасность», так и определение «техносферная безопасность». И если раньше домом человечества была биосфера, экосфера, то сейчас домом стала техносфера. Ни в одном словаре, энциклопедии, справочнике нет дефиниции для термина «техносферная безопасность». Техносфера – это искусственная оболочка Земли, это система жизнеобеспечения, изолирующая человека от враждебного мира, но прозрачная для полезных потоков вещества, энергии и информации.

Некоторые ученые предлагают употреблять понятие « техносфера» (А.Е. Ферсман) как синоним понятия «ноосфера», равно как и другие понятия «антропосфера» (А.Н. Павлов), «психосфера» (Д. Ле-Конт). Техносфера – синтез природы и техники, созданный человеческой деятельностью. Самопроизвольно формируется симбиоз техники и природы как объективная реальность. Создается новая среда, техническая деятельность порождает «вторую природу», квазиприроду, устойчивую лишь под надзором и при участии человека.

Техника становится средой в самом полном смысле этого слова, она окружает нас сплошным коконом, делая природу вторичной, малозначительной. Природа оказалась демонтирована. Техносфера составила целостную среду обитания, внутри которой живет человек. (франц. социолог Ж. Эллюль). Техносферная безопасность – защищенность техносферы (Н.П. Блудчий). Техносферная безопасность – это понятие охватывающее экологическую, производственную и бытовую безопасность (С.В. Белов).

Основываясь на сказанном выше и определяя техносферные опасности как совокупность производственных, социальных и природных опасностей,

разрушающих техносферу, можно сказать, что техносферная безопасность – это свойство объекта, выраженное в его способности противостоять техносферным опасностям. На управленческом уровне сегодня реализуется ряд систем для обеспечения безопасности человека в техносфере, но проблемы остаются. Количество несчастных случаев на производстве в мире составляет 125 млн. ежегодно, примерно 220 тыс. чел. в результате этих случаев погибает.

Современный Донбасс – это крупный промышленный регион, в котором насчитывается несколько тысяч крупных промышленных предприятий, производственно-промышленных объединений и предприятий топливно-энергетического комплекса, горнодобывающей, металлургической, химической промышленности, тяжелого машиностроения, строительной отрасли, а также агропромышленного комплекса, при этом большая часть промышленного производства сосредоточена в наиболее экологически опасных отраслях. Кроме того, не следует забывать, что Донбасс обладает запасами почти всех химических элементов. Главным природным богатством региона являются месторождения каменного угля. Его запасы только на территории ДНР оцениваются в 25 млрд. т, что может удовлетворить потребности региона не на одно десятилетие вперед. Высокая концентрация промышленного и сельскохозяйственного производства, транспортной инфраструктуры, в сочетании с высокой плотностью населения создали чрезвычайно высокую – наивысшую в Европе – техногенную и антропогенную нагрузку на биосферу.

Несмотря на спад производства (потери промышленности в результате военных действий и блокады Донбасса составили до 90 % и при этом самые серьезные потери понесли флагманы нашей промышленности), в результате которого общее количество выбросов и сбросов существенно уменьшилось, нагрузка на биосферу Донбасса по-прежнему остается одной из наибольших в Европе. Так, на территории ДНР и ЛНР расположено множество хвостохранилищ, которые представляют собой отстойники, отгороженные от водных объектов дамбами. Негативные последствия разрушения таких объектов очевидны – токсичность отходов, которые хлынут в реки и другие водные объекты, приведут к неминуемой экологической катастрофе, которая затронет не только Донбасс, но и соседние регионы. Экологически опасными объектами являются пруды-отстойники «Горловского химического завода», «Стирола», «Азота», и других предприятий горнодобывающей, горно-обогатительной, металлургической, коксохимической и химической отраслей промышленности. В результате боевых действий более 20 шахт на территориях ДНР и ЛНР оказались или под угрозой затопления, или уже полностью затопленными и не подлежащими дальнейшей эксплуатации. Точное количество затопленных шахт назвать сложно. На данный момент точно известно о полном или частичном затоплении шахт «Бутковская» и «Ясиновка-Глубокая» (г. Макеевка), «Моспинская», «Трудовская» и «Октябрьская» шахты (г. Донецк), шахты «Белореченская» в Лутугинском районе ЛНР, которая уже не подлежит восстановлению; шахты им. Мельникова (г. Лисичанск), «Комсомолец Донбасса» (Кировский р-н), шахты им. Вахрушева (г. Ровеньки), шахты им. Коротченко (г. Селидово), разрушенной шахты «Прогресс» (г. Торез), «Красный Партизан»

(г. Свердловск), «Иловайской» шахты, шахты «Волынской» (пос. Рассыпное), шахты «Луганской» и «Машинский блок», шахты «Мария Глубокая» и др.

Затопление некоторых шахт опасно тем, что они использовались как хранилища отходов. К таким можно отнести и уже упомянутую выше горловскую шахту 2-бис и находящуюся под Енакиево шахту «Юнком», на которой в 1979 году был произведен ядерный взрыв. Сейчас грязные шахтные воды из соседних шахт «Полтавская» и «Углегорская» начинают перетекать в выработки «Юнкома», и если они переполнятся, то радиоактивные вещества поднимутся на поверхность, в результате чего уровень радиоактивного загрязнения будет превышать норму в сотни раз. Но нельзя забывать и том, что и затопление обычных шахт, хоть и не приведет к столь фатальным последствиям, не менее опасно для окружающей среды. Существенную опасность представляет также шахтный метан, который при затоплении выработок по крутозалегающим пластам будет подниматься на поверхность, а это реальная опасность накопления газа в помещениях и возможные взрывы.

Высокие скорости и масштабы техногенных процессов, громадные перемещения горных масс обуславливают большие объемы рассеивания многих химических элементов (прежде всего углерода и тяжелых металлов), вызывают накопления в окружающей среде соединений химических элементов в несвойственных природе сочетаниях.

Из вышесказанного видно, что Донбасс относится к наиболее критическим по экологической обстановке регионам и острейшими проблемами являются: загрязнение атмосферного воздуха, водного бассейна и почв, которые, соответственно, нуждаются в пристальном внимании для недопущения экологической катастрофы.

УДК 004.942

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ В АСУ ТП ВОДОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДОВ

Романчук С.М., Саакян О.Н., Перебейнос В.В.
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк
romanchuksm@gmail.com

Современные системы водоснабжения и водоотведения городов являются сложными энергоемкими промышленными комплексами, имеющими развитые системы технологического мониторинга и управления режимами работы водораспределительным оборудованием и средствами водоподачи. Известно, что внедрение систем управления насосными станциями с промышленными контроллерами на основе использования частотно-регулируемых приводов позволяет снизить энергопотребление станций водоснабжения на 30 – 40%, уменьшить потери воды на 5 – 15% и сократить (до 40%) расходы на эксплуатацию и ремонт оборудования. Существует также множество технических решений основанных на применении информационно-управляющих систем и систем мониторинга в области водораспределения, водоотведения и оценки качества питьевой воды.

В городе Донецке ведутся работы по созданию эффективной системы мониторинга городской сети водоподачи и водораспределения . Созданная система мониторинга позволяет накапливать и анализировать значительные объемы технологической информации.

В процессе развития системы мониторинга режимов водоснабжения г. Донецка на 300 объектах было установлено 750 различных измерительных устройств и средств мониторинга.

Создание баз данных технологической информации позволит построить информационные модели системы водоснабжения района. В этом плане построение модели системы водоподачи города является актуальной задачей, т.к. позволит в дальнейшем разработать по имеющимся данным мониторинга адаптивные алгоритмы для оценки работы систем водоснабжения. Такие алгоритмы дают возможность на локальном и центральном уровне системы вести непрерывную оценку эффективности водораспределения и экономичности работы насосного оборудования.

Формирование баз данных мониторинга режимов работы городских систем водоснабжения дает возможность применить методы интеллектуального анализа данных. Пока такие методы используются в АСУ ТП на предприятиях водоснабжения недостаточно. Однако наличие крупных баз данных, содержащих технологическую информацию, закономерно ставит вопрос о выборе методов Data mining для изучения постоянно растущих объемов информации.

Известно, что интеллектуальный анализ данных – позволяет выявить скрытые закономерности в больших объемах информации. Несколько лет опытной эксплуатации АСУ ТП водоснабжения г. Донецка позволили накопить объем информации достаточный для использования методов Data mining. Данные методы дают возможность получать закономерности, определяющие формирование технологических режимов городских систем водоснабжения, за счет анализа временных рядов контролируемых параметров.

Преимуществом таких подходов является отказ от использования методов гидравлических и энергетических расчетов, которые требуют большого количества исходных данных, имеющих достаточно высокую погрешность и низкую достоверность. При этом на смену традиционным методам приходят адаптивные методы, когда простые зависимости с небольшим количеством входных и выходных переменных получают путем обработки информации взятой из технологических баз данных.

УДК 711

ШУМОЗАЩИТА ОБЪЕКТОВ КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА

Семченко А.Ю., Паслен В.В.
ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк
AUSemchenko@mail.ru

На данный момент в современном обществе существует проблема шума, окружающего человека в повседневной жизни. Шум возникает во всех сферах быта, производства, учебной и общественной деятельности.

Уровни шума на территории объектов коммунального хозяйства, расположенного в городской черте, превышают естественный шумовой фон. Повышенный шум вызывает ухудшение слуха, развитие специфического заболевания неврита слуховых нервов, последствием которого может быть глухота. Неспецифическое воздействие шума проявляется в нарушениях работы нервной и сердечно-сосудистой систем (возрастание артериального давления, раздражительность, апатия и т.п.) [1].

Объектами шумозащиты являются территории города с нормируемым шумовым режимом. Для проведения акустических расчетов выявляются источники шума (ИШ), выбираются расчетные точки (РТ) на территории защищаемого объекта, определяются пути распространения шума.

Во многих странах интенсивно используются шумозащитные экраны-стенки, как наиболее экономически целесообразный метод борьбы с шумом на пути его распространения. Принцип работы акустического экрана основан на создании за ним зоны звуковой тени. Акустическая эффективность экранов обычно не превышает 20–22 дБА, однако это значение в условиях городской застройки зачастую обеспечивает желаемый эффект. Эффективность снижения шума прямо пропорциональна высоте и протяженности экранирующих сооружений.

Преодоление физической изоляции территории возможно путем устройства проходов в экране, однако это значительно снизит его эффективность. Необходимо применение шумозащищенных разрывов в виде акустических клапанов, снижающих проникновение шума в уровне экрана.

На рис. 1 представлены варианты таких экранных клапанов.

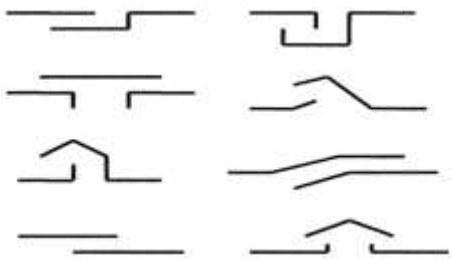


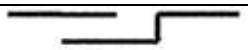
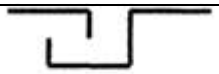
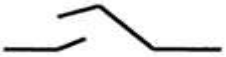
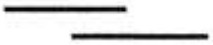
Рис. 1. Схемы акустических клапанов для образования проходов в шумозащитных экранах

Нами на кафедре радиотехники и защиты информации исследована эффективность данных клапанов [5]. При помощи шумомера был измерен уровень шума после клапанов, для каждого случая по три раза на различных уровнях чтобы получить максимально точные данные, приведенные в табл. 1.

Была проведена серия опытов при помощи макетов, имитирующими своим строением и структурным составом клапаны в шумозащитных экранах. Перед клапанами был расположен источник шума с постоянным уровнем шума в 83дБА (примерно такой уровень шума у оживленной автомагистрали).

Таблица 1

Результаты эксперимента

№	Средний уровень шума дБА	Уменьшение уровня шума %	Вид клапана
1	66,2	20,25	
2	62,03	25,27	
3	63,8	23,14	
4	64,03	22,86	
5	58,3	29,7	
6	62,5	24,7	
7	63,8	23,14	
8	65,06	21,62	

Конструкции экранов достаточно разнообразны. Для их изготовления используют металл, пластмассы, стекло, камень, железобетон. Также в экран могут быть внесены прозрачные вставки, которые позволяют сохранить обзор прилегающей территории. Их выполняют из акрилового либо других типов пластика.

Звукоориентирующие щумозащитные экраны могут использовать следующие возможности по уменьшению негативного воздействия отраженного шума:

- рассеивание отраженного шума в пространстве, что приводит к уменьшению его интенсивности;
- отражение шума в направлении, не представ-ляющем интереса с точки зрения шумозащиты, например, вверх;
- отражение шума в направлении поверхности земли;

Выводы. Интенсивное развитие транспорта в стесненных условиях городской застройки приводит к необходимости применения эффективных мероприятий по защите от шума.

Одним из наиболее приемлемых в настоящее время методов защиты городской территории от шума является возведение шумозащитных экранов. Перспективным является использование комбинированных акустических экранов, в которых сочетается преимущества акустических экранов – стенок и зеленых насаждений. Их эффективность чрезвычайно высока без дополнительных затрат. Дальнейшим направлением нашей работы будет конструирование и испытание шумозащитных экранов в конкретных условиях.

1. Шум, как акустический стрессор, и меры борьбы с ним / Некипелова О.О., Некипелов М.И., Маслова Е.С., Урдаева Т.Н. // Фундаментальные исследования. 2006. № 5. С. 55–57.
2. Дьяков И. М. Экологические проблемы промышленно-городских агломераций / И. М. Дьяков, З. Д. Сапронова // Устойчивый Крым. Общественное экологическое движение. — Симферополь : Бизнес-информ, 2002. — С. 250-259.
3. Дьяков И.М., Царенко Н.В. Исследование эффективности биопозитивных шумозащитных экранов // Строительство и техногенная безопасность: Сборник научных трудов КИПКС. – Симферополь: Таврия, 1998. – С. 219-225.
4. Электронный ресурс: http:www.refrigerator.ru/prod/panak
5. Семченко А.Ю., Паслен В.В.Оптимизация шумозащитных объектов при помощи акустических экранов // Сборник трудов Международной молодежной научно-практическая конференции «Человек и космос». – Днепропетровск: 2015.

УДК 541.135:541.183

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПЕРЕРАБОТКИ ОТРАБОТАННЫХ СВИНЦОВО-КИСЛОТНЫХ АККУМУЛЯТОРОВ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Сердюк А.И., Лоцман А.А.
Донбасская национальная академия строительства и архитектуры
ecoalserdiuk@rambler.ru

Отработанные свинцово-кислотные аккумуляторы относятся к категории высокотоксичных отходов и представляют значительную угрозу окружающей среде. Ужесточающиеся требования к охране окружающей среды в Евросоюзе предусматривают обязательный сбор и переработку аккумуляторного лома. Однако, применяемые в настоящее время пирометаллургические методы его переработки достаточно дорогостоящи, их использование приводит к значительному загрязнению окружающей среды, что вынуждает к поиску новых, экологически более чистых технологий. В настоящее время в Украине отработанные свинцово – кислотные аккумуляторы (ОСКА) перерабатываются пирометаллургическим методом. При этом в атмосферу выделяется большое количество соединений свинца, диоксида серы и формальдегида. Перспективными с такой точки зрения становятся технологии, включающие электрохимическую стадию (в частности электролиз водных растворов). Преимуществом электрохимических технологий переработки является то, что процессы ведутся при умеренных температурах, электролизом на конечной стадии получается металл достаточно высокой степени частоты, а также то, что в роли окислителя и восстановителя выступает электрический ток и исключается необходимость введения дополнительных реагентов. Органическая фракция при этом полностью выводится из процессов передела. Однако, до настоящего времени электрохимические технологии переработки аккумуляторов не нашли широкого применения, что связано с низкой скоростью переработки, слабой изученностью зависимости процесса

растворения аккумуляторных пластин от различных факторов (состава электролита, параметров электролиза), также не изучен количественный состав выбросов загрязняющих веществ и его зависимость от параметров электролиза.

Из-за относительно низких (по сравнению с другими цветными металлами) цен на свинец на мировом рынке (460–500 $/т) создание современного экономически эффективного производства по переработке вторичного свинецсодержащего сырья, более 60 % которого составляют свинцово-кислотные аккумуляторы, требует законодательной, организационной, финансовой поддержки государства с одной стороны и поиска и внедрения новых, экологически более выгодных технологий взамен применяемым в настоящий момент, не отвечающим все более ужесточающимся требованиям к содержанию высокотоксичного свинца в жидких и газообразных отходах, пирометаллургическим методам. Проблема усложняется тем, что только 25–30 % свинца отработанных аккумуляторов содержится в металлической форме (свинцово-сурьмянистый сплав), остальной свинец находится в виде оксидов (30–35 %), сульфата (30–35 %), сульфида и хлорида (4–6 %). И если за последнее время разработано довольно много технологий переработки пластин и активной массы, регенерации электролита, то переработке шлама, с которым теряется до 10-12 % свинца, внимание практически не уделялось. Решением проблемы может стать переработка шлама гидрометаллургическими методами.

Целью данной работы является разработка условий переработки аккумуляторного шлама электрохимическим методом.

Однако сульфат свинца и диоксид свинца, из которых в основном состоит аккумуляторный шлам, не растворимы практически во всех применяемых электролитах. Поэтому для эффективного более полного извлечения свинца из шлама требуется проведение предварительных стадий, позволяющих перевести свинец с растворимую форму. Переработка должна включать следующие стадии:

1) десульфатация шламовой массы;
2) перевод диоксида свинца в растворимую форму;
3) растворение активированной массы в кислоте, пригодной для этой цели;
4) выделение свинца в металлической форме путем электроэкстракции.

Нами проведены исследования по извлечению свинца из аккумуляторного шлама путем его десульфатации и последующего растворения в фтористоводородной или кремнефтористоводородной кислотах.

Навеска высушенного измельченного шлама анодных пластин помещалась в раствор гидроксида натрия разной концентрации (1-20 г/л), количество которого рассчитывалось согласно уравнению реакции из расчета 30 %-ного содержания сульфата свинца в растворе, и выдерживалась при температуре 50 ^{0}С и перемешивании в течении 1 часа, после чего производилось определение содержания свинца в растворе, шлам промывался дистиллированной водой до нейтральной реакции. После этого к шламу добавлялась фтористоводородная или кремнефтористоводородная

кислота в количестве, рассчитанном исходя из уравнения реакции гидроксида свинца с сотвествующими кислотами (нами принято, что весь сульфат свинца прореагировал с гидроксидом натрия). Через 14-24 часа раствор отфильтровывался, в нем определялось содержание свинца. Не прореагировавший шлам высушивался, взвешивался, и к нему вновь прибавлялась перекись водорода и фтористоводородная или кремнефтористоводородная кислота, количество которых рассчитывалось по уравнению реакции. Взвесь выдерживалась при 25^0С и перемешивании в течение одного часа. Затем смесь отфильтровывалась, шлам высушивался и взвешивался, определялась концентрация свинца в отфильтрованном растворе. Полученный электролит после добавления поверхностно-активного вещества (ПАВ) в концентрации 1 г/л, растворенного при температуре 50^0С подвергался электроэкстракции при катодной плотности тока 200–800 А/м^2. После опыта катод промывался дистиллированной водой, высушивался, взвешивался. По разнице между массой катода до и после опыта определялось количество осажденного свинца.

В результате проведенных исследований нами установлено, что оптимальной является концентрация гидроксида натрия 10–20 г/л. Для увеличения степени десульфатации необходим избыток щелочи по сравнению с рассчитанным согласно уравнению реакции количеством на 20-30 %. При таких условиях в растворимую форму (гидроксид свинца) переходит до 98 % сульфата свинца.

При реакции гидроксида натрия (концентрация 10–20 г/л) с сульфатом свинца шлама в раствор в среднем переходит до 1,0-1,5 г/л ионов свинца Pb^{2+}. При растворении полученного гидроксида свинца в кремнефтористоводородной кислоте в раствор переходит в среднем 32 г/л свинца, что составляет 75 % от расчетного количества.

В результате реакции диоксида свинца с перекисью водорода и фтористоводородной или кремнефтористоводородной кислотой в раствор переходит в среднем 30 г/л свинца, что составляет 93-95% от расчетного количества. Окраска шлама в результате реакции изменяется с рыжевато-красной до темно-коричневой.

Значительное влияние на скорость реакции электроэкстракции оказывает природа ПАВ, которая позволяет повысить плотность катодного тока выделения свинца до 520 А/м^2.

При проведении полученных растворов катодный выход по току составил в среднем 96 %, анодный выход по току 90 %, анодный выход по продукту 65 %, скорость осаждения свинца 270 мкм/час.

В результате полученных исследований установлено, что применение электрохимических методов для переработки аккумуляторного шлама целесобразно, т.к. количество извлеченного свинца достигает 85 % от расчетного.

Дальнейшие исследования в данном направлении помогут подобрать оптимальные условия для переработки свинецсодержащего аккумуляторного шлама электрохимическими методами, что позволит значительно снизить загрязнение окружающей среды токсичными соединениями свинца и фторидов, а также уменьшить дефицит ценного стратегического сырья.

1. Тарасенко М.М., Огородничук В.И., Крысенко Н.С.. Переработка вторичного свинцового сырья на заводе «Укрцинк» // Цветные металлы. – 1980. – С. 36-39.
2. Якимчук Д.П., Сердюк А.И., Червонцева Н.Н.. Влияние ПАВ на процессы электрохимического осаждения свинца // Проблемы экологии. – 1999. – № 2. – С.36-41.
3. Ісаєва-Парцвания Н.В., Сердюк О.І., Червонцева Н.М. Маловідходна екологічно безпечна переробка свинцево-кислотних акумуляторів у водних розчинах електролітів/ Донецьк: ДНАБА, ДАЖКГ ДІМГ, 2008. – 158.

УДК 614.842.628:614.844.6 ; 532.542.4

ПРИМЕНЕНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИ-АКТИВНЫХ ДОБАВОК ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОЖАРОТУШАЩИХ СОСТАВОВ НА ОСНОВЕ ВОДЫ

Симоненко А.П., Дмитренко Н.А., Быковская Н.В.
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк
zan.nikita@gmail.com

Пожары, как неконтролируемые процессы горения различных материалов, создают угрозу для жизни людей, уничтожают материальные ценности, наносят большой вред окружающей среде.

Анализ результатов работы пожаротушащего оборудования показывает его недостаточную эффективность при тушении крупномасштабных пожаров. В первую очередь это связано с ограниченным количеством огнетушащих жидкостей, которые подаются в очаг пожара и сравнительно низкими их огнетушащими свойствами. Кроме этого, для эффективного тушения крупномасштабных пожаров необходимо увеличить дальнобойность струй огнетушащих жидкостей, которые формируются в пожарных стволах, а также уменьшить количество аварийных ситуаций при эксплуатации мобильных установок пожаротушения, связанных с разрывом пожарных рукавов при повышенных давлениях.

Важным резервом повышения эффективности тушения крупномасштабных и труднодоступных пожаров является применение явления снижения гидродинамического сопротивления турбулентного трения (ГСТТ) в напорных трубопроводах микродобавками высокомолекулярных полимеров (ВП) с линейной структурой макромолекул (эффект Томса). Особый интерес для решения этих проблем представляют водорастворимые полимерные композиции (ВПК) на основе высокомолекулярных полиэтиленоксида (ПЭО) и полиакриламида (ПАА). Высокая скорость растворения ВПК, с максимальным сохранением при этом первоначальной молекулярной массы ПЭО и ПАА, возможность введения в их составы химических веществ, которые совместно с ВП существенно улучшают огнетушащие свойства воды, открывают большие перспективы применения таких композиций в пожаротушении.

Многочисленные комплексные исследования, выполненные в Донецком национальном университете (ДонНУ), показали неоспоримые преимущества применения ВПК для снижения ГСТТ в трубопроводах централизованных и мобильных установок пожаротушения, при условии выполнения требований по их приготовлению, хранению и оптимальному использованию [1–6].

Однородные (заранее приготовленные из ВПК растворы высокомолекулярных ПЭО и ПАА) и жидкие водорастворимые полимерные композиции (ЖВПК) в виде тонкодисперсных суспензий и паст целесообразно применять тогда, когда известно, что тушение пожара принимает затяжной характер. Результаты стендовых и полигонных испытаний показали, что для введения в пожарные рукава концентрированных водных полимерных растворов могут успешно использоваться широко применяемые в противопожарной технике пеносмесители ПС-1 и ПС-2, оснащённые на всасе полимерного раствора специальными патрубками с калиброванными шайбами.

Особый интерес для повышения эффективности работы мобильных установок пожаротушения представляют разработанные в ДонНУ проточные кассеты, в которых, за счёт размыва ультра-слабых полимерных покрытий и наполнителей флоковых покрытий, образуются пожаротушащие жидкости со сниженным ГСТТ. Ультра-слабые и флоковые покрытия с гидродинамически-активными наполнителями наносятся на армирующие вставки, которые устанавливаются в проточную часть корпуса кассеты. С помощью пожарных гаек кассеты легко устанавливаются в рукавную линию. Время активной работы одной кассеты зависит от количества нанесённого на омываемую поверхность армирующих вставок полимерного материала, и в среднем составляет 45 минут [4–7].

Эффективность тушения пожаров во многом зависит от огнетушащих свойств пожаротушащих жидкостей. В связи с этим в ДонНУ в последнее время проводятся комплексные исследования по совершенствованию составов ВПК с целью улучшения огнетушащих свойств воды. При этом, в основу проводимых работ положено использование в составах полимерных композиций поверхностно-активных веществ, которые уже используются в централизованных и мобильных установках водяного пожаротушения – ПАВ «Прогресс», фтор-ПАВ «Кубоксалим» и ОП-10. Эффективность этих поверхностно-активных веществ, в сочетании с ПЭО и ПАА, по улучшению огнетушащих свойств воды подтверждена в ходе огневых испытаний при использовании заранее приготовленных из таких смесей однородных растворов [8].

Таблица 1

Составы гидродинамически-активных наполнителей флоковых покрытий на основе ПАА и ПАВ

№ п/п	Молекулярная масса ПАА, млн.	Состав водорастворимого наполнителя, вес.%				
		ПАА	Наименование ПАВ	Концентрация ПАВ	Наименование разбавителя ПАВ	Концентрация разбавителя
1.	3,0	20	Кубоксалим	54,3	Этанол	25,7
2.	3,0	30	Кубоксалим	42,7	Метанол	27,3
3.	10,0	30	Кубоксалим	39,2	Этанол	30,8
4.	3,0	30	ОП-10	35,0	Вода	15,0
5.	6,0	30	ОП-10	60,0	Вода	10,0
6.	10,0	30	ОП-10	60,0	Вода	10,0

Примечание. *Образец под порядковым номером 5 имел степень гидролиза равную 30 %.*

В табл. 1, в качестве примера, приведены составы тонкодисперсных суспензий на основе ПАА различных молекулярных масс, фтор-ПАВ «Кубоксалим» и ОП-10, которые могут успешно использоваться в качестве гидродинамически-активных наполнителей флоковых покрытий. При этом следует отметить, что введение ПАВ в состав композиций существенно улучшает огнетушащие свойства водных растворов ПАА.

Результаты экспериментальных исследований суспензий на основе ПЭО и ПАВ, которые рекомендуются для применения в пожаротушении, подробно изложены в работах [3–8].

Выводы. Результаты экспериментальных исследований показывают целесообразность применения ВПК на основе смесей гидродинамически-активных полимеров и ПАВ для повышения эффективности работы централизованных и мобильных установок водяного пожаротушения.

1. Симоненко А.П. Гидродинамически-активные композиции на основе полимеров и поверхностно-активных веществ для решения проблем экологической безопасности и энергосбережения: автореф. дис. д-ра техн. наук. Донецк. 2013. – 44 с.
2. Ступин А.Б., Симоненко А.П., Асланов П.В. Гидродинамически-активные полимерные композиции в энергосбережении и экологии. Монография. Донецк: ДонНУ, 1999. – 230 с.
3. Ступин А.Б. Гидродинамически-активные полимерные композиции в пожаротушении. Монография / А.Б. Ступин, А.П. Симоненко, П.В. Асланов, Н.В. Быковская // Донецк: ДонНУ, – 2001. – 198 с.
4. Ступин А.Б., Симоненко А.П., Быковская Н.В. Применение гидродинамически-активных полимерных композиций для повышения эффективности работы противопожарной техники // Вісник Донецького ун-ту, Сер.А: Природничі науки, – №1, ч.2. – 2001. – С. 264-270.
5. Проблемы экологии и техногенно-экологической безопасности. Монография / под общ.ред. Ступина А.Б., Донецк:ДонНУ, – 2010. – 530 с.
6. Симоненко А.П. Повышение эффективности работы противопожарной техники путём применения гидродинамически-активных полимерных композиций // Сб. научн. трудов «Проблемы пожарной безопасности». Универс. гражд. защиты Украины. – Харьков: НУГЗУ, – № 32. – 2012. – С. 195-206.
7. Ступин А.Б., Симоненко А.П., Быковская Н.В. Применение гидродинамически-активных полимерных композиций в пожаротушении // Бюлетень пожежної безпеки (науково-технічні проблеми та рішення). – Київ: НВП «Спецпожежсервіс», – № 2 (7). – 2001. – С. 4-5.
8. Ступин А.Б., Симоненко А.П., Быковская Н.В. Огнетушащие свойства растворов гидродинамически-активных полимерных композиций // Бюлетень пожежної безпеки (науково-технічні проблеми та рішення). – Київ: НВП «Спецпожежсервіс», – № 3 (8). – 2011. – С. 16-18.

УДК 544.144.5: 547.99

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ НА КРУПНЫХ СВИНОВОДЧЕСКИХ ФЕРМАХ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ ВОДОРАСТВОРИМЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ

Симоненко А.П., Собко А.Ю.
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк
sobko63@gmail.com

Создание крупных животноводческих комплексов, в большинстве развитых стран мира, было обусловлено острой необходимостью

обеспечения постоянно растущих потребностей населения в продукции животноводства. Так, например, перевод процесса выращивания свиней на промышленную основу, т.е. создание крупных свиноводческих комплексов (КСК), позволил в значительной мере уменьшить затраты на производство мяса свинины, облегчить труд обслуживающего персонала, механизировать и автоматизировать ряд производственных процессов. В тоже время, размещение большого количества животных на ограниченных площадях привело к тому, что КСК стали мощными источниками загрязнения окружающей среды в сельской местности. При этом значительному загрязнению навозными стоками подвергаются близлежащие водные источники и почва, а пылью, вредными и дурно-пахнущими газами – воздух свиноводческих помещений и атмосфера. В воздухе животноводческих помещений, особенно с подпольными накопителями навозных стоков, выявлено около 30 различных вредных газов, среди которых, в первую очередь, следует выделить: аммиак, сероводород, меркаптаны, метан и др., которые влияют на здоровье обслуживающего персонала, снижают продуктивность животных. По мнению специалистов животноводства продуктивность животных на 50–60% определяется кормами, на 15–20% уходом и на 10–30 % микроклиматом в животноводческих помещениях. Отклонение параметров микроклимата от установленных санитарных норм приводит к уменьшению прироста живой массы на 20–35 %, увеличению падежа молодняка на 5–40 %, снижению устойчивости животных к заболеваниям, дополнительному расходу кормов, сокращению срока службы оборудования, машин и самих зданий.

В связи с вышеизложенным возникла острая необходимость в разработке высокоэффективных, с точки зрения экологии, технологий по утилизации навозных стоков и уменьшению выделения из них вредных и дурно – пахнущих газов. При этом необходимо доступными технологиями усовершенствовать процесс глубокой очистки навозных стоков от взвешенных твердых частиц, а также, с целью экономии электроэнергии, выбрать и обосновать способ снижения гидравлических потерь в напорных трубопроводах канализационных систем и систем водоотведения.

В ходе предварительных исследований авторами было установлено, что на скорость биохимических реакций разложения, находящихся в воде (или смоченных водой) органических отходов, в том числе и навоза, эффективно влияют микродобавки высокомолекулярных полимеров – полиэтиленоксида (ПЭО) и полиакриламида (ПАА). В основе этого воздействия, вероятно, лежит образование на поверхности разлагающихся частиц навоза адсорбционного слоя из макромолекул ПЭО и ПАА. Такой слой препятствует распаду крупных частиц навоза на мелкие и, как следствие этого, предотвращает увеличение поверхности частиц, на которой протекают биохимические реакции, сопровождающиеся выделением вредных и дурно-пахнущих газов.

Дальнейшие исследования были направлены на разработку состава и основ технологии приготовления композиции для обработки навозных стоков за счет введения в нее химических веществ, которые, наряду с

высокомолекулярным ПЭО, также уменьшают скорость биохимической реакции разложения навоза. Кроме этого такая композиция должна характеризоваться высокой скоростью растворения ПЭО, легко дозироваться с целью обеспечения оптимальных концентраций составных компонентов в растворах, которыми будут заполняться подпольные навозонакопители.

Эффективную очистку сточных вод от взвешенных частиц органического происхождения обычно проводят с применением специальных химических веществ (реагентов) – коагулянтов и флокулянтов, т.к. их действие связано с изменением агрегативной устойчивости стоков и образованием из грубодисперсных и коллоидных загрязнений крупных (с повышенной плотностью) быстрооседающих хлопьев и флокул.

В ходе проведенных авторами исследований была отработана технология получения модифицированного ПАА (МПАА) из выпускаемого отечественной промышленностью гелеобразного технического полиакриламида.

Проведенные специальные исследования показали, что МПАА, совместно с ленточными фильтр-прессами типа ЛМН, может эффективно использоваться для очистки навозных стоков КСК от взвешенных твердых примесей и уплотнения образовавшегося в процессе флокуляции осадка. Использование МПАА в качестве флокулянта, а также ленточных фильтр-прессов и мобильных установок позволяет решить проблему очистки навозных стоков КСК и тем самым в значительной мере уменьшить их отрицательное воздействие на окружающую среду.

1. Крупные животноводческие комплексы и окружающая среда (гигиенические аспекты)/Под ред. Д.П.Никитина. – М.:Медицина, 1980. – 255 с.
2. Проблемы экологии и техногенно-экологической безопасности. (Монография) /Под общей редакцией д.т.н., проф. Ступина А.Б. – Донецк: ДонНУ, 2010. Раздел 13. Симоненко А.П. Применение водорастворимых полимерных композиций для улучшения экологической обстановки на животноводческих комплексах /А.П. Симоненко, А.Б.Ступин, А.Ю. Собко. – С. 446-470.

УДК 614.7

УТИЛИЗАЦИЯ БАТАРЕЕК

Скляр В.Ф.
Донецкий областной институт последипломного педагогического образования
ippotexno@i.ua

В тезисах рассматриваются вопросы вреда, который приносят использованные электрические батарейки, люминисцентные и «энергосберегающие» лампы. Затрагивается проблема их повторного использования или утилизации. Предлагаются первые шаги по предотвращению заражения почвы и воды от использованных электрических приборов.

Ключевые слова**:** батарейка; электрические люминисцентные и «энергосберегающие» лампы; утилизация, переработка; цветные металлы, картон, пластик; сбор батареек; постройка перерабатывающего завода; заражённая почва, вода, воздух.

Батарейка – удобный источник электрической энергии. Не секрет, что в настоящее время большинство электроприборов (часы, ноутбуки, фонарики, детские игрушки и т.п.) работает на батарейках. Но, при всей своей удобности, ёмкости они не могут работать вечно. Даже аккумуляторы, более долговечные, и те выходят из строя.

Выбрасывать батарейку в мусор, хранить дома, довольно опасно. Использованные элементы питания представляют большую опасность как для окружающей среды, так и для человека. Они содержат в своём составе очень опасные элементы, такие как ртуть, свинец, цинк, олово, магний и другие химические элементы. Под действием атмосферных осадков оболочка батареек разлагается и содержащиеся в ней химические элементы попадают в воду, почву, воздух. К примеру, один из самых опасных химических элементов – ртуть – может попасть в организм человека из воды, из растений, продуктов, попавших в зону заражения. Одна маленькая батарейка способна отравить 400 литров воды или заразить 20 квадратных метров почвы. Это равноценно примерно заражению двух с половиной ванн воды или двух грядок картофеля или двух грядок клубники. Токсичные металлы через воздух, воду, почву попадают в организм человека, вызывают в нём генетические изменения, нарушения репродуктивных функций, онкологические заболевания.

К вреду, причиняемому батарейками можно приравнять и вред от люминисцентных и, так называемых, «энергосберегающих» лампочек. Эти осветительные приборы содержат в себе пары ртути, которые являются очень опасным ядом. Если прикинуть, сколько у нас в быту и на производстве, батареек, энергосберегающих, люминисцентных ламп, то масштабы проблемы становятся глобальными. Уменьшить их вредное влияние можно несколькими способами. Простейший – утилизация. В этом случае вредные элементы не попадают в воду, воздух, почву. Реально при этом наладить их повторное использование. Для производителей отработанная батарейка – это источник цветных металлов и минералов. После переработки батарейки из её компонентов получают выделенные сухие химические компоненты, картон, пластик. После этого их можно использовать повторно.

Сейчас всё острее стоит проблема переработки и утилизации использованных батареек, люминисцентных, энергосберегающих лампочек.
У населения их скапливается большое количество. Практически все поступают просто – выбрасывают в мусор. Но ведь это наносит громадный вред природе и людям, которые проживают на прилегающей территории, которые приобретают продукты, выращенные на заражённой территории. Поэтому, стоит задуматься о строительстве завода по переработке или утилизации использованных электроприборов. Это даст ощутимый экономический эффект: для изготовления новых батареек и ламп появятся цветные металлы, картон, пластик, стекло, которые на мировом рынке стоят недёшево и отпадёт необходимость их привозить издалека. Сбор перечисленных отработанных электроприборов можно

наладить очень просто: в людных местах выставить несколько баков или специальных урн для сбора таких приборов (отдельно для каждого) и над ними вывесить надписи, поясняющих предназначение каждой ёмкости. Предварительно на баннерах, в прессе поместить объявления о проводимой акции. Население республики откликнется на данный призыв, и будет приносить отработанные батарейки, лампочки для их дальнейшей переработки. В первую очередь необходимо хотя бы собрать и складировать данные электрические приборы, чтобы они не попадали на свалки и не отравляли природу. Ведь опасность от отравленной природы касается каждого из нас. А восстановить природные ресурсы (воду, почву) непросто: требуется длительное время (десятки лет) и громадные денежные вложения для рекультивации почвы, очистки воды. Это обязывает всех жителей республики не быть равнодушными к такой глобальной проблеме, как утилизация использованной «маленькой батарейки».

УДК 532.5.032: 658.567

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ГИДРОСТРУЙНЫХ МАШИН ДОБАВКАМИ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИ-АКТИВНЫХ КОМПОЗИЦИЙ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ В ТЕХНОГЕННО-ОПАСНЫХ УСЛОВИЯХ

Фоменко С.А., Симоненко А.П., Асланов П.В.
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк
fomenko70@gmail.com

Анализ результатов работы оперативных подразделений Министерства по чрезвычайным ситуациям (МЧС) показал, что ряд технологий и технических средств, используемых в ходе ликвидации последствий техногенных аварий и природных катастроф, требуют усовершенствования. Прежде всего это относится к выполнению аварийно-восстановительных работ на предприятиях химической, нефтехимической, угольной, газовой промышленности и др., а также при авариях на атомных электростанциях.

В основном проблемы этих технологий и технических средств связаны с выполнением работ по резанию поврежденного оборудования и утилизации остатков разрушенных зданий в пожаро – и взрывоопасных условиях. Так, например, в ряде случаев считается недопустимым проводить такие работы с использованием традиционных технологий «горячего» резания твердых материалов. Эта проблема также актуальна при утилизации боеприпасов, выполнении работ в сложных геологических условиях – при добыче полезных ископаемых в шахтах опасных по метану и пыли.

Результаты лабораторно-стендовых исследований и натурных испытаний, полученные различными авторами, показали принципиальную возможность эффективного применения гидроструйных технологий, в основе которых лежит использование высокоскоростных сплошных и импульсных струй, для разрезания и разрушения твердых материалов. По мнению

специалистов МЧС, при условии улучшения геометрических и динамических параметров струй, такие технологии могут успешно использоваться для выполнения работ в техногенно-опасных условиях. При этом отмечается, что гидроструйные технологии (при реализации в таких случаях) в ближайшем будущем не будут иметь альтернатив.

Важным резервом повышения эффективности работы гидроразрезающих и гидроимпульсных машин (ГРМ и ГИМ) может быть использование в качестве их рабочих жидкостей растворов гидродинамически-активных высокомолекулярных полимеров (ВП) – полиэтиленоксида (ПЭО) и полиакриламида (ПАА). Об этом свидетельствуют результаты предварительных исследований применения заранее приготовленных растворов ПЭО и ПАА в качестве рабочих жидкостей ГРМ и ГИМ. Однако, присущие макромолекулам этих ВП в растворах окислительная и механическая деструкции, которые существенно уменьшают воздействие полимерных добавок на турбулентность в подводящих трубопроводах и в струях, поставили под сомнение возможность широкого использования этого способа для повышения эффективности работы гидроструйной техники.

Цель настоящей работы – повышение технических характеристик ГРМ и ГИМ за счет улучшения геометрических и динамических параметров высокоскоростных сплошных и импульсных струй, в т.ч. и затопленных сплошных струй, для выполнения работ в зонах с повышенными пожаро – и взрывоопасностью, в сложных геологических условиях, при ликвидации последствий техногенных катастроф и природных бедствий, путем применения быстрорастворимых полимерных композиций.

В ходе проведения физико-химических исследований и технологических проработок были разработаны составы и способы приготовления ультра-слабых быстрорастворимых полимерных покрытий на основе ПЭО и ПАА [5, 6], а также водорастворимые наполнители для флоковых покрытий. Так, например, технологический процесс приготовления лакокрасочного материала (ЛКМ) для получения ультра-слабого полимерного покрытия сводится к выполнению следующих операций. Первоначально проводим смешивание порошкообразного ПЭО с наполнителем и изопропиловым спиртом. Полученную суспензию продуваем аргоном или углекислым газом в течение 20–30 минут (с целью исключения окислительной деструкции ПЭО) с расходом (30–70) $м^3$ на $1м^3$ суспензии.

По аналогичной схеме продуваем растворитель ПЭО – хлористый метилен и смешиваем его с заранее полученной суспензией при следующем соотношении компонентов (в вес.ч.):

- ПЭО – 100;
- наполнитель (всплывающая алюминиевая или бронзовая пудра) – 5–50;
- изопропиловый спирт – 1800–1925;
- хлористый метилен – 1800–1925.

После этого полученную смесь подвергаем продувке в течение 20-30 минут с тем же расходом инертного газа и герметично упаковываем. Через 3-е суток, после полного растворения ПЭО в безкислородной атмосфере, ЛКМ готов к употреблению. В таких условиях ЛКМ хранится до момента его

использования – нанесения на армирующие вставки проточных кассет. Создание таких полимерных покрытий обусловлено необходимостью исключения окислительной и механической деструкций макромолекул в полимерных растворах при их прохождении через подпиточные насосы и насосы высокого давления гидроструйных машин. Нанесение покрытий на армирующие вставки проточных кассет обеспечивает приготовление рабочих жидкостей с гидродинамически-активными полимерами, (при их подаче к соплу) на участках трубопроводов высокого давления. При этом потеря добавками полимера гидродинамической эффективности за счет механической деструкции исключается.

Предварительные исследования показали высокую эффективность применения полимерных композиций в виде флоковых покрытий с водорастворимыми наполнителями и ультра-слабых покрытий для повышения эффективности ГРМ и ГИМ.

Так, например, сформированные в соплах высокоскоростные свободные сплошные струи из полимерных растворов могут применяться для удаления поврежденных участков труб нефте – и газопроводов, резания высокоактивных длиномеров (ВАД) на атомных электростанциях, утилизации боеприпасов (вскрытие корпусов и вымывание из них взрывчатых веществ) и т.д. В тоже время импульсные свободные струи найдут широкое применение при добыче полезных ископаемых в шахтах опасных по метану и пыли, а также при утилизации остатков разрушенных зданий.

1. Ступин А.Б. Повышение разрушающей способности импульсных струй путем применения гидродинамически-активных веществ / А.Б. Ступин, Б.С. Любарский, А.П.Симоненко, В.С.Коломиец, В.В.Гулин // Теоретическая и прикладная механика: науч.-техн. сб. – Харьков: Основа, 1995. – Вып. 25. – С. 126-130.
2. Stupin A.B. Increasing the destructiveness jet by the application of hydrodynamically active substances / A.B.Stupin, B.S. Lubarskiy, A.P.Simonenko, V.S.Kolomiets, V.V.Gulin // Journal of Mathematical Sciences. – 1997. – VOL. 84, No. 6. – P. 11552-1555.
3. Ступин А.Б. Гидродинамически-активные полимерные композиции в энергосбережении и экологии / А.Б.Ступин, А.П.Симоненко, П.В.Асланов. – Донецк: ДонГУ, 1999. – 230 с. (монографія).
4. Проблемы экологии и техногенно-экологической безопасности. (Монография) / Под общей редакцией д.т.н., проф. Ступина А.Б. – Донецк: ДонНУ, 2010. С.140-200.
5. Ступін О.Б. Патент України № 67756 МПК СО8К 5/01 (2006.01) Спосіб приготування лакофарбних матеріалів для отримання водорозчинного покриття на основі політиленоксиду / О.Б.Ступін, О.П.Симоненко, О.І.Сердюк, С.О.Фоменко. – №u201107618; Заявл. 16.06.2011; Опубл. 12.03.2012, Бюл. №5.
6. Ступін О.Б. Патент України № 67757 МПК СО8К 5/01 (2006.01) Склад водорозчинного покриття для зниження гідродинамічного опору / О.Б.Ступін, О.П.Симоненко, О.І.Сердюк, С.О.Фоменко. – № u201107619; Заявл. 16.06.2011; Опубл. 12.03.2012, Бюл. №5.
7. Ступин А.Б. Применение гидроструйных технологий для резки различных материалов в особо опасных условиях / А.Б.Ступин, А.П.Симоненко, П.В.Асланов // В сб. трудов науч.-практ. конф. «Оценка техногенного воздействия на природную среду. Новые технологии очистки промвыбросов, возвратных вод, переработки и утилизации отходов». – Кременчуг. – 1997. – С. 43-45.

УДК 504.062.2

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ УТЕЧЕК ДИОКСИДА УГЛЕРОДА НА ОКРУЖАЮЩУЮ ПРИРОДНУЮ СРЕДУ ДОНБАССА

Шеставин Н.С., Недопекин Ф.В., Гучмазова Т.К.
ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», г. Донецк
guchmazova@bk.ru

Глобальное изменение климата сейчас уже стало неоспоримой угрозой для мирового развития, а главным виновником этих изменений признаны выбросы парниковых газов в атмосферу и, в первую очередь, эмиссия диоксида углерода (CO_2) из стационарных источников. Внедрение технологий улавливания и хранения углерода (УХУ) в энергетике и в других отраслях промышленности позволит временно смягчить последствия изменения климата до разработки благоприятных для климата источников энергии [1]. Но при использовании технологий УХУ возникают риски утечки CO_2, которые могут оказывать неблагоприятное влияние на окружающую природную среду.

Оценка и ранжирование этих экологических рисков утечки CO_2 при внедрении технологий УХУ в Донбассе является целью этого исследования, которое состоит в выполнении следующих задач:

- создание географической информационной системы (ГИС) объектов с риском утечки CO_2: источников CO_2, возможных путей транспортировки и перспективных участков геологического хранения CO_2, а также субъектов с риском воздействия утечек CO_2: водных ресурсов, различных типов почвы и видов растительности;
- разработка методов анализа экологических рисков утечки CO_2 при адаптации технологий УХУ с учетом географических, демографических и экологических факторов;
- выполнение, на основе созданной ГИС, ранжирования объектов и субъектов рисков утечки CO_2 при различных вариантах реализации процессов адаптации технологий УХУ в Донбассе;
- оценка утечки CO_2 из подземных хранилищ на субъекты окружающей природной среды: воду, почвы и растительность.

Необходимая для проведения этого исследования ГИС создана на базе Интернет-сервиса Google Earth Pro, где построены слои как объектов, так и субъектов риска утечки CO_2. Итоговый рейтинг экологической безопасности перспективных участков геологического хранения CO_2 был определен посредством метода Мультикритериального анализа (Multi-Criteria Analysis – MCA) на основании данных созданной многослойной ГИС.

Созданная ГИС содержит слой источников эмиссии CO_2, которые расположены на территории Днепропетровской, Донецкой, Запорожской, Луганской и Харьковской областей и представлены 12 угольными тепловыми электростанциями, 13 металлургическими заводами, 14 коксохимическими заводами, 1 газовой теплоэлектроцентралью, 3 химическими заводами, 8 цементными заводами и 39 действующими угольными шахтами.

Затем эта ГИС была дополнена слоем с элементами существующей на территории этих областей газотранспортной системы, которые могут быть использованы для транспортировки CO_2 и содержат магистральные газопроводы, распределительные газопроводы, компрессорные станции и подземные газовые хранилища.

Анализ геологических структур [2] этих территорий с учетом демографических факторов позволил дополнить ГИС слоем из 8-ми участков геологического хранения сверхкритического CO_2. Все вместе эти слои ГИС являются объектами риска для территорий Донбасса в соответствии с международным стандартом по управлению рисками [3].

Возможные утечки CO_2 в процессах улавливания и транспортировки будут носить характер аварийной ситуации, поэтому должны быстро идентифицироваться и устраняться. А вот утечки из подземных хранилищ сверхкритического CO_2 являются непредсказуемыми и сложными в обнаружении. В связи с этим участки, на которых будут располагаться подземные хранилища CO_2, имеют риски негативного воздействия на человека и окружающую природную среду. Определив площади этих хранилищ, дистанции между различными объектами и принимая во внимание географические и демографические характеристики территорий с помощью метода МСА было произведено ранжирование рисков утечки CO_2 в процессах улавливания на предприятиях кластеров источников эмиссии CO_2, а также в процессах геологического хранения CO_2 на перспективных участках, с учетом протяженности используемых для транспортировки CO_2 трубопроводов как существующих в газотранспортной системе, так и новых, которые необходимо построить.

В результате анализа был определен рейтинг кластеров источников эмиссии CO_2: 1 место занял Славянский кластер с объемом эмиссии CO_2 = 5,722 Мт в год; 2 – Криворожский = 23,576; 3 – Северодонецкий = 4,030; 4 – Луганский = 5,321; 5 – Донецкий = 17,930; 6 – Мариупольский = 14,927; 7 – Запорожский = 5,673; 8 – Харьковский = 10,782; 9 – Углегорский = 2,694; 10 – Днепропетровский = 5,508. Название кластера выбрано по названию города, который находится в центре территории расположения группы источников эмиссии CO_2. При этом учитывались: объем эмиссии CO_2 в год; количество предприятий с улавливанием CO_2; длина дополнительных трубопроводов для CO_2; расстояние от кластера до участка хранения CO_2.

Также был определен рейтинг перспективных участков геологического хранения CO_2: 1 место занял Старобельский участок с полезной площадью = 10522 км^2; 2 – Лозовской = 2336; 3 – Красноградский = 4749; 4 – Новомосковский = 4490; 5 – Коломакский = 1808; 6 – Купьянский = 3661; 7 – Краматорский = 2626; 8 – Балаклавский = 3693. Название участков выбрано по названию города, который находится на территории участка или вблизи него. Основными параметрами для анализа были: полезная площадь участка; количество человек, проживающих на территории участка; средняя плотность населения на участке; численность населения городов, расположенных вблизи участка.

Влияние возможных утечек CO_2 на окружающую природную среду было проанализирована на основе созданных дополнительных слоев ГИС, которые включали в себя информацию о следующих субъектах риска воздействия утечек CO_2 из хранилищ:

- поверхностные воды, где 34,1 % площади бассейна реки Северский Донец, а также 17,8 % – бассейна реки Днепр, занимают участки хранения CO_2 и могут быть подвергнуты воздействию утечек CO_2;

- подземные воды, где 42,7 % площади Днепровско-Донецкого артезианского бассейна совпадают с участками хранения CO_2, 18,1 % – Донецкой провинции и 5,1 % – провинции Украинского щита могут оказаться под влиянием утечек CO_2;

- поверхностный слой почвы, где 73,6 % площади дерново-песчаных почв, 69,5 % – темно-серых оподзоленных почв, 55,0 % – луговых почв, 47,4 % – дерново-подзолистых почв, 22,8 % – черноземов типичных и 20,4 % – черноземов обычных находятся в зоне возможных утечек CO_2;

- растительность, где 56,3 % площади северо-степных низменно-равнинных, 48,7 % – северо-степных равнинно-возвышенных, 28,8 % – лесостепных возвышенных и склоновых расчлененных, 24,8 % – лесо- и лугостепных возвышенных расчлененных, 11,4 % – северо-степных возвышенных и 1,0 % – северо-степных возвышенно-равнинные ландшафтов, на которой находятся участки возможных утечек CO_2, приводящих к изменению концентрации CO_2 в приземной атмосфере и почве;

- растительность заплав, где 47,0 % площади заплав бассейна реки Северский Донец и 18,8 % – бассейна реки Днепр приходится на участки хранения CO_2.

Выполненное исследование обосновало возможность использования технологий УХУ на предприятиях и территориях Донбасса с условием соблюдения необходимых мер безопасности для обеспечения смягчения последствий глобальных изменений климата.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Тематической программы Европейского Союза для окружающей среды и устойчивого управления природными ресурсами, в частности энергией (Грантовый контракт между Европейской Комиссией и Донецким национальным университетом от 29.12.2010 г. № DCI/ENV 2010/243-865 «Низко-углеродные возможности для индустриальных регионов Украины (LCOIR-UA)»).

1. Специальный доклад МГЭИК: Улавливание и хранение двуокиси углерода – Резюме для лиц, определяющих политику и Техническое резюме / Под ред.: Берт Метц и др. – МГЭИК, 2005. – 66 с.
2. Низко-углеродные возможности для индустриальных регионов Украины: монография / Н.С. Шеставин, Ф.В. Недопекин, В.В. Осетров, В.В. Юрченко. – Дружковка: Юго-Восток, 2015. – 239 с.
3. ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010 – 2011: Менеджмент риска – Методы оценки риска (ISO/IEC 31010:2009 – Risk management – Risk assessment techniques). – Москва: Стандартинформ, 2012. – 74 с.

УДК 504.05:661.2

ТЕРРИКОНЫ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ДОНБАССА

Шило И.Н.[1], Котенко А.А.[2]
[1]Донецкий транспортно-экономический колледж,
[2]Государственное учреждение «Институт физико-органической химии и углехимии им. Л.М. Литвиненко», г. Донецк
iren_shilo@mail.ru

На территории Донбасса высокая концентрация промышленности и сельского хозяйства, транспортной инфраструктуры, большая плотность населения создали огромную нагрузку на биосферу – наивысшую в Европе. Донецкая область является регионом с критическим состоянием окружающей природной среды. Экологические проблемы накопились на протяжении длительного времени, а негативные, что произошли в окружающей среде, приближаются к необратимым.

Так, выбросы загрязняющих веществ в атмосферу, размещение отходов, сбросы загрязняющих стоков в водоемы составляют соответственно 31%, 30% и 25% от общеевропейских показателей. В течение года на один квадратный километр территории области выбрасывается в атмосферу 70 тонн загрязняющих веществ, а гранично-допустимое загрязнение атмосферного воздуха в большинстве промышленных городов классифицируется как «опасное» и «чрезвычайно опасное».

Наш родной Донбасс называют угольным краем. Уголь является не только ценным энергетическим сырьем. Его переработка дает возможность промышленности получать разнообразнейшие химические продукты. В процессе коксования угля получают кокс, необходимый для металлургии, а также множество различных соединений: бензол, фенол, нафталин, антрацен, аммиак, роданиды, цианиды и многое другое. Эти вещества являются сырьем для получения растворителей, лекарств, пластмасс. Процесс газификации угля дает возможность получать ценное углеводородное сырье. В составе угля также присутствуют германий, скандий, уран (всего около 60 элементов). Д.И. Менделеев отмечал, что топить печь углем, все равно, что топить печь ассигнациями.

Однако развитие угледобывающей промышленности приносит краю также целый комплекс экологических проблем. Ликвидация угольных шахт, которая осуществляется без учета прогнозных оценок экологических последствий с частыми нарушениями природоохранного законодательства в условиях недостаточного финансирования мероприятий, направленных на обеспечение экологической безопасности, по остаточному принципу, приводит к существенному осложнению экологической ситуации в регионе.

Установлено, что с 1га поверхности терриконов ежегодно ветром сдувается до 10 тонн пыли, водными потоками вымывается более 35 тонн мелкозема, значительное количество водорастворимых солей, радионуклидов, тяжелых металлов, фтора. При подтоплении и затоплении территории резко увеличивается интенсивность растворения техногенных загрязнителей в почвах и подстилающих грунтах, что, в свою очередь,

повышает риск загрязнения поверхностных и подземных водозаборов и гидросферы в целом. Загрязнение почвенного покрова вызывается также природными отвалами, количество которых в регионе составляет 566, а площадь, которую они занимают – 4,8 тыс. га, и шламовыми накопителями, количество которых составляет 240, а площадь – 980 га.

Указанные процессы негативно влияют на изменение качества почвенного покрова территорий, на которых происходит закрытие шахт.

Анализ и сопоставление данных по геохимической специализации установленных природно-техногенных типов почв и основных видов минерального сырья, извлекаемого из недр и потребляемого производственными комплексами Донбасса (углей, железных и марганцевых руд, известняков доломитов и др.), а также образующихся промышленных отходов показывают, что измененные техногенными процессами почвы, как правило, унаследуют геохимическую специализацию от минерального или вторичного сырья – через промышленные отходы или минуя их. Таким образом, определяется причинно-следственная связь в компонентной цели: сырье – промышленные отходы – окружающая среда.

Чиновники предлагали сравнять терриконы с землей, а породу использовать для строительства дорог. В крайнем случае – просто вывезти за город. На освободившейся территории планировали возвести элитные дома. Впрочем, ученые Донбасса считают, если рационально использовать терриконы, выгода может быть значительно большей, чем от дорогостоящих квартир.

Только в Донецке 68 терриконов, всего по области их более 700. По виду – горы, по содержанию – промышленная помойка. Пылят, выделяют вредные вещества, и даже повышают радиационный фон. 20 микрорентген в час – естественный радиационный фон в Донецке. Такой же, как на границе чернобыльской зоны отчуждения.

Природные отвалы, или терриконы, как мы привыкли их называть, являются источником выделения вредных веществ в атмосферный воздух: это оксид азота, оксид углерода, сернистый газ. Если брать данные по Донецкой области, то с этих отвалов выделяется около 70 тыс. тонн загрязняющих веществ в год.

По данным кафедры разработки полезных ископаемых Донецкого национального технического университета в породных отвалах высокое содержание редкоземельных металлов – галлия, германия, почти вся таблица Менделеева, есть даже золото и алюминиевая руда, особенно много серы. На поверхности уже сложено все это, и нужно пробурить скважину, опробовать терриконы. Промышленная разработка терриконов реальна лишь в отдаленном будущем. Зато очистить город от вредных для здоровья горожан отвалов можно уже сегодня, причем за счет бизнесменов.

Таким образом, эколого-геохимические исследования почв, рек, растений, аэрозольных выпадений промышленных агломераций Донбасса свидетельствуют о состоянии экологического кризиса. Без поисков научных проработок вариантов выхода из кризиса и практических шагов по улучшению экологической ситуации она может стать катастрофической.

Мы решили заняться исследованием химического состава пород различных терриконов с целью исследования возможных путей их

переработки. Данная работа была посвящена определению содержания серы в породах донецких терриконов. Определено содержание серы в образцах породы, взятых с глубины 0,80-1,00м на терриконах действующих шахт г.Донецка: ш/у им.Засядько (1), ш/у им. Скочинского (2), на старых терриконах шахты Ливенка (3) и шахты им. Шверника (4).

Таблица

Шахта	1	2	3	4
Sобщ.	1,342	1,837	0,254	0,327

Достаточно большое содержание серы в породе терриконов шахт, которые работают, меньшее содержание в породе старых терриконов. Уменьшение происходит из-за процессов взаимодействия с окружающей средой.

Рассматривая вариант переработки отходов горнодобывающих предприятий можно предложить реконструировать существующие цеха по производству серной кислоты, добавив печь для обжига твердого сырья на коксохимических заводах.

Использование отходов давно закрытых шахт (старые терриконы) не рационально из-за низкого содержания серы. Поэтому для улучшения экологической обстановки эти терриконы лучше раскапывать и озеленять.

УДК 621.7

О ТЕХНОСФЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Шинкарева Т.А., Гедрович А.И.
Луганский государственный университет имени Владимира Даля
tashka.lg@mail.ru

Безопасность туда – главная потребность человека. Применение современных технологических процессов и сложнейшей техники сегодня создает новые проблемы защиты окружающей среды и экологической безопасности. Воздушная среда является одним из показателей взаимодействия человека с техносферой. В результате деятельности человека химические свойства воздуха со временем изменяются и, к сожалению, не в лучшую сторону. Сегодня в производстве используют около 60000 химических веществ. В атмосфере растет количество углекислого газа, аэрозолей и других вредных веществ.

Основные техногенные объекты загрязнения воздушной среды – это различные виды промышленности, в том числе и литейное производство. При производстве одной тонны отливок из стали и чугуна выделяется около 50 кг пыли, 250 кг оксидов углерода, 1,5–2 кг оксидов серы и азота и до 1,5 кг других вредных веществ (фенола, формальдегида, ароматических углеводородов, аммиака, цианидов). В водный бассейн поступает до 3 куб. м сточных вод и вывозится в отвалы до 6 т отработанных формовочных смесей [1,2]. Все это приводит к загрязнению воздуха и окружающей среды, что негативно влияет на здоровье и работоспособность человека.

Поскольку химические, физические и др. факторы в концентрированной форме присутствуют в производственной среде, их анализ в современных литейных технологиях сегодня является актуальным.

Производственная среда по уровню безопасности и экологичности далека от допустимых требований. Характерные состояния взаимодействия в системе «человек – среда обитания» – это комфортное, допустимое, опасное и чрезвычайно опасное. Вторые два состояния недопустимы для процессов жизнедеятельности и развития природной среды.

Литейное производство по уровню экологичности является одним из опасных. Разработка мероприятий по улучшению воздушной среды на предприятиях и снижение вредного влияния на окружающую природу до допустимых уровней должно быть важнейшим в модернизации и развитии технологических процессов литейных производств. Для этого необходимо выявить вредные и опасные условия труда на рабочих местах и дать им объективную оценку.

Для анализа выбрано 24 технологии литья. Произведен анализ интенсивности следующих производственных опасных и вредных факторов: пыль, газы, аэрозоли, избыточное тепло, шум, вибрация, электромагнитное излучение, физические перегрузки, нервно-психическое напряжение, искры, брызги, повышенное напряжение в электрических цепях, движущиеся машины и механизмы. Работа выполнялась экспериментально по материалам лабораторных исследований, анализу карт условий труда по результатам аттестации рабочих мест и литературным данным. Интенсивность факторов определялась по превышению предельно-допустимых концентраций и предельно-допустимых уровней (ПДК и ПДУ), где «ХХ» – интенсивный фактор, который превышает ПДК и ПДУ в несколько раз, «Х» – умеренный фактор соответствующий или незначительно превышающий ПДК и ПДУ, «–» – незначительный фактор или его отсутствие. По результатам исследований технологий литья составлены таблицы [3]. Общие сведения по интенсивности факторов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Интенсивность производственных факторов

№ п/п	Технологии литья	Интенсивный фактор	Умеренный фактор	Незначительный фактор
1	2	3	4	5
1	Песчано-глинистые формы	10	3	1
2	По газифицируемым моделям	7	5	2
3	Вауум-пленочная формовка	7	5	2
4	ХТС	6	3	5
5	ЖСС	5	3	6
6	ГТС	7	4	3
7	Кокильное	5	3	6
8	Оболочковые формы	7	3	4
9	Под регулируемым газовым давлением (ГД): а) под низким давлением	5	4	5
	б) вакуумным всасыванием	4	3	7
	г) с противодавлением	3	4	7
	д) под всесторонним ГД	3	2	9

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5
10	По выплавляемым моделям	6	3	5
11	Центробежное	6	5	3
12	Намораживанием	3	4	7
13	Суспензионное	2	9	3
14	В каменные формы	5	4	5
15	Непрерывное	2	4	8
16	В углеродные формы	5	3	6
17	В керамические формы	6	5	3
18	В магнитные формы	5	4	5
19	В гипсовые формы	1	10	3
20	По выплавляемым моделям	5	5	4
21	С кристаллизацией под давлением	4	4	6
22	С рассредоточенной литниковой системой	3	6	5
23	Под давлением	3	4	7
24	Электрошлаковое	5	5	4

При техническом перевооружении производственных процессов и внедрении новых технологий в литейном производстве на этапе проектирования необходимо учитывать интенсивные и умеренные производственные факторы. Систематизированные сведения по интенсивным вредным и опасным производственным факторам, приведенные в таблице 1 и в работе [3], представляют практическую ценность для разработки экологических проектов и выбора оптимальных технологических решений, направленных на улучшения условий труда литейщиков на рабочих местах и снижению выбросов в окружающую среду.

Выводы.

1. Безопасность техносферы на уровне предприятия в литейном производстве необходимо проводить только с учетом применения каждой конкретной технологии, для которой проведен соответствующий теоретический анализ и комплексный учет всех интенсивных и умеренных производственных факторов.

2. Модернизация в литейном производстве должна быть направлена на решение экологических, экономических проблем и на создание комфортных условий существования и деятельности человека.

1. Кривицкий В.С. Экологические проблемы литейного производства и пути их развития (ЗАО «ЦНИИМ-Инвест») [Электронный ресурс]: http://ci.crtm.ru/examples/my-components/news/329/ (дата обращения 15.04.2016).
2. Корниенко А.Э. Экология литейного производства с точки зрения модифицирования чугунов и сталей. // Иссл-го центра Модификатор (ИЦМ): [Электронный ресурс]: http://www.modificator.ru/ecology.html (дата обращения: 04.04. 2016).
3. Шинкарева Т.А. Вредные и опасные производственные факторы в современных литейных технологіях / Шинкарева Т.А., Гедрович А.И., Голофаев А.Н. // Вісник СНУ ім. В. Даля. – Луганськ: вид-во СНУ ім. В. Даля, 2010. – № 12 (154) ч. 2. – С. 209-218.

СОДЕРЖАНИЕ

Беспалова С.В. Концепция развития Донецкого национального университета как научно-образовательного и инновационного кластера Донбасса 5

Ковалёв А.М. Развитие и современное состояние аналитической механики 15

Варюхин В.Н. Наноматериалы – основа современных технологий 19

Тематическое направление «**Механико-математические науки**»

Секция «***Компьютерно-математическое моделирование в задачах механики деформируемых сред***»

Алтухов Е.В., Фоменко М.В. Однородные решения краевых задач о гармонических колебаниях поперечно-неоднородных плит 22

Болнокин В.Е., Пачева М.Н., Сторожев В.И. Трансформация поперечных волн в зоне прямоугольного излома волноводного слоя с сечением меандровой структуры 25

Житняя В.Г. Математическое моделирование в задаче о колебанях сплошного прямолинейно-ортотропного цилиндра 28

Калоеров С.А. Потенциальные электромагнитные поля в пьезопластинах при механических, электромагнитных и тепловых воздействиях 29

Калоеров С.А., Занько А.И. Приближенный метод решения задач об изгибе анизотропных плит с криволинейными отверстиями 30

Калоеров С.А., Кошкин А.А. Решение задачи об изгибе плиты с эллиптическим или линейным включением 31

Кодак Н.И., Ложкин В.Н. Упругопластическое равновесие изотропной плоскости с двумя одинаковыми круговыми отверстиями 34

Моисеенко И.А. Спектры продольно-сдвиговых волн в трансверсально изотропных полых цилиндрах с функционально-градиентной радиальной неоднородностью.... 36

Нескородев Р.Н. Вязкоупругое поведение анизотропного массива горных пород вблизи протяженной выработки 38

Сторожев В.И. Теоретический алгоритм анализа краевой задачи о вторых гармониках волн кручения в трансверсально-изотропном цилиндре на основе модели физически-нелинейного деформирования 41

Сторожев С.В., Номбре С.Б. Нечеткие оценки для фазовых скоростей нормальных упругих волн в ортотропном слое с проскальзывающими закреплениями граней.. 43

Шалдырван В.А. О проблеме концентрации напряжений наноразмерных структур 46

Шарый В.А., Пайков В.И. Задача о вдвигании плоского поршня в сжимаемую жидкость 47

Секция «***Актуальные проблемы теории пластин и оболочек***»

Бондаренко Н.С., Гольцев А.С. Оценка влияния условий теплообмена в задачах термомеханики разрушения изотропных пластин на базе обобщённой теории 51

Закора С.В., Чехов В.Н. Напряжения в трансверсально-изотропной сферической оболочке с жёстким круговым включением, нагруженным усилиями или моментом... 54

Нагорная Р.М., Цванг В.А. Фундаментальные решения уравнений динамики тонких пластин и оболочек и их приложения 57

Секция «***Современные вопросы стохастики***»

Бондарев Б.В., Жмыхова Т.В. О вероятности разорения в модели страхования с учетом инвестирования капитала в рисковые и безрисковые активы 59

Бондарев Б.В., Курилина Ю.О. Некоторые задачи для случайных полей 60

Бондарев Б.В., Майорова С.А. Усреднения при быстрых осцилляциях 62

Бондарев Б.В., Пола А.В. О некоторых статистических критериях 65

Бондарев Б.В., Хмелина М.И. О работе страховых компаний на (B, S)-рынке 66

Бондарев Б.В., Щепетнёва А.В. Некоторые модели рисковых активов 69

Гатун А.П., Михненко Е.С. Экономическое прогнозирование с помощью эконометрических моделей производственных процессов 70

Грановский Я.И. Усреднение случайных функционалов от решений стохастических уравнений 72

Золотая А.В. Об оценке неизвестного параметра в системах со слабым сигналом II..... 74

Симогин А.А. Мартингальные меры в двумерной модели скачкообразной диффузии.... 75

Шурко Г.К., Шурко И.Л. Об одной стохастической модели экономики 77

Секция «***Математический анализ и дифференциальные уравнения***»

Агибалова А.В. О полноте множества корневых функций для 2*2 систем первого порядка 81

Ананьева А.Ю., Будыка В.С. Спектральная теория оператора Бесселя на конечном интервале и полуоси 83

Ананьева А.Ю. Одномерный оператор Шрёдингера с неограниченным потенциалом и точечными взаимодействиями 86

Волчков Вал.В., Волчков Вит.В. Теоремы единственности для функций с нулевыми взвешенными сферическими средними 88

Волчкова Н.П. Гармонический анализ векторных полей на евклидовых пространствах 90

Дегтярев С.П., Коломиец Ю.В. Некоторые открытые проблемы в моделях математической физики 93

Зарайский Д.А. О поведении на выпуклых множествах функций с нулевыми интегралами по шарам фиксированного радиуса 95

Заставный В.П. Задача о положительной определённости кусочно-линейной функции и её обобщение 97

Иванисенко Н.С. О функциях с нулевыми интегралами по симплексам 98

Иванов А.Ю. О описании класса множеств Борсука 99

Костенко А.С., Маламуд М.М., Натягайло Д.Д. Индексы дефекта матричного оператора Шредингера с дельта-взаимодействиями 102

Кузнецова О.И., Подкорытов А.Н. О сферических частичных суммах Фурье 104

Лиманский Д.В. Применение многоугольника Ньютона к исследованию априорных оценок для дифференциальных полиномов в пространствах с равномерной нормой на плоскости 105

Машаров П.А. О функциях с нулевыми интегралами по неодносвязным множествам... 107

Оридорога Л.Л. О радиально положительно определённых функциях 108

Павлов А.Л. Задача Коши для уравнения $\Delta^k \partial_t^2 u - u = 0$ в классе обобщенных функций медленного роста 109

Рудакова О.А. Вариационные задачи с интегральными ограничениями и вырождением в переменных областях 112

Сапронов Д.А., Шишков А.Е. Мгновенная компактификация носителей решений параболических уравнений высокого порядка типа диффузии-конвекции 115

Gaidar O.G., Gaidar E.V. Inversion of surfaces referred to the lines of curvature 116

Ignatyev A.O. Lyapunov stability in difference systems 119

Ignatyev O. New criterion of partial asymptotic stability in probability of stochastic differential equations 119

Секция «***Современные проблемы динамики твердого тела***»

Андрюхин А.И., Судаков С.Н. О движении жидкого эллипсоида и однородного твердого шара, гравитирующих друг с другом 123

Горр Г.В. Новая форма уравнений Эйлера-Пуассона 125

Данилюк Д.А. О свойствах параметров Родрига-Гамильтона в случае прецессий твердого тела с неподвижной точкой 127

Зыза А.В. О новом классе частных решений уравнений Кирхгофа-Пуассона 129

Ковалев А.М. Метод дополнительных функций и координатный подход в задачах устойчивости 130

Коносевич Б.И., Коносевич Ю.Б. Условия глобальной устойчивости многотоковой модели синхронного электромотора 133

Коносевич Б.И., Коносевич Ю.Б., Мозалевская Г.В. Свойство асимптотической устойчивости в целом двухтоковой модели асинхронного электромотора 135

Коносевич Б.И., Коносевич Ю.Б., Самсонов В.А. Новое асимптотическое представление угловых колебаний оси симметрии артиллерийского снаряда 135

Мазнев А.В., Белоконь Т.В. Одно инвариантное соотношение в задаче о движении гиростата с двумя вращающимися роторами 137

Панкратов И.А., Сапунков Я.Г., Челноков Ю.Н. Расчёт оптимальных траекторий орбитальной группировки ГЛОНАСС с помощью параметров Эйлера 139

Пилпани Ю.Ю. Методика исследования асимптотических движений твердого тела с помощью первого метода Ляпунова 142

Сапунков Я.Г., Молоденков А.В. Аналитическое приближенное решение задачи оптимального разворота осесимметричного твердого тела при произвольных граничных условиях 144

Щепин Н.Н. Исследование устойчивости положения равновесия системы тел с самопересечениями 145

Тематическое направление **«Физические и технические науки»**

Секция «***Физика конденсированного состояния и наноматериалы***»

Байгалиев Б.Е., Темникова С.В., Черенков А.В. Исследование влияния температуры спекания на механические свойства и материалоемкость изделий из полимерных материалов на основе порошкового пентапласта 148

Глухова Ж.Л., Гольцов В.А. Явление водородоупругости: теоретические и практические аспекты 150

Малашенко В.В., Малашенко Т.И. Надбарьерное движение краевых дислокаций в нанокристаллических материалах 152

Пойманов В.Д. , Метлов Л.С. Модель φ^6 фазовых переходов второго рода на языке параметра порядка и энтропии 155

Румянцев В.В., Федоров С.А., Гуменник К.В., Петренко А.Г. Электромагнитные возбуждения в неидеальной решетке – квантовые точки в массиве микрорезонаторов 157

Самойленко З.А., Ивахненко Н.Н., Пушенко Е.И., Пашинская Е.Г., Варюхин В.Н. Особенности атомного порядка строительной стали после винтовой экструзии…….. 160

Сирюк Ю.А., Безус А.В., Бондарь Е.Д., Смирнов В.В. Спонтанные фазовые переходы в доменных границах одноосной магнитной пленки 162

Сухорукова О.С. Граница раздела “оптически изотропная среда – одномерный магнитоэлектрический фотонный кристалл” как управляемая частотно-селективная поверхность 165

Секция «***Механика жидкости и газа***»

Асланов П.В., Фоменко С.А. Исследование влияния гидродинамически-активных добавок на характеристики течений со свободными границами 168

Белоусов В.В., Бондаренко В.И., Недопекин Ф.В., Бодряга В.В. Математическая модель гидродинамических и тепломассобменных процессов в агрегате печь-ковш .. 169

Бондаренко В.И., Бодряга В.В., Недопекин Ф.В., Белоусов В.В. Обучающая система для моделирования гидродинамических и тепломассообменных процессов в металлургии 172

Бородин М.А. Задача Стефана 174

Гюльмагомедов К.С. Защита лопастей турбины ветряной установки при неблагоприятных погодных условиях 176

Лучина А.Ю., Недопекин Ф.В., Семко А.Н. Управление качеством биологической очистки бытовых сточных вод 178

Масленников Д.А. Исследование распада струй, формируемых форсунками в ДВС с искровым зажиганием 181

Пометун Е.Д., Болонов Н.И., Лебедев В.Н. Оптимизация сужающего устройства для моделирования функции Хэвисайда в рабочей части аэродинамической трубы 184

Семко А.Н., Шерстюк Ю.В. Определение оптимальной формы сопла гидропушки для достижения максимального импульса высокоскоростного участка струи 187

Силенко Е.М., Силенко С.Е., Худяков И.И., Пригода Н.А. Разделимость статистик перемежаемого турбулентного течения 189

Симоненко А.П., Дмитренко Н.А., Асланов П.В. Основные закономерности снижения гидродинамического сопротивления турбулентного трения в растворах мицеллообразующих поверхностно-активных веществ 191

Толстых В.К., Бодряга В.Е. Задача идентификации температуропроводности при непрерывном литье 194

Финошин Н.В., Попова А.Е. Профили скорости в трубах с периодически изменяющимся поперечным сечением (ТПИПС) 197

Шамота В.П., Фалько А.Л., Козловская И.К. Применение уравнения Лагранжа второго рода к исследованию турбулентных вращательных течений 200

Секция «***Информационно-коммуникационные технологии и информационная безопасность***»

Барташ Б.А., Котенко В.Н., Котенко Ю.В., Шарий Т.В. Анализ сходства голосов на основе сравнения просодических характеристик речевого сигнала 203

Бельков Д.В., Едемская Е.Н. Исследование видеотрафика в среде Scilab 204

Гукай А.Е., Котенко В.Н., Лялин Р.О., Шарий Т.В. Цифровая обработка изображений сканированных документов низкого качества 206

Евдулов Д.В., Евдулов О.В. Система охлаждения элементов радиоэлектронной аппаратуры 207

Ефимович А.П. Влияние выходной емкости транзистора и активных потерь в нагрузочной цепи на энергетические характеристики насыщенного усилителя класса F_3 209

Котенко В.Н., Котенко Ю.В., Шапран В.Н., Шарий Т.В. Обнаружение голосовой активности на этапе предварительной обработки акустических сигналов 212

Котенко В.Н, Полищук И.Н., Шарий Т.В., Котенко Ю.В. Адаптация роевого алгоритма для решения задач выделения границ объектов на изображениях 214

Павлов М.Л., Ефимович А.П. Влияние настройки импеданса третьей гармоники на энергетические характеристики насыщенного усилителя класса F_3 217

Толстых В.К., Киселёва Л.Н. Единая регистрационная база граждан 219

Третьяков И.А, Павлов М.Л, Тебенева Т.С, Данилов В.В. Особенности становления информационных технологий 222

Тематическое направление **«Информационные технологии»**

Секция «***Современные методы математического моделирования и прикладные информационные технологии***»

Авдюшина Е.В., Носов А.А. Компьютерное моделирование информационной системы для профориентационной работы со школьниками 225

Гасанов З.З. Распараллеливание вычислений на Java 228

Горбачёв В.А., Пачева М.Н. Разработка алгоритма анализа содержимого документов на основе латентного семантического анализа и построения связей между структурными элементами 231

Губенко Д.В. Компьютерное зрение. Распознавание образов..... 233

Звягинцева А.В. К вопросу разработки событийных моделей состояния и развития урбанизированных территорий..... 235

Капитанов В.А., Иванова А.А. Принцип рангового обмена и границы его применимости 238

Курганский А.Н., Максименко И.И. Коалгебраические элементы теории экспериментов с автоматами 240

Максимова А.Ю. Автоматизированная система идентификационной экспертизы на основе нечеткой модели представления данных (на примере бензинов) 243

Мутин Д.И. Управление гетерогенными данными в медицинских информационных системах 245

Шевцов Д.В. Определение *u*-меры для кратчайших путей и *D*-отрезков на множестве атомарных элементов 247

Шевцова Е.В. Определение взаимного расположения элементарных составляющих моделей D-знаков 248

Шкодина Л.Н. Построение хэш-функции и создание электронно-цифровой подписи на базе симметричного и асимметричного шифров 250

Секция «***Документационное обеспечение процессов управления в информационном обществе***»

Андриенко В.Н. Информационное обеспечение в концепции управления промышленных предприятий информационного общества 253

Коробейникова К.В. Стратегии использования гибридных информационных хранилищ 256

Крулькевич М.И. К вопросу стандартизации информационного обеспечения в сфере управления 258

Курдюмова И.А. К проблеме комплексного управления системой документации 261

Мащенко Н.Е. Направления совершенствования системы документооборота в органах государственного управления в рамках информационного общества 264

Пономаренко Н.Ш. Актуальные вопросы документационного обеспечения государственных органов Донецкой Народной Республики 267

Филатова Я.В. Организация документационного обеспечения управления с нуля 270

Тематическое направление **«Экология, охрана окружающей среды и рациональное природопользование»**

Секция «***Современные биотехнологии в экологии***»

Басенко Д.И., Глухов А.З. Санирущая роль древесных растений в урбанизированой среде 273

Внуков С.Ю., Сафонов А.И. Карпологическая индикация в условиях городской среды 274

Захаренкова Н.С. Спектрофотометрическое определение концентраций хлорофиллов водорослей в условиях распространения ильменитовых песков на побережье Азовского моря 276

Золотой А.Л., Сафонов А.И. Индикация состояния различных промышленных экотопов с использованием *Reseda Lutea* l. 278

Мирненко Э.И. Оценка трофности водоемов по средней концентрации хлорофилла *a* в фитопланктоне прудов г.Донецка 280

Петракова Е.А., Анищенко Л.Н. Поглотительная способность макрофитов в отношении групп тяжелых металлов 282

Сафонов А.И. Технология биоиндикации в Донецком экономическом регионе 285

Стрельников И.И. Исследование стратегий адаптивной пластичности растений в ботанических садах 286

Хромых О.В., Постникова Г.В. Негативное влияние ионов кобальта и марганца на площадь листовой пластины проростков цветковых декоративных растений 288

Чайка А.В. Оптимизация культивирования перспективных грибов-объектов биотехнологии в лабораторных условиях 290

Шингисбаева Ж.А., Туракулова Е.А., Оразова М.М., Долтаева Б.З., Наумчук А.Э. Выбор биосорбентов для рекультивации почвы от нефтяных загрязнений..... 293

Секция «***Экология животных***»

Амолин А.В. К изучению стаций гнездования ос рода *Sceliphron* Klug (Hymenoptera, Sphecidae) в г. Донецке и его окрестностях 295

Рева М.В., Семушин Р.Д. Влияние антропогенных факторов на численность и распространение мошек Донецкой области и сопредельных территорий 298

Штирц А. Д. Экологическая структура населения панцирных клещей рекультивированного террикона шахты № 3-3-бис г. Димитрова 300

Ярошенко Н.Н. Вертикальное распределение панцирных клещей «Зуй-Горы» регионального ландшафтного парка «Зуевский» Донецкой области..... 303

Секция «***Экологический мониторинг в Донбассе***»

Бебешко Е.Н., Сафонов А.И. Мониторинговый эксперимент с использованием *Avena Fatua* L. 307

Власов П.А. Закономерности распределения сульфидных элементов в углях и отходах углеобогащения Донбасса 308

Глухов А.З., Сафонов А.И. Экосистемное нормирование по данным фитоиндикационного мониторинга 311

Калинина А.В., Исиков А.А., Сафонов А.И. Карполого-индикационная значимость рудералов в условиях городской среды 312

Литвинова В.А., Авдеева А.В., Сафонов А.И. Ботаническая экспертиза в экологическом мониторинге промышленного региона..... 314

Морозова Е.И., Сафонов А.И. Мониторинг в условиях промышленных экотопов с помощью мохообразных 317

Наумчук А.Э., Захаренкова Н.С., Сафонов А.И. Гидрохимические исследования сточных вод шахты Моспинская 318

Николаев И.Ю., Власов П.А. Эколого-геофизические исследования разломных зон 320

Рачкова К.С., Демьяненко Т.В. Географическая принадлежность инвазионных видов древесных растений города Донецка 321

Самошкина Э.Д., Сафонов А.И. Экотопическая обусловленность тератогенеза растений 323

Червоная А.Н., Сулейманова Ю.Б., Сафонов А.И. Индикационная значимость *Capsella Bursa-Pastoris* (L.) medik. в условиях урбанизированных ландшафтов Донбасса 324

Швец Я.И., Сафонов А.И. Генеративная диссимметричность *Betula Pendula* Roth. в антропогенно измененной среде 325

Шульгина Н.А., Сафонов А.И. Некоторые фитоиндикационные характеристики в экологическом мониторинге 327

Ярошева О.И. Природопользование и экологические проблемы 330

Секция «***Техносферная безопасность***»

Беляева А.В., Ульяницкая О.В. Формирование системы экологического менеджмента на промышленном предприятии в условиях модернизации экономики 333

Бодряга В.В., Бондаренко В.И., Белоусов В.В., Недопекин Ф.В., Прохоренко С.Ф. Математическое моделирование аэродинамики бурого дыма при переливах чугуна из миксера в ковш с учетом струй азота 335

Власов П.А. Закономерности распределения сульфидных элементов в углях и отходах углеобогащения Донбасса 338

Гольцов В.А., Гольцова Л.Ф. Основы новой концепции МАВЭ о водородной цивилизации будущего 340

Гольцов В.А., Гольцова Л.Ф., Котельва Р.В. Распределенное энергообеспечение предприятий экологически чистыми энергоносителями – будущее Донбасса 343

Друзь О.Н. Условия труда на малых предприятиях машиностроения 346

Звягинцева А.В. Система оценка опасности при загрязнении атмосферного воздуха по данным проявления токсического процесса у биообъектов 348

Лучина А.Ю., Недопекин Ф.В., Семко А.Н. Управление качеством биологической очистки бытовых сточных вод 351

Недопекин Ф.В., Дремов В.В., Артемова И.А. Рациональное размещение ершей и аэрационных труб в очистных сооружениях 354

Николаев И.Ю., Власов П.А. Эколого-геофизические исследования разломных зон 356

Пилипенко О.Н, Кривякин А.С., Готин Б.А., Романчук Н.В. Автоматизированный измерительный комплекс мониторинга техносферной безопасности 357

Резцов П.И., Пихачи А.Г., Раков В.Н. Техносфера и техносферная безопасность Донбасса..... 358

Романчук С.М., Саакян О.Н., Перебейнос В.В. Интеллектуальный анализ данных в АСУ ТП водоснабжения городов 361

Семченко А.Ю., Паслен В.В. Шумозащита объектов коммунального хозяйства 362

Сердюк А.И., Лоцман А.А. Экологические проблемы переработки отработанных свинцово-кислотных аккумуляторов электрохимическим методом 365

Симоненко А.П., Дмитренко Н.А., Быковская Н.В. Применение гидродинамически-активных добавок для повышения эффективности использования пожаротушащих составов на основе воды 368

Симоненко А.П., Собко А.Ю. Решение проблем экологической безопасности и энергосбережения на крупных свиноводческих фермах путем применения водорастворимых полимерных композиций 370

Скляр В.Ф. Утилизация батареек 372

Фоменко С.А., Симоненко А.П., Асланов П.В. Повышение эффективности работы гидроструйных машин добавками гидродинамически-активных композиций и перспективы их практического применения в техногенно-опасных условиях 374

Шеставин Н.С., Недопекин Ф.В., Гучмазова Т.К. Оценка влияния утечек диоксида углерода на окружающую природную среду Донбасса 377

Шило И.Н., Котенко А.А. Терриконы и экологические проблемы Донбасса 380

Шинкарева Т.А., Гедрович А.И. О техносферной безопасности в литейном производстве 382

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

ДОНЕЦКИЕ ЧТЕНИЯ 2016.
ОБРАЗОВАНИЕ, НАУКА И ВЫЗОВЫ СОВРЕМЕННОСТИ

Материалы
I Международной научной конференции,
16–18 мая 2016 г.
г. Донецк

ТОМ 1
Физико-математические, технические науки и экология

под общей редакцией С.В.Беспаловой

Дизайн обложки	*Е.Г. Грудева*
Технический редактор	*М.В. Фоменко*
Компьютерная верстка	*В.Г. Медведева, М.В. Фоменко*

Адрес оргкомитета:
Донецкий национальный университет,
ул. Университетская, 24. г. Донецк, 28301
e-mail: donnu.science@mail.ru

Подписано в печать 05.05.2016 г.
Формат 60×84/16. Бумага офисная.
Печать – цифровая. Усл.-печ. л. 18,5
Тираж 300 экз. Заказ № 405 – май 16.
Донецкий национальный университет
28301, г. Донецк, ул. Университетская, 24.
Свидетельство о внесении субъекта
издательской деятельности в Государственный реестр
серия ДК № 1854 от 24.06.2004 г.