

ISSN 2663-4228 (Print)
ISSN 2663-4236 (Online)

Вестник Донецкого национального университета



НАУЧНЫЙ
ЖУРНАЛ

*Основан
в 1997 году*

Серия Г
Технические
науки

4/2021

Редакционная коллегия журнала

«Вестник Донецкого национального университета. Серия Г: Технические науки»

Главный редактор – д-р техн. наук, проф. **В.В. Данилов**.

Зам. главного редактора – д-р техн. наук, ст. науч. сотр. **А.П. Симоненко**.

Ответственный секретарь – канд. техн. наук **И.А. Третьяков**.

Члены редколлегии: канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр. **П.В. Асланов**; д-р техн. наук, доц. **Н.И. Болонов**; д-р техн. наук, проф. **С.А. Горожанкин**; канд. техн. наук, доц. **В.Д. Коренев**; канд. техн. наук, ст. науч. сотр. **А.А. Курушин** (Национальный исследовательский университет «МЭИ», Российская Федерация); канд. техн. наук, доц. **И.А. Молоковский**; канд. техн. наук, доц. **В.В. Паслэн**; канд. физ.-мат. наук, доц. **В.И. Тимченко**; канд. техн. наук, доц. **Т.В. Ермоленко**; канд. техн. наук, доц. **Т.В. Завадская**; д-р техн. наук, доц. **С.А. Зори**; д-р техн. наук, проф. **М.Н. Чепцов**; канд. техн. наук **Т.В. Шарий**; д-р техн. наук, проф. **А.Б. Бирюков**; канд. техн. наук, доц. **С.В. Гридин**; д-р техн. наук, проф. **С.М. Сафьянц**; д-р физ.-мат. наук, д-р техн. наук, проф. **В.К. Толстых**; д-р техн. наук, проф. **Г.В. Аверин**; канд. техн. наук, доц. **Т.С. Башевая**; д-р техн. наук, проф. **С.В. Борщевский**; д-р техн. наук, проф. **Е.В. Горохов**; председатель Госкомэкополитики при Главе ДНР **Р.В. Кишкань**; д-р техн. наук, проф. **Н.Г. Насонкина**; д-р хим. наук, проф. **А.И. Сердюк**; д-р архитектуры, доц. **Н.В. Шолух**.

The Editorial Board of the journal

«Bulletin of Donetsk National University. Series G: Technical Sciences»

The Editor-in-Chief – Dr. of tech., prof. **V.V. Danilov**.

The Deputy of the Editor-in-Chief – Dr. of tech., senior researcher **A.P. Simonenko**.

Assistant Editor – Cand. of tech. **I.A. Tretiakov**.

The Members of the Editorial Board: Cand. of phys. and math., senior researcher **P.V. Aslanov**; Dr. of tech., docent **N.I. Bolonov**; Dr. of tech., prof. **S.A. Gorozhankin**; Cand. of tech., docent **V.D. Korenev**; Cand. of tech., senior researcher **A.A. Kurushin** (National Research University «Moscow Power Engineering Institute», Russian Federation); Cand. of tech., docent **I.A. Molokovskii**; Cand. of tech., docent **V.V. Paslen**; Cand. of phys. and math., docent **V.I. Timchenko**; Cand. of tech., docent **T.V. Ermolenko**; Cand. of tech., docent **T.V. Zavadskaja**; Dr. of tech., docent **S.A. Zori**; Dr. of tech., prof. **M.N. Sheptsov**; Cand. of tech. **T.V. SHarii**; Dr. of tech., prof. **A.B. Biriukov**; Cand. of tech., docent **S.V. Gridin**; Dr. of tech., prof. **S.M. Safiants**; Dr. of phys. and math., Dr. of tech., prof. **V.K. Tolstykh**; Dr. of tech., prof. **G.V. Averin**; Cand. of tech., docent **T.S. Bashevaia**; Dr. of tech., prof. **S.V. Borshchevskii**; Dr. of tech., prof. **E.V. Gorokhov**; Chairman of the State Committee on Ecological Policy at the Head of the DPR **R.V. Kishkan**; Dr. of tech., prof. **N.G. Nasonkina**; Dr. of chem., prof. **A.I. Serdiuk**; Dr. of arch., docent **N.V. SHolukh**.

Адрес редакции: ГОУ ВПО «ДОННУ», 283001, ДНР, г. Донецк, ул. Университетская, д. 24

Тел.: +38 (062) 302 07 81, +38 (062) 302 92 88

E-mail: vestnik.donnu.g@donnu.ru

URL: <http://donnu.ru/vestnikG>

Журнал включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (**Перечень ВАК**) (Приказы МОН ДНР №440 от 06.03.2020 г., №42 от 26.01.2021 г.) по следующим группам научных специальностей (специальностям): **05.11.00** – Приборостроение, метрология и информационно-измерительные приборы и системы; **05.12.00** – Радиотехника и связь; **05.13.00** – Информатика, вычислительная техника и управление; **05.14.04** – Промышленная теплоэнергетика; **05.23.19** – Экологическая безопасность строительства и городского хозяйства.

Журнал включен в национальную информационно-аналитическую систему **РИНЦ** (Лицензионный договор № 378-06/2016 от 24.06.2016 г. в ред. от 27.03.2019 г.): <http://elibrary.ru/titles.asp?sortorder=0&titlename=2663-4228>

*Печатается по решению Ученого совета ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»:
Протокол №7 от 03.12.2021 г.*

**Вестник
Донецкого
национального
университета**

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

ОСНОВАН В 1997 ГОДУ

Серия Г: Технические науки

№ 4

Донецк, 2021

СОДЕРЖАНИЕ

**ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ
И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ**

- Лебедев В.Н., Пометун Е.Д., Асланов П.В.* Алгоритм преобразования выходного сигнала термоанемометра при измерении параметров неизотермического газового потока 5

РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

- Энговатов Д.С., Паслён В.В.* Исследование модели антенны с плазменным рефлектором 10
- Кушнарев И.А., Молоковский И.А., Лозинская В.Н.* Алгоритм управления радиоресурсами соты с обеспечением качества обслуживания 15

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

- Третьяков И.А., Кожекина Е.Н., Мышкин А.Е.* Исследование параметров рекуррентной нейронной сети для распознавания человека по голосу в системах безопасности 24
- Мухамадиева К.Б., Муминов Б.Б.* Обзор методов обнаружения фишинговых атак на основе искусственного интеллекта 37
- Яновский А.В., Третьяков И.А., Данилов В.В.* Структуры автоматизированных систем научных исследований параметров поверхностных акустических волн 46

ПРОМЫШЛЕННАЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

- Колесниченко Н.В., Сафьянц С.М.* Моделирование работы газопоршневой мини-ТЭЦ с баком-аккумулятором при выполнении отопительной нагрузки 54
- Бирюков А.Б., Карнаух В.В.* Разработка критериев для анализа эффективности использования теплоты охлаждающей воды в оборотных циклах водоснабжения 64
- Бирюков А.Б., Турулина Ю.О.* Анализ способов определения рациональных технологических параметров печей при работе в условиях изменяющейся производительности 70

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА И ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА

Фёдорова А.Е., Степаненко Т.И., Машикарёв П.С. Анализ существующих и инновационных схем очистки шахтных вод угольных предприятий 78

ИНФОРМАЦИОННАЯ РУБРИКА

Правила для авторов 85

Bulletin of Donetsk National University

SCIENTIFIC JOURNAL

FOUNDED IN 1997

Series G: Technical sciences

№ 4

Donetsk, 2021

CONTENTS

INSTRUMENT ENGINEERING, METROLOGY AND INFORMATION-MEASURING INSTRUMENTS AND SYSTEMS

- Lebedev V.N., Pometun E.D., Aslanov P.V.* Algorithm for conversing the output signal of a thermal anemometer when measuring the parameters of a nonisothermal gas flow 5

RADIO ENGINEERING AND COMMUNICATION

- Engovatov D.S., Paslen V.V.* Research of the antenna model with a plasma reflector 10
- Kushnarev I.A., Molokovskii I.A., Lozinskaia V.N.* Cell radio resource management algorithm with quality of service ensure 15

COMPUTER SCIENCE AND COMPUTER FACILITIES AND MANAGEMENT

- Tretiakov I.A., Kozhekina E.N., Myshkin A.E.* Research of recurrent neural network parameters for human voice recognition in security systems 24
- Mukhamadiyeva K.B., Muminov B.B.* Review of phishing attack detection methods based on artificial intelligence 37
- IAnovskii A.V., Tretiakov I.A., Danilov V.V.* Structures of automated systems for scientific research of parameters of surface acoustic waves 46

INDUSTRIAL HEAT AND POWER ENGINEERING

- Kolesnichenko N.V., Safiants S.M.* Simulation of operation of a gas-piston mini-CHP with a battery-battery when performing a heating load 54
- Biriukov A.B., Karnaukh V.V.* Development of criteria for efficiency of cooling water heat use in reverse water supply cycles analysis 64
- Biriukov A.B., Turulina I.U. O.* Analysis of methods for determining rational technological parameters of furnaces when working under conditions of changing productivity 70

ECOLOGICAL SAFETY OF CONSTRUCTION AND URBAN SERVICES

Fedorova A.E., Stepanenko T.I., Mashkarev P.S. Analysis of existing and innovative schemes for purification of mining water of coal-based enterprises 78

INFORMATION SECTION

Instructions for authors 85

П Р И Б О Р О С Т Р О Е Н И Е , М Е Т Р О Л О Г И Я
И И Н Ф О Р М А Ц И О Н Н О - И З М Е Р И Т Е Л Ь Н Ы Е
П Р И Б О Р Ы И С И С Т Е М Ы

УДК 65.011.56

АЛГОРИТМ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ВЫХОДНОГО СИГНАЛА
ТЕРМОАНЕМОМЕТРА ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ПАРАМЕТРОВ
НЕИЗОТЕРМИЧЕСКОГО ГАЗОВОГО ПОТОКА

© 2021 *Лебедев В.Н., Пометун Е.Д., Асланов П.В.*

В статье приводятся экспериментальные результаты, подтверждающие возможность разделения сложной функции, описывающей теплообмен нагретой нити термоанемометра постоянной температуры, производением более простых функций для каждой из переменных величин.

Ключевые слова: термоанемометр постоянной температуры, чувствительность, вектор скорости, погрешность.

Введение. Несмотря на большое число средств измерений параметров газовых потоков, термоанемометрический метод продолжает сохранять свою актуальность. Термоанемометры, в частности термоанемометры постоянной температуры (ТА ПТ), имеют ряд положительных качеств, таких как: высокое быстродействие, малую область пространственного осреднения и высокую чувствительность в области малых скоростей. В то же время для получения достоверных результатов измерений необходимо учитывать ряд теплофизических параметров, влияющих на теплообмен нагретого элемента: температуру нагретого чувствительного элемента и газового потока, состав газа и т.д. Кроме того, некоторые широко распространенные конструкции чувствительных элементов ТА ПТ, в частности, использующие сверхтонкие нити, характеризуются значительной анизотропией теплоотдачи относительно направления потока.

Основная часть. Практика показывает, что при изучении параметров газовых потоков с помощью ТА ПТ, основными источниками погрешности являются: изменение температуры потока газа и положение датчика относительно направления потока. Влажность, химический состав и давление газа, в лабораторных условиях, как правило, не изменяются или не оказывают заметного влияния на процесс теплообмена. В данной работе рассмотрена задача температурной коррекции выходных данных ТА ПТ при измерении скорости газового потока в диапазоне температуры $25^{\circ}\text{C} \div 40^{\circ}\text{C}$ и выполнена оценка влияния поворота вектора скорости относительно проволоочного чувствительного элемента.

При использовании аппаратной базы на основе современных микропроцессоров и развитого программного обеспечения, имеется возможность преобразования выходного сигнала в реальном масштабе времени. В общем случае задача измерения скорости газового потока, с учетом ограничений принятых выше, сводится к определению сложной функции вида:

$$v = f(S, T, \beta). \quad (1)$$

Задача значительно упрощается, если предположить, что возможна замена сложной зависимости (1) на произведение трех более простых функций вида:

$$v = f_1(T) * f_2(S) * f_3(\beta),$$

где $f_1(T)$ - функция коррекции температурной зависимости;

$f_2(S)$ - функция преобразования к линейной зависимости;

$f_3(\beta)$ – коррекция по углу поворота.

Для оценки теплообмена нагретой нити, как правило, используется уравнение Кинга [1]. Влияние температуры на электрическую мощность, рассеиваемую датчиком, без учета изменения свойств газа, задается поправочным коэффициентом вида:

$$\bar{E}^2 \approx (T_w - T_g) / T_g, \quad (2)$$

где \bar{E} - нормированное выходное напряжение ТА ПТ, T_w - температура перегрева нити, T_g - температура потока.

Соотношение (2) позволяет преобразовать выходной сигнал ТА ПТ к виду, не зависящему от температуры (операция «термокомпенсации»). В функцию термокомпенсации ($f_1(T)$) входят две величины: температура потока, измеренная с помощью дополнительного термометра (переменная величина), и температура перегрева нити. Для ТА ПТ сопротивление нити и, следовательно, ее температура, сохраняется строго постоянной и не зависит от температуры и скорости потока. Отношение температуры «горячей» нити к температуре «холодной» нити (коэффициент перегрева) задается при некоторой начальной и постоянной температуре газа и является переменной величиной, зависящей от температуры потока. Температура нагретой нити вычисляется по формуле:

$$T = T_0 + \frac{1}{\alpha}(k - 1),$$

где α - ТКС вольфрама, k - коэффициент перегрева, T_0 - температура газового потока.

Для преобразования выходного электрического сигнала к линейному виду (функция линеаризации $f_2(S)$), необходимо определить зависимость между, электрическим выходным сигналом и рядом скоростей газового потока, измеренных во всей предполагаемой области применения ТА ПТ, и найти обратную функцию: $f_1(S)$. Число точек на интерполяционной кривой должно превышать степень полинома и, как правило, принимается больше 15. Из уравнения Кинга следует, что чувствительность термоанемометра к скорости потока существенно не линейна. Экспериментальная проверка показала, что более точная аппроксимация выполняется с помощью полиномиальной зависимости 4-ой степени и выше. В конкретных условиях проведения измерений, степень полинома выбиралась равной 4 и при увеличении до 5÷7 погрешность аппроксимации, практически не уменьшалась [2].

Зависимость от угла поворота $f_3(\beta)$ определяется конструкцией и формой чувствительного элемента. В данной работе использовалась вольфрамовая нить диаметром 8мкм и длиной 4мм.

Поворот вектора скорости относительно нити приводит к изменению теплообмена нагретого чувствительного элемента. Задача определения модуля вектора скорости для

одной нити имеет решение, если известен угол поворота нити относительно направления потока [3]. Корректной является обратная задача - вычисление угла по модулю скорости газового потока. Для определения зависимости выходного сигнала от направления потока, была проведена серия измерений в одном квадранте ($0 \div 90^\circ$). Скорость потока задавалась дискретно в диапазоне $1,5 \div 15 \text{ м/с}$. Коэффициент перегрева нити устанавливался постоянным и равным 1,7, что соответствовало нагреву относительно комнатной температуры (около 200°C ($\sim 473^\circ\text{K}$)).

На рисунке 1 представлены первичные экспериментальные результаты, на рисунке 2 – эти же результаты после приведения к изотермическому виду, на рисунке 3 – зависимость между нормированным выходным напряжением ТА ПТ и углом поворота нити.

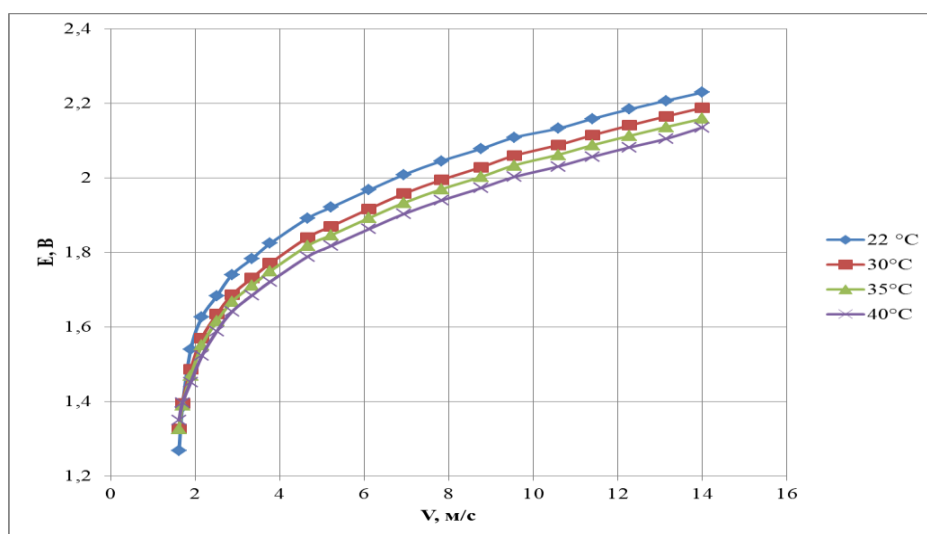


Рис. 1. Градуировочные характеристики ТА ПТ в диапазоне температуры от 22°C до 40°C и скоростей $1,8 \text{ м/с}$ до 14 м/с

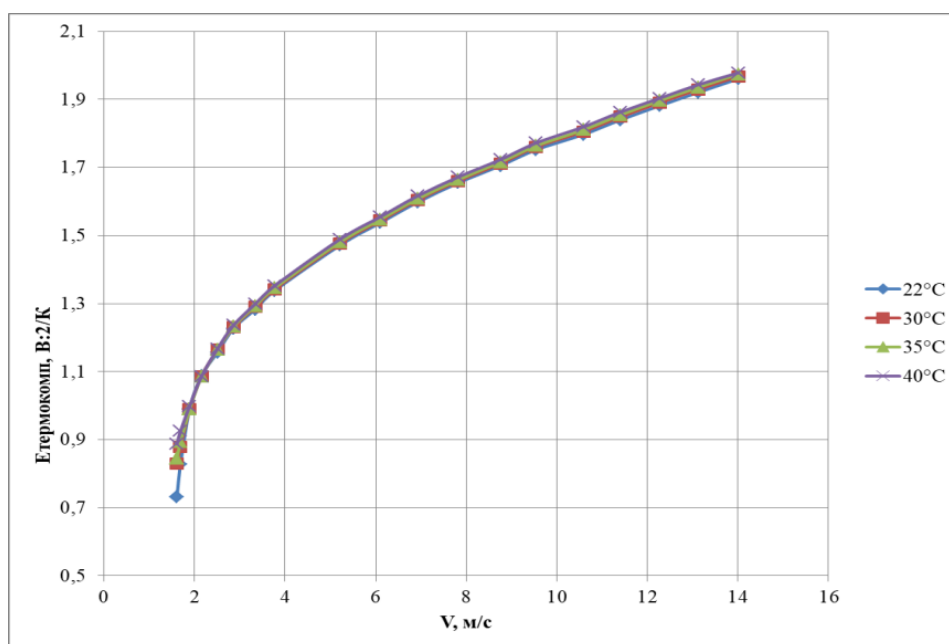


Рис. 2. Термокомпенсация результатов, представленных на рисунке 1

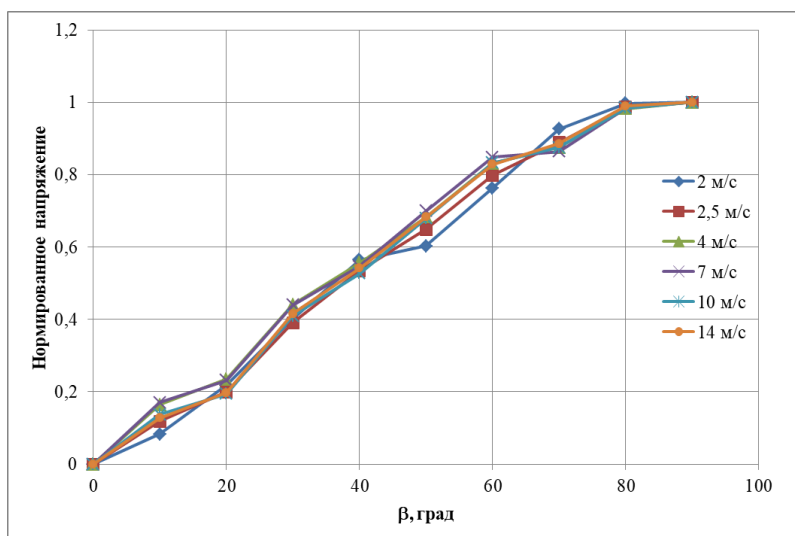


Рис. 3. Зависимость между нормированным выходным напряжением ТА ПТ и углом поворота нити относительно направления потока от 0 до 90° и в диапазоне скоростей от 2 м/с до 14 м/с

Из результатов, представленных на рисунке 2, следует, что соотношение (2) позволяет выполнить операцию термокомпенсации в диапазоне скоростей 1, 8 м/с до 14 м/с. Соотношение (2) не зависит от скорости газового потока, в результате чего, разделение сложной функции на две простые: $f_1(T)$ и $f_2(S)$, является корректным.

Зависимость между углом поворота нити относительно направления потока представлена на рисунке 3 (ось ординат – термокомпенсированное, нормированное выходное напряжение ТА ПТ, по оси абсцисс – угол поворота). В принятых координатах представленная экспериментальная зависимость хорошо аппроксимируется полиномом степенью выше 3 (для малых отклонений может использоваться линейная зависимость). При существовании зависимости от скорости потока, кривые на рисунке 3 должны были «расслоиться» по параметру скорости. Отсутствие этого феномена, позволяет говорить о корректности разделения функции $f_3(\beta)$ - преобразования по углу поворота. Таким образом, в исследованных диапазонах переменных величин, сильного взаимного влияния не было обнаружено, что позволяет выполнять независимую коррекцию по каждой из величин: температуре, скорости и углу поворота. Это значительно упрощает процесс градуировки датчиков ТА ПТ и функции преобразования выходного электрического сигнала.

При разработке алгоритма преобразования выходного напряжения учитывались требования к порядку выполнения операций, а при измерениях в турбулентных потоках выполнялась необходимая коррекция амплитудно-частотной характеристики, предложенная в работе [2, 4].

Остается слабо изученным вопрос о существовании границ диапазона переменных величин. В том, что ограничения на разделение функций существуют, прямо следует из возникновения конвективного потока вследствие уменьшения плотности горячего воздуха, окружающего нить ТА ПТ. Можно предположить, что существует некоторое минимальное число, равное отношению числа Рейнольдса к числу Архимеда, меньше которого влияние тепловой конвекции становится преобладающим. Очевидно, что в этом случае разделение функций невозможно, и данный вопрос нуждается в дополнительном изучении.

Выводы. Экспериментально подтверждена гипотеза о возможности разделения функции, описывающей процесс теплообмена нити на ряд более простых соотношений,

соответствующих различным физическим процессам, для датчика термоанемометра, содержащего одну нить. Полученные данные позволяют учитывать величину погрешности при измерении модуля вектора скорости при неточной ориентации проволочного датчика в газовом потоке или при повороте вектора скорости относительно нити. Алгоритм, разработанный на основании полученных результатов, позволяет выполнять вычислительные операции в реальном масштабе времени в программной среде NI LabVIEW.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ярин Л. П. Термоанемометрия газовых потоков / Л. П. Ярин, А. Л. Генкин, В. И. Кулес. - Л. : Машиностроение : Ленингр. отд-ние, 1983. - 198 с.
2. Пометун Е. Д. Исследование функций аппроксимации градуировочной характеристики термоанемометра в неизотермическом газовом потоке / Е. Д. Пометун, В. Н. Лебедев // Сборник научных трудов «Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе». – 2015. – №1(8)–2(9). – С. 88–91.
3. Socha K. Studies of a hot-wire anemometric probe for the measurement of two-dimensional components and sense of a velocity vector / K. Socha, P. Ligęza // Measurement science and technology. – 2008. – Vol. 19. – No. 8. – 12 P. – DOI: 10.1088/0957-0233/19/8/085402.
4. Пометун Е. Д. Алгоритм обработки выходного сигнала термоанемометров постоянного тока и постоянной температуры / Е. Д. Пометун // Вестник Донецкого национального университета. Серия Г: Технические науки. – 2019. – № 4. – С. 3–10.

Поступила в редакцию 30.09.2021 г.

ALGORITHM FOR CONVERTING THE OUTPUT SIGNAL OF A THERMAL ANEMOMETER WHEN MEASURING THE PARAMETERS OF A NONISOTHERMAL GAS FLOW

Lebedev V.N., Pometun E.D., Aslanov P.V.

The article presents experimental results confirming the possibility of separating a complex function that describes the heat transfer of a heated filament of a hot-wire anemometer of constant temperature by a product of simpler functions for each of the variables. This conclusion is of practical importance and makes it possible to simplify the calibration of the sensor.

Keywords: hot-wire anemometer of constant temperature, sensitivity, velocity vector, error.

Лебедев Владимир Николаевич

старший преподаватель, заведующий лабораторией кафедры физики неравновесных процессов метрологии и экологии им. И.Л. Повха ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», ДНР, г. Донецк.

Пометун Екатерина Дмитриевна

старший преподаватель кафедры физики неравновесных процессов метрологии и экологии им. И.Л. Повха ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», ДНР, г. Донецк.
E-mail: alternativa19031992@rambler.ru

Асланов Петр Васильевич

кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, заведующий кафедрой физики неравновесных процессов метрологии и экологии им. И.Л. Повха ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», ДНР, г. Донецк.

Lebedev Vladimir Nikolaevich

Senior Lecturer, Head of the Laboratory at Department of Physics of Nonequilibrium Processes, Metrology and Ecology named after I.L. Povkh of Donetsk National University, DPR, Donetsk.

Pometun Ekaterina Dmitrievna

Senior Lecturer at Department of Physics of Nonequilibrium Processes, Metrology and Ecology named after I.L. Povkh of Donetsk National University, DPR, Donetsk.

Aslanov Petr Vasilevich

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Senior Researcher, Head of the Department of Physics of Nonequilibrium Processes, Metrology and Ecology named after I.L. Povkh of Donetsk National University, DPR, Donetsk.

РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

УДК 621.371.399:533.951

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ АНТЕННЫ С ПЛАЗМЕННЫМ РЕФЛЕКТОРОМ

© 2021 *Энговатов Д.С., Паслён В.В.*

В данной работе приведены результаты моделирования конусной рупорной антенны с плазменным рефлектором, что позволяет осуществлять электронное сканирование пространства.

Ключевые слова: газ, плазма, моделирование, радиоволны, антенна.

Введение. Совершенствование техники требует повышения надежности и скорости работы. Одним из путей улучшения данных показателей является отказ от механической работы и заменой ее электронным управлением. Для задач радиолокации и радионавигации актуальным является создание антенн, сканирующих пространство электронным методом. Для этих целей можно использовать плазму, так как она обладает необычными особенностями, по сравнению с другими веществами.

Плазма имеет заряженные частицы, электроны и ионы, следовательно, обладает проводимостью. Плазменная антенна – это устройство, имеющее различные преимущества в области связи, основным преимуществом является то, что такая антенна может быть отключена и включена электрически. При использовании плазменной антенны можно электронно управлять излучением в различных направлениях. Путем изменения таких параметров как: давление, частота, химический состав газа, можно управлять параметрами плазмы. Изменение плотности и проводимости плазмы меняет собственную частоту плазмы [1].

В данном случае интересной является особенность изменения взаимодействия с радиоволнами в зависимости от соотношения частоты волны и собственной частоты плазмы. Частота плазмы зависит от массы ионов и электронов, и от плотности плазмы. Чем выше плотность плазмы, тем выше ее частота. Когда электромагнитная волна падает на объем плазмы, плазма реагирует в соответствии с соотношением частоты волны и частоты плазмы. Если частота электромагнитной волны выше частоты плазмы, волна беспрепятственно проходит через плазму, в ином случае плазма отражает волну как проводящий материал. Компьютерное моделирование исследования распространения радиоволн в плазме при разных частотах и его результаты приведены в [2].

В природе плазмы существует много особенностей. Для распространения радиоволн наиболее значимыми являются:

- 1) значения параметров плазмы отличается огромным разнообразием,
- 2) зачастую плазма обладает существенной неоднородностью. Для плазмы типичным является плавные, однако, значительные изменения параметров среды. Подобные изменения порой бывают столь велики, что параметр диэлектрической проницаемости меняет знак [3].

- 3) используя плазму, можно без особых усилий добиться диэлектрической проницаемости вещества равной нулю, а также обеспечить слабое поглощение.

4) плазма обладает сильной частотной дисперсией (зависимость проницаемости от частоты).

5) параметры плазмы сильно меняются под воздействием постоянного магнитного поля. Таким образом, даже слабые магнитные поля существенно меняют характер распространения электромагнитных волн в плазме.

6) электромагнитные свойства плазмы проявляют нелинейность в сравнительно легко достижимых полях. Это приводит к явлениям нелинейного взаимодействия волн, которые распространяются в плазме, в отличие от других веществ, где добиться нелинейности параметров можно лишь в очень сильных полях [4].

Постановка задачи. Исследование осуществлялось на компьютерной модели, созданной в программе моделирования CST STUDIO SUITE. Смоделирована антенная система с круглым волноводным излучателем с коническим рупором. В качестве рефлектора сделана система из плазменных отражателей в виде частей сферы в количестве 36 штук, размещенных через каждые 10° . Система осуществляет электронное сканирование пространства, осуществляя поочередное переключение отражателей. Рефлектор, изготовленный из плазмы, может в случае необходимости отражать электромагнитные волны, при достаточном уровне ионизации. При прекращении ионизации рефлектор не оказывает препятствия прохождению радиоволн.

Расчет антенны. Антенна, построенная в программном продукте, рассчитанная для работы на частоте 10 ГГц. Произведем расчет круглого волновода и конического рупора для данной частоты.

Определяем длину волны:

$$\lambda = \frac{3 \cdot 10^8}{10 \cdot 10^9} = 30 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 3 \text{ см},$$

Произведем расчет оптимального диаметра круглого волновода [1]:

$$\frac{\lambda}{3,4} < r < \frac{\lambda}{2,6},$$

где r – радиус волновода.

Для частоты 10 ГГц:

$$\frac{30 \cdot 10^{-3}}{3,4} < r < \frac{30 \cdot 10^{-3}}{2,6} = 0,0088 < r < 0,0115.$$

Следовательно, оптимальный диаметр волновода, для того чтобы в нем распространялась только основная волна типа H_{11} , должен быть в пределах $1,76 \div 2,3 \text{ см}$.

Примем диаметр рупора равным $2R_0 = 6 \text{ см}$ и, исходя из этого, определим оптимальную длину рупора [1]:

$$R \geq \frac{(2R_0)^2}{2,4\lambda} - 0,15\lambda,$$

где $2R_0$ – диаметр раскрытия конического рупора. Отсюда:

$$R \geq \frac{(2 \cdot 0,06)^2}{2,4 \cdot 0,03} - 0,15 \cdot 0,03 = 45,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

Следовательно, для заданного диаметра раскрыва оптимальной длиной рупора будет 4,55 см.

В итоге для модели приняты следующие размеры:

- диаметр волновода – 2,036 см;
- длина рупора от края волновода – 4,5 см;
- диаметр раскрыва рупора – 6 см.

На рис. 1 представлена компьютерная модель антенной системы, выполненная в программе CST Studio.

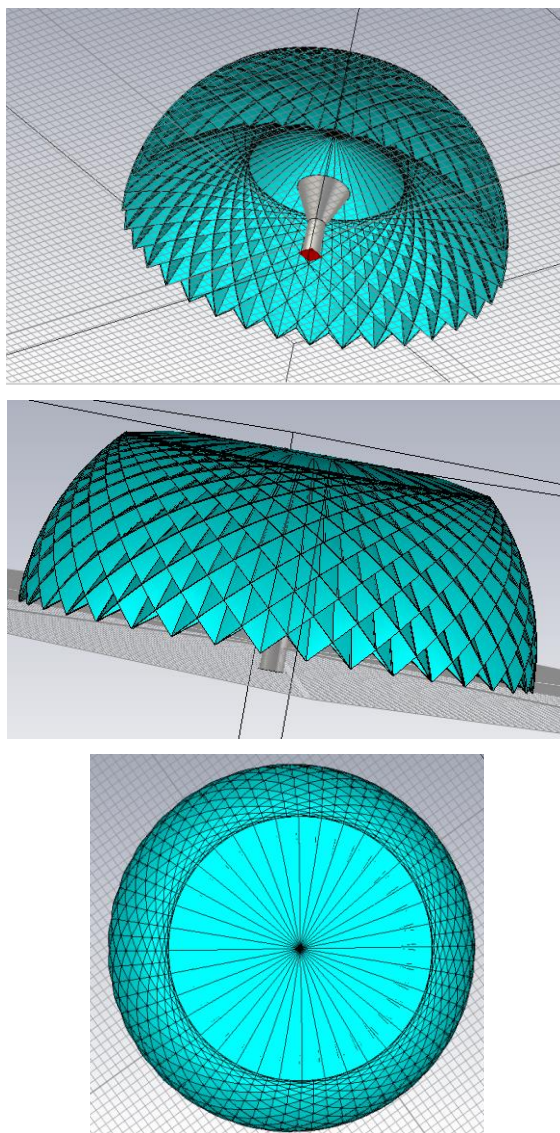


Рис. 1. Модель антенной системы в CST Studio

Параметры моделирования. Предполагается поочередное переключение элементов рефлектора, что приведет к перемещению луча в пространстве. Элементы являются частью сферы, выполненной радиусом 25 см. Собственная частота плазмы неактивной части 0,464 ГГц, частота активной части составляет 44,642 ГГц. Соответственно часть собственной частота плазмы, которой ниже частоты излучения не оказывает препятствия прохождению волны, а часть, частота которой выше – отражает падающую волну.

Результаты моделирования. На рис. 2 изображен один активный элемент рефлектора в программе, а на рис. 3 приведена диаграмма направленности при отражении от одного такого активного элемента.

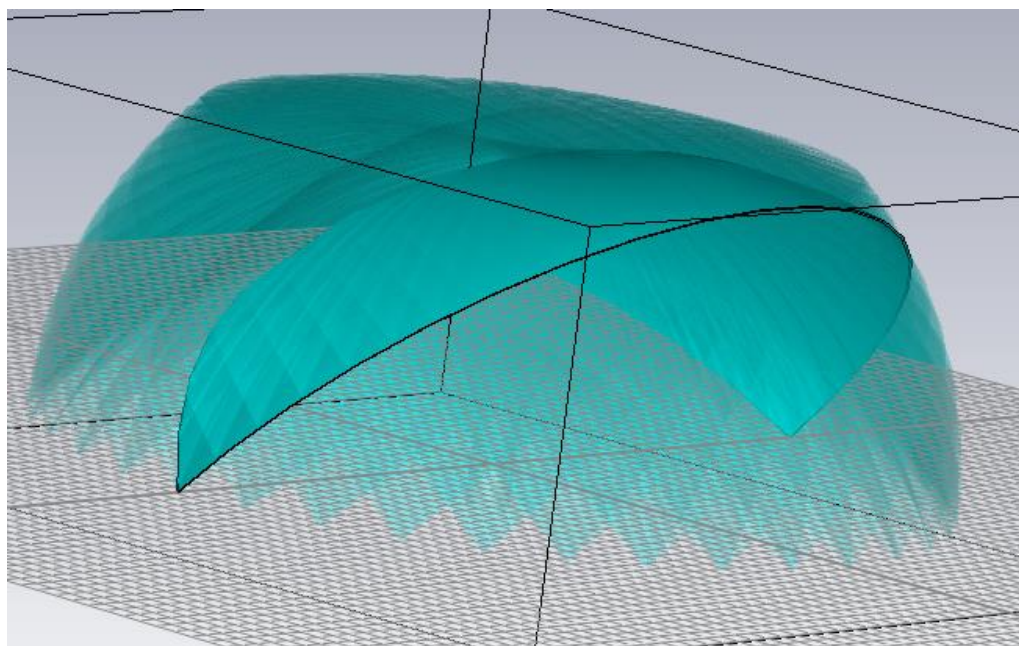


Рис. 2. Активный элемент рефлектора

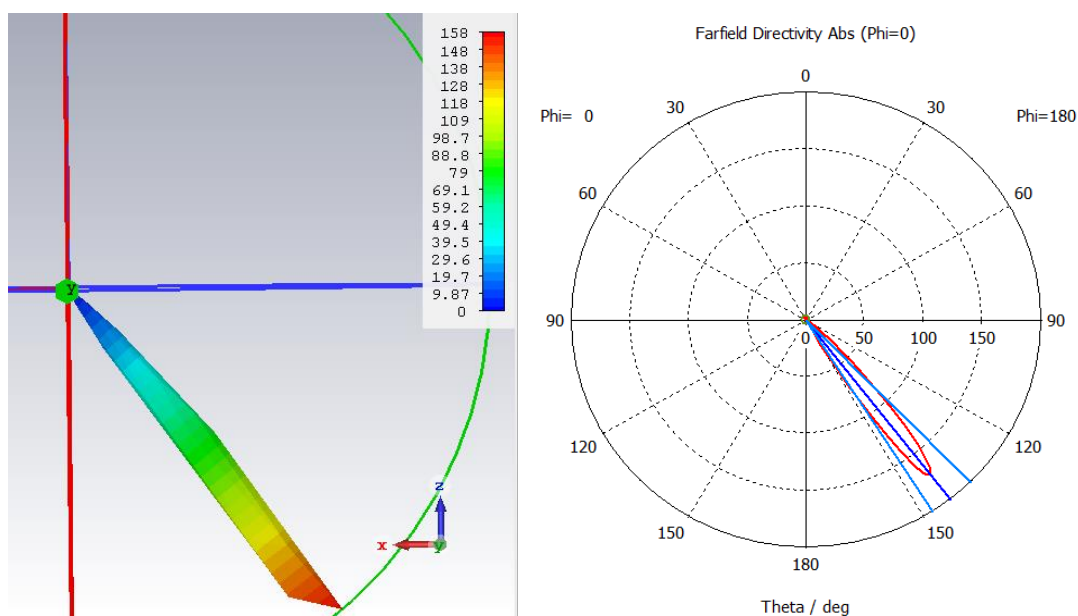


Рис. 3. Диаграмма направленности в 3D и в полярной системе координат

Выводы. Смоделирована антенна с плазменным рефлектором из 36 элементов, последовательное переключение которых позволяет электронно управлять диаграммой направленности. По результатам моделирования при данном количестве элементов и их радиусе 25 см, образовывалась диаграмма направленности шириной $11,6^\circ$. Увеличением или уменьшением радиуса рефлектора можно соответственно добиться сужения или расширения диаграммы направленности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kumar P. Simulation of plasma antenna parameters / P. Kumar, R. Kumar // International Journal of Engineering Technology, Management and Applied Sciences. – 2016. – Vol. 4. – Iss. 5. – Pp. 256-261.
2. Энговатов Д. С. Особенности распространения электромагнитных волн в плазме / Д. С. Энговатов, В. В. Паслён // Сборник тезисов XXI Международной молодежной научно-практической конференции «Человек и Космос». – 2019. – С. 221.
3. Голант В. Е. Основы физики плазмы / В. Е. Голант, А. П. Жилинский, И. Е. Сахаров. – М.: Атомиздат, 1977. – 384 с.
4. Гинзбург В. Л. Распространение электромагнитных волн в плазме / В. Л. Гинзбург. – М.: Наука, 1967. – 684 с.
5. Калашников А. М. Колебательные системы: учеб. пособие / А. М. Калашников, Я. В. Степук. – М.: Воениздат, 1972. – 376 с.

Поступила в редакцию 26.10.2021 г.

RESEARCH OF THE ANTENNA MODEL WITH A PLASMA REFLECTOR

Engovatov D.S., Paslen V.V.

In this work results of cone horn antenna with plasma reflector modeling are given. This gives an opportunity to do an electronic scanning of an area.

Keywords: gas, plasma, modeling, radio waves, antenna.

Энговатов Дмитрий Сергеевич

магистрант кафедры радиотехники и защиты информации ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет»,
ДНР, г. Донецк.
E-mail: dm-en@yandex.ru

Engovatov Dmitrii Sergeevich

Master Student at Department of Radio Engineering and Information Protection of Donetsk National Technical University,
DPR, Donetsk.

Паслён Владимир Владимирович

кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой радиотехники и защиты информации ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет»,
ДНР, г. Донецк,
Email: paslen@yandex.ru

Paslen Vladimir Vladimirovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Radio Engineering and Information Protection of Donetsk National Technical University,
DPR, Donetsk.

УДК 621.39

АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ РАДИОРЕСУРСАМИ СОТЫ С ОБЕСПЕЧЕНИЕМ КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ

© 2021 Кушнарев И.А., Молоковский И.А., Лозинская В.Н.

В настоящей работе проведен анализ необходимости управления радиоресурсами сотовой сети. Стратегии распределения полосы пропускания остаются одним из основных способов повышения параметров качества обслуживания. На основе этого проанализированы алгоритмы распределения полосы пропускания, приведены их достоинства и, на основе уменьшения недостатков, представлены алгоритмы выбора квазиисточника. Рассмотрены алгоритмы выбора квазиисточника на основе оценки величины вероятности отказа обслуживания, с учетом балансировки полосы пропускания и гибридный. Проведен сравнительный анализ имеющихся алгоритмов (традиционного и «оппортунистического»). Сделан вывод об эффективности гибридного алгоритма, т.к. он обеспечивает более высокую эффективность использования полосы пропускания и меньшие накладные расходы.

Ключевые слова: управление радиоресурсами сотовой сети, параметры качества обслуживания, полоса пропускания, квазиисточник, вероятность отказа, гибридный алгоритм, эффективность.

Введение. Интеграция современных беспроводных и мобильных сетей с различными технологиями радиодоступа и стандартов в рамках единой сети, приводит к концепции совместной координации использования радиоресурсов. Общая цель средств управления радиоресурсами (RRM, Radio Resource Management), при этом, увеличение общей пропускной способности и производительности системы в целом, так и отдельных пользователей в частности. С другой стороны, усовершенствование средств управления радиоресурсами необходимо по мере усовершенствования вышеперечисленных технологий и стандартов. Так, в контексте сети 4G (4th Generation, 4 Поколение) пользовательский терминал имеет возможность выбора технологии доступа, с помощью которой он может подключиться для доступа к услугам сети.

Для улучшения параметров качества обслуживания (QoS, Quality of Service), кроме вышеперечисленного, используют стратегии распределения полосы пропускания. Это позволяет избежать таких процессов, как появление узкого места в сети, возрастания вероятности сброса вызова, увеличение утилизации ресурсов сети. Следовательно, возможность интеллектуального управления радиоресурсами соты, а также использование стратегий распределения полосы пропускания позволит снизить влияние вышеперечисленных процессов и повысит эффективность использования ресурсов в целом. Суммируя вышесказанное, цель статьи состоит в повышении эффективности использования ресурсов за счет разработки алгоритма управления радиоресурсами соты.

Постановка задачи. Беспроводная мобильная сеть должна обеспечивать качество обслуживания для множества приложений. Основным универсальным параметром качества обслуживания является вероятность отказа обслуживания вызова. Причинами отказа могут быть как необходимость его сброса, так и занятость необходимого беспроводного канала. Очевидно, что значение этой вероятности должно быть заранее определенным и не зависящим от типа передаваемого трафика. Для решения проблемы распределения пропускной способности разработаны алгоритмы фиксированного, динамического и гибридного распределения каналов.

Алгоритмы фиксированного разделения хорошо работают для низкоскоростного трафика, несмотря на то, что его колебания могут исчерпать временно назначенные

соте каналы. Т.е., даже при небольшом количестве поступающих вызовов, количество доступных каналов в соте, в определенное время, может быть существенно меньше, чем это необходимо. Для решения этой проблемы разработан алгоритм заимствования, в котором эффективность распределения пропускной способности эффективнее. Однако, производительность алгоритма ухудшается при увеличении скорости трафика и достигает того же уровня производительности, что и фиксированные алгоритмы с более высокими вычислительными и коммуникационными затратами. Также фиксированные алгоритмы гарантируют, что при любой скорости трафика каждой сотой всегда будет приниматься минимальное количество вызовов.

Схема выбора квазиисточника. В упомянутых алгоритмах есть тенденция отдавать приоритет текущим вызовам, за счет блокировки или сброса исходящих. Несмотря на то, что выделяется достаточное количество радиоресурсов, предложенные алгоритмы сосредоточены на разных способах поддержки множественного трафика в рамках единой сети. Либо для поддержания единого режим трафика в интегрированной гетерогенной беспроводной мобильной сети необходимо внедрить одновременно несколько алгоритмов распределения радиоресурсов, что является достаточно нетривиальной задачей.

Появление возможности, в контексте сети 4G, пользователю терминалу выбирать технологию доступа, с помощью которой он может подключиться к сети, привело к необходимости перераспределения трафика на основе стратегий распределения полосы пропускания. Это позволит избежать таких процессов, как появление узкого места в сети, возрастание вероятности сброса вызова, увеличение утилизации ресурсов сети [1].

Одной из стратегий распределения полосы пропускания является традиционный алгоритм (TSDP, Trivial Scheme Dual Path). Принцип его функционирования основан на формировании линейной сети: вызовы в сети осуществляются между двумя узлами, которые находятся на расстоянии r единиц друг от друга. Время поступления вызовов можно описать как независимый пуассоновский процесс, с параметром λ . Длительность удержания вызова не зависит от времени поступления и длительности удержания других вызовов и одинаково распределяется согласно экспоненциальному распределению со средним значением $1/\mu$. Буферизации в сети нет: если вызов не может быть обслужен, то он теряется. В ином случае, канал связи занимает на время равное длительности поступившего вызова. Для описанного случая, вероятность блокировки вызова, поступающего в сети со скоростью $\nu = \lambda/\mu$ равна:

$$P = 1 - \frac{x^3}{1 + 2\nu x^3}, \quad (1)$$

где x – уникальный маршрут в $(0,1]$ из $\nu x^3 + x = 1$.

Оценка значений вероятности по (1) показало высокую точность при описании процессов в линейной сети из нескольких узлов. Однако, в случае с необходимостью повторяющейся передачи одной и той же информации несколькими путями, представленный алгоритм необходимо модифицировать.

Одна из наиболее известных модификаций, «оппортунистическая схема» (ORSS, Opportunistic Relay Selection Scheme), в достаточной мере описана в работах [2, 3]. В соответствии с рассматриваемым алгоритмом, в качестве ретранслятора выбирается один из мобильных терминалов MT_i , который может обеспечить «наилучший»

сквозной путь между источником и получателем. Параметры беспроводных каналов между источником и каждым мобильным терминалом и между последними и пунктом назначения влияют на эффективность их организации. Эти параметры описывают среду распространения между любыми организаторами беспроводных каналов и изменяются во времени со скоростью, которую можно описать доплеровским сдвигом, обратно пропорциональным времени когерентности канала. Опportunистический выбор «наилучшего» доступного ретранслятора состоит в обнаружении наиболее подходящего мобильного терминала, для этих целей, задолго до того, как параметры канала связи изменятся.

Т.о., медленные замирания являются наиболее сложным случаем для беспроводной связи. Ненадежная связь возникает не только из-за шума в приемнике (вероятность ошибки), но и из-за флуктуаций беспроводного канала, которые происходят в течение длительных периодов времени, что приводит к уменьшению скорости передачи данных в беспроводном канале связи. В этом случае возникает вероятность отказа в обслуживании заявки, что можно математически описать следующим соотношением:

$$P = \left(1 - e^{-\Theta_2/\bar{\gamma}_{sd}}\right) \prod_{i=1}^M \left(1 - e^{-\Theta_2/\bar{\gamma}_{sid}}\right),$$

где $\bar{\gamma}_{sd}$ – среднее значение функции, характеризующей беспроводный канал;

Θ_2 находится в соответствии с:

$$\Theta_2 = 2(2^{2\rho} - 1)/SNR,$$

где ρ – спектральная эффективность; SNR – значение соотношения сигнал/шум.

Сравнение представленного опportunистического с традиционным алгоритмом не учитывает значение полосы пропускания, которую можно высвободить. Данный недостаток учитывается в алгоритмах выбора квазиисточника.

Для формализации рассматриваемой математической модели, рассмотрим схему, представленную на рис. 1.

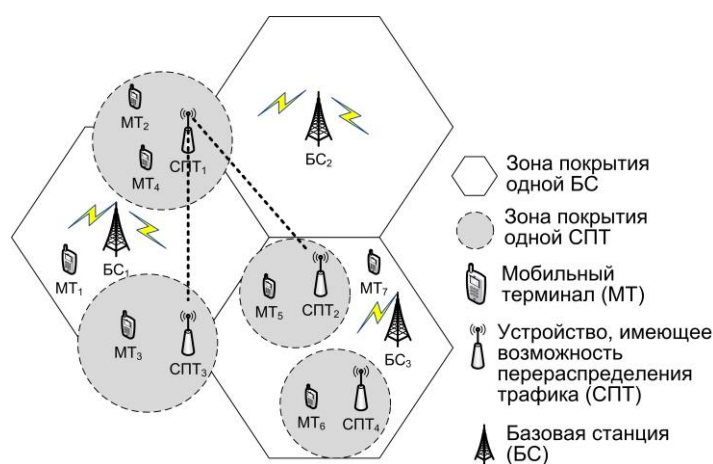


Рис. 1. Инфраструктура рассматриваемой сотовой сети

Если мобильный терминал попадает в зону покрытия устройства, имеющего возможность перенаправлять трафик (СПТ, станция перераспределения трафика), то это позволяет получить доступ к устройству напрямую. Следовательно, новый вызов

может использовать освободившуюся в ячейке полосу пропускания, доступную по ретрансляционному маршруту. С другой стороны, если мобильный терминал покидает зону покрытия устройства, имеющего возможность перенаправлять трафик, то вызов не может быть ретранслирован непосредственно к домашней базовой станции. Это приводит к тому, что домашняя базовая станция (BC_1) выбирает квазиисточник, позволяющий освободить занимаемую полосу пропускания, которая затем и будет использоваться новым вызовом от мобильного терминала (MT_1). Следом за этим процессом, квазиисточник начинает переадресацию трафика по маршруту ретрансляции, составленному другими квазиисточниками: мобильными терминалами, находящимися в зоне покрытия СПТ. В случае возможности определения нескольких квазиисточников, необходимо выбрать один, для начала обнаружения маршрута, и начать перенаправлять трафик. Выбор большого количества квазиисточников приведет к значительным накладным расходам на маршрутизацию, которые увеличились бы из-за процесса обнаружения маршрута.

Обозначим вероятность отказа обслуживания заявки ij -м СПТ, как P_{ij} . А вероятность отказа обслуживания заявки 1-м или 2-м (MT_1 и MT_2) как $P_{MT_1} = P_{11}$ и $P_{MT_2} = P_{21}P_{22}P_{23}$ соответственно. Пусть число MT_i , находящихся в зоне покрытия СПТ, составляет N , тогда вероятность отказа обслуживания заявки можно определить согласно:

$$P_{MT_i} = \prod_{i=1}^N P_{ij}. \quad (2)$$

Таким образом, узел, выбранный квазиисточником, будет тем терминалом, который обладает минимальным значением вероятности отказа обслуживания заявки:

$$ПВК_i = \min(P_{MT_1}, P_{MT_2}, \dots, P_{MT_N}),$$

где N – количество доступных МТ.

Для упрощения выражения предположим, что вероятность отказа обслуживания заявки каждого устройства, имеющего возможность перераспределять трафик, равны между собой и обозначим их как P . Тогда (2) переписется в:

$$P_{MT_i} = \prod_{i=1}^N P_{ij} = P^{N_i}. \quad (3)$$

Основная проблема алгоритма заключается в том, что можно выбирать только те МТ, которые находились в определенной межсетевой зоне, обладающей наибольшим количеством доступных устройств, имеющих возможность перенаправлять трафик. Таким образом, необходима модификация, позволяющая балансировать полосу пропускания между СПТ, в пределах действия которых находятся исходные источники (МТ).

Итак, среднее значение вероятности отказа вызова, в зависимости от количества дополнительных устройств в ячейке, имеющих возможность перенаправлять трафик, может быть оценена из:

$$P = P_0 \cdot \frac{\beta N_{СПТ}}{N_B}, \quad (4)$$

где P_0 – вероятность, показывающая меру необходимость перенаправления трафика. В случае, если перенаправление трафика ненужно, равна 0;

β – постоянная величина, характеризующая оценку пропускной способности;

$N_{СПТ}$ – число устройств, имеющих возможность перенаправления, в ячейке.

Т.к. количество $СПТ$ используется частично, и их число уменьшается, по мере необходимости перераспределения трафика. Предполагая:

$$N_B = \frac{N_{СПТ}}{\alpha} \left(N_{СПТ} - \frac{T_c - T_{\max}}{B_{MT_i}} \right),$$

где α – постоянная величина, характеризующая плотность распределения.

Вышеописанный алгоритм называется алгоритмом выбора квазиисточника на основе оценки величины вероятности отказа обслуживания, далее будем обозначать как QСР1 (Quasi-source Chosen Procedure).

Алгоритм балансировки полосы пропускания основан на перераспределении свободной полосы пропускания между MT_i и достижимой СПТ (s_{ij}). Таким образом, среднюю полосу пропускания всех доступных квазиисточнику СПТ, можно определить, согласно:

$$B_{MT_i} = \frac{\sum_{i=1}^N B_{ij}}{N}, \quad (5)$$

где B_{MT_i} – средняя пропускная способность с учетом всех доступных квазиисточнику станций перераспределения трафика;

B_{ij} – свободная полоса пропускания между MT_i и достижимой s_{ij} ;

N – количество доступных MT .

Для достижения баланса, с точки зрения использования полосы пропускания, процедура выбирает квазиисточник с максимальным значением B_{MT_i} , в результате чего узлы-источники используют среднее значение оценки полосы пропускания СПТ, что позволяет избежать частичной перегрузки. Такой способ выбора исходных узлов, как правило, обеспечивает относительно более высокое значение вероятности отказа обслуживания заявки, поскольку результат процедуры состоит в выборе исходного узла, обладающего максимальным значением из средних пропускных способностей достижимых СПТ. Однако, величина вероятности отказа в обслуживании может быть выше, чем в предыдущем случае из-за непредсказуемости количества доступных СПТ источников.

Согласно этому алгоритму, оценка текущей вероятности отказа обслуживания фактически колеблется между максимальным и минимальным значениями. Среднее значение вероятности отказа обслуживания для соты составит:

$$P = \sum_{i=1}^N \frac{N_i}{N_{СПТ}} P^i.$$

Вышеописанный алгоритм называется алгоритмом выбора квазиисточника с учетом балансировки полосы пропускания, далее будем обозначать как QСР2.

Для того, чтобы учитывать не только количество доступных устройств, имеющих возможность перераспределять трафик, но и их среднюю свободную полосу пропускания, разработан гибридный алгоритм (QCP3). Введем весовые факторы (W_i), которые зависят от текущих значений величин вероятности отказа в обслуживании заявки (P_{ij}) и заявленной полосы пропускания достижимой СПТ (B_{ij}). Соотношение вышеперечисленных коэффициентов следующее:

$$W_i = (1 - P_{MT_i}) \cdot B_{MT_i}.$$

Подставляя (3) и (4), получим:

$$W_i = (1 - P^{N_i}) \cdot \frac{\sum_{i=1}^N B_{ij}}{N_i}. \quad (6)$$

Представленный алгоритм выбирает квазиисточники на основе максимального значения веса, полученного согласно (5). Т.к. оценка вероятности отказа – среднее значение, то ее расчет зависит от соответствующих статистических результатов. Для упрощения расчета весовых коэффициентов, можно изначально отсортировать устройства, имеющие возможность перераспределять трафик, по количеству доступных источников и объему средней свободной полосы пропускания. Таким образом, выражение (6) можно переписать в виде:

$$W_i = N_B N_T,$$

где N_B – число доступных MT_i с точки зрения средней свободной пропускной способности;

N_T – число доступных MT_i с точки зрения количества достижимых СПТ.

В случае потребления полосы пропускания в области, охватываемой i -м устройством, имеющим возможность перенаправления, вероятность отказа оценивается, исходя из:

$$P_i = \frac{i}{\sum_{i=1}^N i}.$$

На основании изложенных выше допущений, любое устройство, имеющее возможность перенаправления, охватывающее одну и ту же площадь, имеет одинаковую вероятность быть выбранной для обеспечения перенаправления трафика. В результате можно с уверенностью предположить, что СПТ, покрывающие одну и ту же площадь, будут иметь одинаковую свободную полосу пропускания. Так, вероятность отказа для MT имеет тенденцию к уменьшению по мере того, как количество доступных СПТ увеличивается. В результате, любой MT , имеющий максимальное значение W_i , оказывается MT , содержащий максимальное значение iB_{MT_i} .

Общая пропускная способность, доступная для текущих i устройств, имеющих возможность перераспределения трафика, можно оценить по:

$$B_{MT_i} = N_i \cdot B_{\max},$$

где N_i – количество устройств, имеющих возможность перераспределения трафика, покрывающих доступные MT , с использованием i достижимых;

B_{\max} – максимальный объем полосы пропускания станции перераспределения трафика.

Еще одно предположение заключается в том, что если у текущего источника есть доступные СПТ, а перенаправление трафика еще не началось, то:

$$nB_{MT_i} = \max(B_{MT_1}, B_{MT_2}, \dots, B_{MT_N}), \text{ то } \delta = i.$$

Подставляя в (4):

$$P \leq \sum_{i=1}^N \frac{N_i}{N_{СПТ}} P^i \leq P^N.$$

Для оценки эффективности представленных алгоритмов, проанализируем модель покрытия. Итак, чем большую зону могут охватить станции перераспределения трафика, тем с большей вероятностью их выберут в качестве квазиисточника.

Объем трафика в домашней ячейке можно оценить, исходя из равенств:

$$T_c - T_{\max} \leq \sum_{i=\alpha}^N N_i \cdot B_{\max}, \text{ то } N_{\alpha} = \alpha;$$

$$T_c - T_{\max} \geq \sum_{i=\alpha}^N N_i \cdot B_{\max}, \text{ то } N_{\alpha} = 0,$$

где T_c – текущий объем трафика в рассматриваемой соте;

T_{\max} – максимальный объем трафика, для работы без потерь;

N_{α} – текущее максимальное количество СПТ, которые одновременно доступны и достижимы для мобильного терминала в рассматриваемой соте после перенаправления трафика.

Для сравнения представленных алгоритмов используем функциональную зависимость вероятности отказа от объема перенаправляемого трафика, рис. 2.

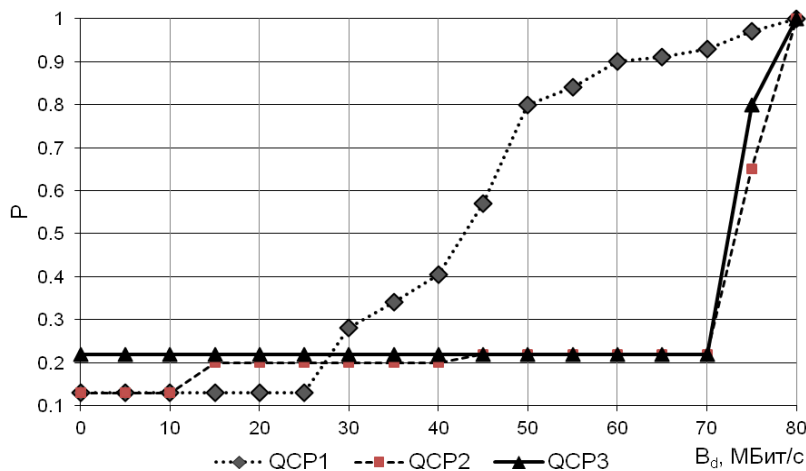


Рис. 2. Зависимость вероятности блокировки от объема перенаправляемого трафика

Что касается базового алгоритма выбора квазиисточника, то увеличение объема переадресации трафика приводит к блокировке большого количества СПТ, так как выбор последних выполняется частично. Это приводит к быстрому увеличению вероятности отказа. При этом, аналогичное увеличение для двух остальных алгоритмов наблюдается с большего значения пропускной способности. Это происходит из-за того, что балансировка потребления пропускной способности приводит к достаточно высокому объему перенаправления трафика, который начинает перегружать СПТ. По мере увеличения количества перегруженных СПТ также происходит увеличение значения вероятности отказа. В случае, если у СПТ нет доступной пропускной способности, то алгоритмы, учитывающие наличие пропускной способности СПТ, направлены на решение проблем, возникающих из-за перегрузки СПТ. Всякий раз, когда трафик переадресации в сети низкий, базовый алгоритм можно адаптировать для достижения низкого показателя вероятности отказа в системе.

На рис. 3 представлены сравнительные характеристики описанных в работе алгоритмов.

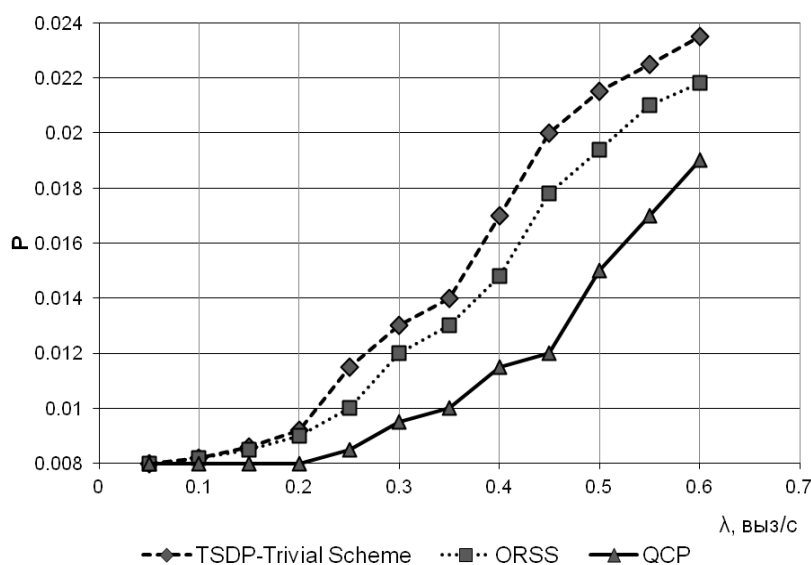


Рис. 3. Зависимость вероятности блокировки от скорости поступления трафика в соту

Из приведенной зависимости можно сделать следующие выводы:

- гибридный алгоритм выбора квазиисточника позволяет получить самый низкий уровень вероятности блокировки вызова;
- традиционный алгоритм позволяет получить наименьший объем использований полосы пропускания. Однако, при этом обладает самым большим значением уровня вероятности блокировки вызовов.

В целом, предложенный гибридный алгоритм более эффективен, чем два других, т.к. он обеспечивает более высокую эффективность использования полосы пропускания и меньшие накладные расходы.

Выводы. Для балансировки поступающего трафика в базовых станциях, а также имеющихся радиоресурсов, предложены алгоритм определения квазиисточника и его модификации. Квазиисточник может выбираться исходя из: возможности наилучшего ретрансляционного маршрута, наибольшего объема перенаправляемого трафика, наименьшей оценки вероятности отказа и комбинации этих показателей. Основной

целью предложенных алгоритмов является снижение вероятности блокировок за счет перераспределения имеющейся полосы пропускания при ограничении количества станций перераспределения трафика между источником и приемником. Самым эффективным среди них является гибридный алгоритм, т.к. он обеспечивает более высокую эффективность использования полосы пропускания и меньшие накладные расходы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Limand G. Energy-efficient cooperative relaying in heterogeneous radio access networks / G. Limand, L. Cimini // IEEE Wireless Communication Letter. – 2012. – Vol. 1. – No. 5. – Pp. 476-479.
2. Scaglione A. Opportunistic large arrays: cooperative transmission in wireless multihop ad hoc networks to reach far distances / A. Scaglione, Yao-Win Hong // IEEE Transactions on Signal Processing. – 2003. – Vol. 51. – No. 8. – Pp. 2082-2092.
3. Viswanath P. Opportunistic beamforming using dumb antennas / P. Viswanath, D.N.C. Tse, R. Laroia // IEEE Transactions on Information Theory. – 2002. – Vol. 48. – No. 6. – Pp. 1277-1294.

Поступила в редакцию 11.11.2021 г.

CELL RADIO RESOURCE MANAGEMENT ALGORITHM WITH QUALITY OF SERVICE ENSURE

Kushnarev I.A., Molokovskii I.A., Lozinskaia V.N.

In the present work, necessity of analysis the cellular network radio resources control is carried out. Bandwidth allocation strategies remain one of the main ways to improve quality of service parameters. Based on this, bandwidth allocation algorithms are analyzed, their advantages are given and, based on the reduction of disadvantages, quasi-source selection algorithms are presented. Algorithms for selecting a quasi-source based on probability of service failure estimation, bandwidth balancing and hybrid one are considered. A comparative analysis of the available algorithms (traditional and "opportunistic") has been carried out. The conclusion is made about the effectiveness of the hybrid algorithm, since it provides higher bandwidth efficiency and lower overhead.

Keywords: cellular network radio resource management, quality of service parameters, bandwidth, quasi-source, failure probability, hybrid algorithm, efficiency.

Кушнарив Иван Андреевич

магистрант кафедры автоматизации и телекоммуникаций ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», ДНР, г. Донецк.
E-mail: kushnarevivan@yandex.ua

Kushnarev Ivan Andreevich

Master Student at Department of Automation and Telecommunications of Donetsk National Technical University, DPR, Donetsk.

Молоковский Игорь Алексеевич

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры автоматизации и телекоммуникаций ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», ДНР, г. Донецк,
Email: mio.donntu@gmail.com

Molokovskii Igor Alekseevich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Automation and Telecommunications of Donetsk National Technical University, DPR, Donetsk.

Лозинская Виктория Николаевна

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры автоматизации и телекоммуникаций ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», ДНР, г. Донецк,
Email: lvn_04@mail.ru

Lozinskaia Viktoriia Nikolaevna

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Automation and Telecommunications of Donetsk National Technical University, DPR, Donetsk.

**И Н Ф О Р М А Т И К А , В Ы Ч И С Л И Т Е Л Ь Н А Я
Т Е Х Н И К А И У П Р А В Л Е Н И Е**



УДК 004.056:004.822

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РЕКУРРЕНТНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ
РАСПОЗНАВАНИЯ ЧЕЛОВЕКА ПО ГОЛОСУ В СИСТЕМАХ БЕЗОПАСНОСТИ**

© 2021 *Третьяков И.А., Кожекина Е.Н., Мышкин А.Е.*

В данной работе дано подробное описание реализации автоматизированной системы распознавания голоса, а также модели нейронной сети, позволяющей распознать человека по голосу. Представлены результаты тестовых экспериментов с использованием следующих оптимизаторов: Adadelta, Adagrad, Adam, AdamW, Adamax, ASGD. Определена модель, которая наилучшим образом подходит для решения таких задач.

Ключевые слова: распознавания речи, python, рекуррентная нейронная сеть, библиотека PyTorch, оптимизатор.

Введение. В настоящее время крупнейшие мировые компании в своих разработках предлагают речевой интерфейс как альтернативу графическому. Более того, в системах специального назначения давно применяются различные системы голосового оповещения оператора о различных событиях для повышения эффективности обратной связи. Основная трудность, которая препятствует внедрению речевых технологий в многочисленные сферы деятельности и быта человека, это недостаточная устойчивость процесса распознавания и понимания речи. Созданию методов понимания речи, устойчивых к различным видам искажений (внешние шумы, вариации произношения, синтаксические отклонения и др.) посвящены работы большого количества специалистов по всему миру [1].

Постановка задачи. Разработка автоматизированной системы обнаружения с преобразованием в текст распознанных голосов для последующего исследования качества распознавания в зависимости от оптимизатора и его параметров.

Рекуррентная нейронная сеть. Идея рекуррентной нейронной сети (RNN) заключается в последовательном использовании информации. В традиционных нейронных сетях подразумевается, что все входы и выходы независимы. Но для многих задач это не подходит. Если нужно предсказать следующее слово в предложении, лучше учитывать предшествующие ему слова. RNN называются рекуррентными, потому что они выполняют одну и ту же задачу для каждого элемента последовательности, причем выход зависит от предыдущих вычислений. Еще одна интерпретация RNN: это сети, у которых есть «память», которая учитывает предшествующую информацию. Теоретически RNN могут использовать информацию в произвольно длинных последовательностях, но на практике они ограничены лишь несколькими шагами [2, 3].

Структура рекуррентной нейронной сети показана на рисунке 1.

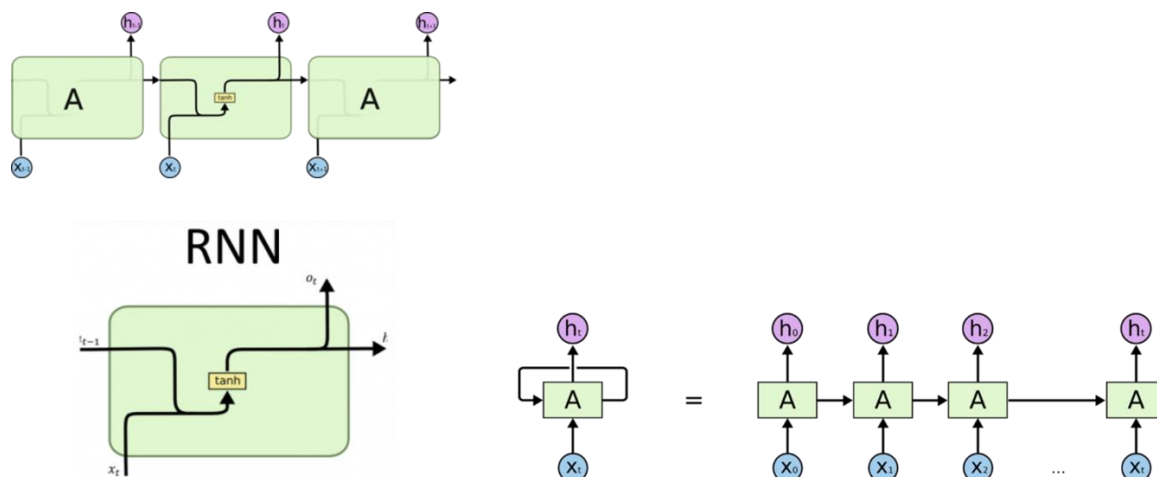


Рис. 1. Структура рекуррентной нейронной сети

Вначале “слой фильтра забывания” (англ. *forget gate layer*) определяет, какую информацию можно забыть или оставить. Значения предыдущего выхода h_{t-1} и текущего входа x_t пропускаются через сигмоидальный слой (рисунок 2). Полученные значения находятся в диапазоне $[0; 1]$. Значения, которые ближе к 0 будут забыты, а к 1 оставлены.

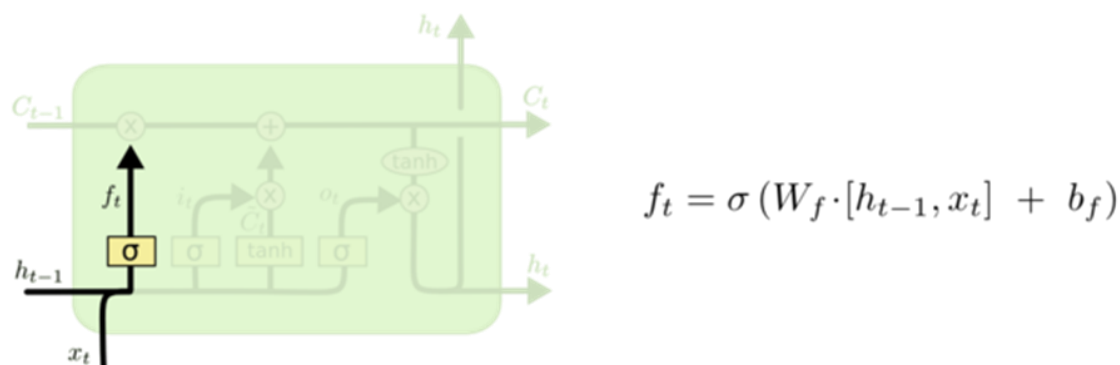


Рис. 2. «Слой фильтра забывания»

Далее решается, какая новая информация будет храниться в состоянии ячейки. Этот этап состоит из двух частей. Сначала сигмоидальный слой под названием “слой входного фильтра” (англ. *input layer gate*) определяет, какие значения следует обновить (рисунок 3). Затем tanh-слой строит вектор новых значений-кандидатов \tilde{C}_t , которые можно добавить в состояние ячейки.

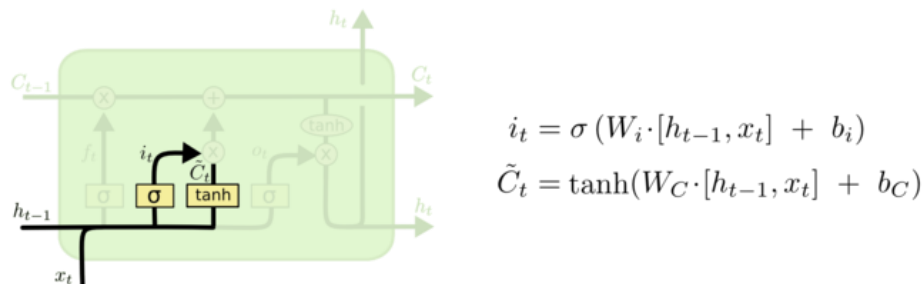


Рис. 3. «Слой входного фильтра»

Для замены старого состояния ячейки C_{t-1} на новое состояние C_t . Необходимо умножить старое состояние на f_t , забывая то, что решили забыть ранее. Затем прибавляем $i_t * \tilde{C}_t$. Это новые значения-кандидаты, умноженные на f_t – на сколько обновить каждое из значений состояния (рисунок 4).

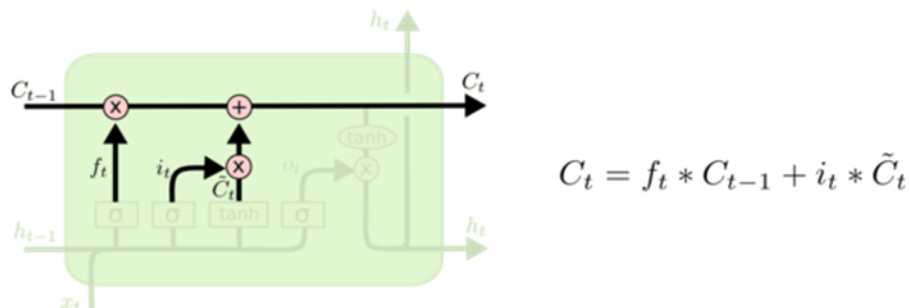


Рис. 4. Замена старого состояния ячейки C_{t-1} на новое состояние C_t

На последнем этапе определяется то, какая информация будет получена на выходе (рисунок 5). Выходные данные будут основаны на нашем состоянии ячейки, к ним будут применены некоторые фильтры. Сначала значения предыдущего выхода h_{t-1} и текущего входа x_t пропускаются через сигмоидальный слой, который решает, какая информация из состояния ячейки будет выведена. Затем значения состояния ячейки проходят через \tanh -слой, чтобы получить на выходе значения из диапазона от -1 до 1, и перемножаются с выходными значениями сигмоидального слоя, что позволяет выводить только требуемую информацию.

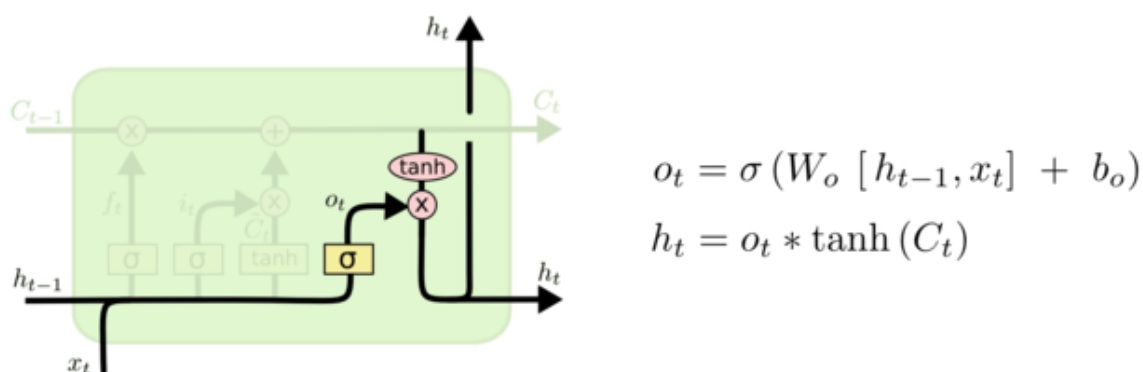


Рис. 5. Информация на выходе

Программная реализация и тестирование программы преобразования речи в текст. В ходе выполнения работы была разработана программа для преобразования речи в текст. Для ее реализации были использованы следующие библиотеки: `speech_recognition`, `sys`, `webbrowser`, `pyttsx3`, `speech_recognition`.

`SpeechRecognition` - пакет, позволяющий создавать сценарии для доступа к микрофонам и обработки аудиофайлов с нуля. Функции библиотеки `webbrowser` осуществляют открытие сайта. `PyTTSx3` - удобная кроссплатформенная библиотека для реализации Text To Speech в приложениях на Python 3. Библиотека использует разные системы синтеза речи в зависимости от текущей ОС.

```
def talk(words):
    print(words)
    engine = pyttsx3.init();
```



```
engine.say(words);
engine.runAndWait();
```

Функция для воспроизведения звука из текста (переменной “talk”). Функция command() служит для отслеживания микрофона. Вызов функции, позволяет услышать, что скажет пользователь, при этом для прослушивания будет использован микрофон.

Получение данные конвертируются в строку, затем происходит их проверка.

```
def command():
    r = sr.Recognizer()
    with sr.Microphone() as source:
        r.adjust_for_ambient_noise(source, duration=1)
        # adjust_for_ambient_noise для удаления посторонних шумов из аудио дорожки.
        # Полученные данные записываем в переменную audio
        audio = r.listen(source) # получили mp3 звук
    # Обрабатываем все при помощи исключений
    try:
        zadanie = r.recognize_google(audio, language="ru-RU").lower()
        # отображаем текст произнесенный пользователем
        talk("Вы сказали: " + zadanie)
        print("Вы сказали: " + zadanie)
    # В случае если текст не будет распознан, генерируется ошибка
    except sr.UnknownValueError:
        talk("Я вас не поняла")
        zadanie = command()
    # В конце функции возвращаем текст задания или же повторный вызов функции
    return zadanie
# Данная функция служит для проверки текста, произнесенного пользователем
(zadanie #- текст от пользователя)
def makeSomething(zadanie):
    # Далее проверяем текст на соответствие. Если в тексте пользователя есть команда, например, "открыть сайт", то выполнится команда
    if 'что ты умеешь' in zadanie:
        talk("Смотрите")
        print('я умею несколько вещей:\n'
              'Слушать вас.\n'
              'Открыть инстаграм, просто скажите "открой instagram".\n'
              'Найти что-то для вас, просто скажите "поиск".\n'
              'Спросить мое имя, просто скажите "твое имя".\n'
              'Рассказать о себе, просто скажите "что ты такое".\n'
              'Остановить программу, просто скажите "стоп".\n')
    elif 'открой instagram' in zadanie:
        talk("Уже открываю")
        url = 'https://www.instagram.com/artem.my29/'
        webbrowser.open(url)
    # если было сказано "стоп", то останавливаем программу
    elif 'поиск' in zadanie:
        talk("Что будем искать ?")
        word = command()
        webbrowser.open('https://yandex.ua/search/?text='+word)
```

```
elif 'что ты такое' in zadanie:
    talk('Я еще мало знаю, но уже что-то умею')
elif 'стоп' in zadanie:
    talk("Без проблем, до свидания")
    sys.exit()
elif 'твое имя' in zadanie:
    talk("На ваше усмотрение ")
# Вызов функции для проверки текста будет осуществляться постоянно, поэтому
здесь прописан бесконечный цикл while
while True:
    makeSomething(command())
```

Результат работы программы представлен на рисунке 6. Программа распознаёт речевую команду, после чего повторно озвучивает команду, для уточнения правильности распознавания.

```
Здравствуйте, спросите, что я умею
Вы сказали: что ты умеешь
Вы сказали: что ты умеешь
Смотрите
я умею несколько вещей:
Слушать вас.
Открыть инстаграм, просто скажите "открой instagram".
Найти что-то для вас, просто скажите "поиск".
Спросить мое имя, просто скажите "твое имя".
Рассказать о себе, просто скажите "что ты такое".
Остановить программу, просто скажите "стоп".
|
Вы сказали: поиск
Вы сказали: поиск
Что будем искать ?
Вы сказали: картинки лягушки
Вы сказали: картинки лягушки
Вы сказали: стоп
Вы сказали: стоп
Без проблем, до свидания

Process finished with exit code 0
```



Рис. 6. Результат работы программы

Программная реализация и тестирование нейронной сети. Реализована программа для распознавания речи, в которой используется рекуррентная нейронная сеть и библиотеки PyTorch. Программа сравнивает и распознаёт переданные ей файлы, содержащие записи голоса. Вначале файлы обрабатываются для удаления шумов из записи. Прописывается рекуррентная нейронная сеть. Кросс-энтропия измеряет расхождение между двумя вероятностными распределениями.

В данной работе используется усовершенствованный оптимизатор Адам, запускающий адаптивную оценку моментов.

Для реализации программы были использованы следующие библиотеки: os (функция `istdir` для открытия папок), `numpy` (библиотека математических функций), `librosa` (пакет Python для анализа музыки и аудио), `sklearn.model_selection`, `Scikit-learn` (для разделения датасетов) `torch` (библиотека машинного обучения с открытым исходным кодом для Python).

Далее загружаются данные в переменную “loadedSound” и используется функция `mfcc` библиотеки `librosa`. MFCC - представление сигнала, в виде особого спектра, из которого с помощью различных фильтраций и преобразований удалены незначительные для человеческого слуха компоненты. Изначально сигнал делится на пересекающиеся отрезки по 20-40 мс. Предполагается, что на таких отрезках частоты сигнала не меняются слишком сильно. И уже на этих отрезках рассчитываются коэффициенты.

```
def loadSound(path):
    soundList = listdir(path)
    loadedSound = []
    for sound in soundList:
        Y, sr = librosa.load(path + sound)
        loadedSound.append(librosa.feature.mfcc(y=Y, sr=sr))
    return np.array(loadedSound)
one = loadSound('./voice/one/')
two = loadSound('./voice/two/')
three = loadSound('./voice/three/')
Загружаем наш звук в программу
X = np.concatenate((one, two, three), axis=0)
Соединяем их в один датасет
one_label = np.concatenate((np.ones(10), np.zeros(10), np.zeros(10)))
two_label = np.concatenate((np.zeros(10), np.ones(10), np.zeros(10)))
three_label = np.concatenate((np.zeros(10), np.zeros(10), np.ones(10)))
y = np.concatenate((np.repeat(0, 10), np.repeat(1, 10), np.repeat(2, 10)), axis=0)
X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(X, y, test_size=0.1, random_state=42,
shuffle=True)
X_train = X_train.swapaxes(1, 0)
X_test = X_test.swapaxes(1, 0)
Создаем Label(метки) и соединяем их
X_train_torch = torch.from_numpy(X_train).float()
X_test_torch = torch.from_numpy(X_test).float()
y_train_torch = torch.from_numpy(y_train).long()
y_test_torch = torch.from_numpy(y_test).long()
Делаем разделение на обучающий и тестовый сет
class RNN(nn.Module):
```

```

def __init__(self):
    super(RNN, self).__init__()
    self.lstm1 = nn.LSTM(input_size=87, hidden_size=256)
    self.lstm2 = nn.LSTM(input_size=256, hidden_size=128)
    self.lstm3 = nn.LSTM(input_size=128, hidden_size=64)
    self.lstm4 = nn.LSTM(input_size=64, hidden_size=32)
    self.fc1 = nn.Linear(in_features=32, out_features=128)
    self.fc2 = nn.Linear(in_features=128, out_features=64)
    self.fc3 = nn.Linear(in_features=64, out_features=32)
    self.fc4 = nn.Linear(in_features=32, out_features=3)
def forward(self, x):
    x = torch.tanh(self.lstm1(x)[0])
    x = torch.tanh(self.lstm2(x)[0])
    x = torch.tanh(self.lstm3(x)[0])
    x = torch.tanh(self.lstm4(x)[0][0])
    x = F.relu(self.fc1(x))
    x = F.relu(self.fc2(x))
    x = F.relu(self.fc3(x))
    x = self.fc4(x)
    return x

```

Затем загружается экземпляр класса RNN и осуществляется передача необходимых аргументов.

В первой строке инициализации класса `def __init__(self)` вызывается требуемая функция `super()`, которая создает объект базового класса передача необходимых аргументов и определения скелета архитектуры сети. Метод `forward()`, переписывает фиктивный метод в базовом классе и требует определения для каждой сети. Принципы, по которым данные будут перемещаться по ней (в данном случае, через переменную `X`).

```

model = RNN() #Название модели
loss_fn = torch.nn.CrossEntropyLoss() #Потери в ходе обучения
learning_rate = 0.0001 #Шаг обучения
params = model.parameters() #Параметры модели
txtfile = input("Введите имя файла"+"\\n") #Запись показателей в файл
optimizer = torch.optim.Adam(params, lr=learning_rate) #Оптимизатор адам
for t in range(0, 1001):
    y_pred = model(X_train_torch)
    loss = loss_fn(y_pred, y_train_torch)
    print(t, loss.item())
    f = open(txtfile+'.txt', "a")
    f.write(str(t)+'\\n')
    f.close()
    f = open(txtfile+'.txt', "a")
    f.write(str(loss.item())+'\\n')
    f.close()
    optimizer.zero_grad()
    loss.backward()
    optimizer.step()
    with torch.no_grad():
        def accuracy_calc(X, y, type):

```

```

correct = 0
total_correct = 0
outputs = model(X).detach().numpy()
label = y.detach().numpy()
for number in range(outputs.shape[0]):
    correct = np.argmax(outputs[number]) == label[number]
    total_correct += correct
print(type + ' accuracy: ' + str(total_correct / outputs.shape[0] * 100) + '%')
q = open(txtfile+'.txt', "a")
q.write(type + ' accuracy: ' + str(total_correct / outputs.shape[0] * 100) + '\n')
q.close()
accuracy_calc(X_train_torch, y_train_torch, "Training")
accuracy_calc(X_test_torch, y_test_torch, "Testing") #Цикл загрузки всех данных
и тренировка модели

```

Сравнительный анализ оптимизаторов. Для сравнения были выбраны основные методы оптимизатора представленные в литературе Adadelta, Adagrad, Adam, AdamW, Adamax, ASGD. На рисунках 7-14 представлена зависимость процента успеха от количества циклов для тестовых и тренировочных значений.

Adadelta. Как видно из рисунка 7 для тестовых циклов оптимизатора, в промежутке циклов 0-50 наблюдается стремительный рост процентов успеха от 0 до 37, после чего значение устанавливается равным 37 и остается неизменным до 500 цикла, затем на протяжении оставшихся 500 циклов наблюдается рост значений, который перемежается спадами. Для тренировочных значений до 500 цикла показатель успеха равен 0, после чего виден резкий рост до 66%, далее спад до 33% и стабильная работа до завершения циклов, что может означать вероятный выброс. Анализ результатов работы процент от тренированных нейронов стабильный, но не качественный и нуждается в большем количестве циклов.



Рис. 7. Зависимость процента успеха от количества циклов для оптимизатора Adadelta

Adagrad. Результат расчета для оптимизатора Adagrad приведён на рисунке 8. Из рисунка видно, что тестовые и тренировочные значения после 50 циклов стабильны на протяжении всей работы и равны, соответственно, 33% и 41%. Полученные значения говорят о стабильной работе данного оптимизатора, однако с низким процентом успеха. Следовательно Adagrad плохо подходит для распознавания речи.

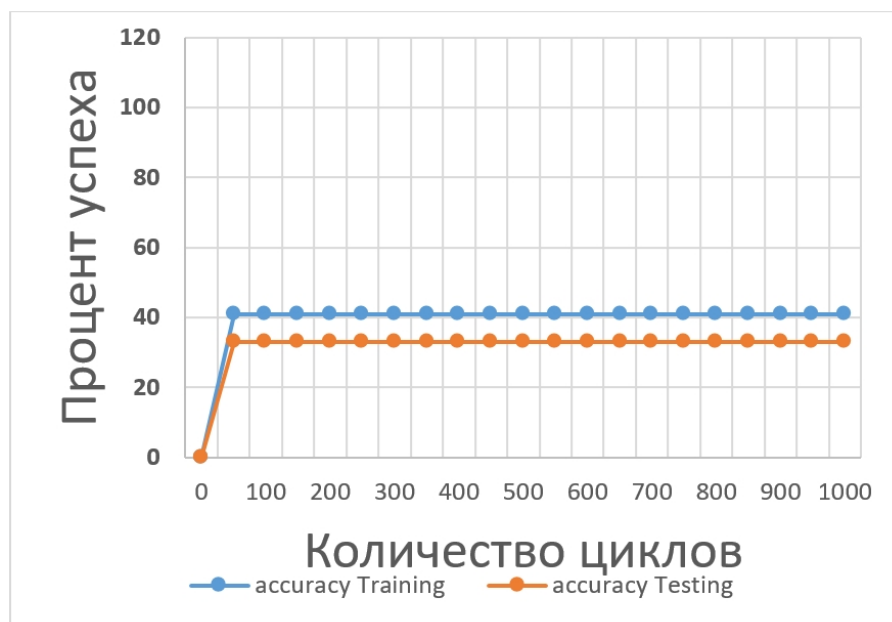


Рис. 8. Зависимость процента успеха от количества циклов для оптимизатора Adagrad

damDef. На рисунке 9 представлены результаты работы оптимизатора AdamDef. Аналогично с предыдущими оптимизаторами, наблюдается стремительный рост показателей до 50 цикла, после чего тестовые значения остаются стабильными до конца работы. Для тренировочных же значений виден рост на 200-250 цикл до 100%, за чем следует спад до 33% и снова рост до 100%.

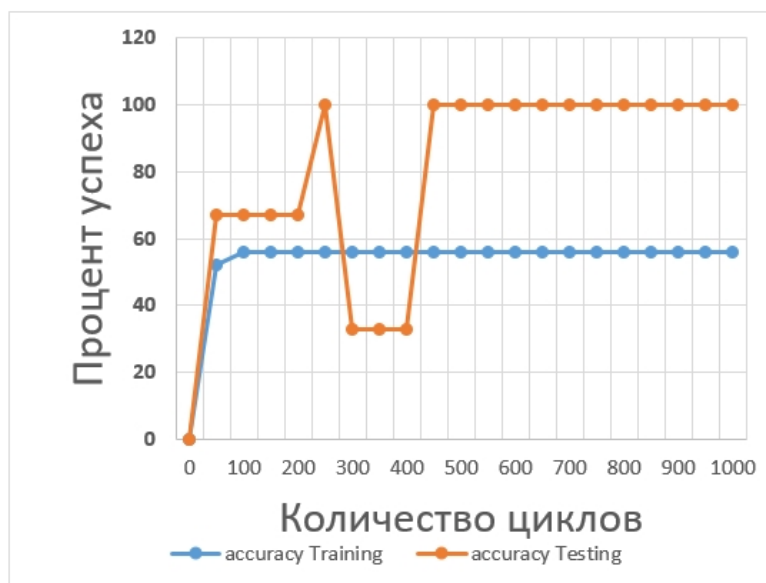


Рис. 9. Зависимость процента успеха от количества циклов для оптимизатора AdamDef

AdamW. По результатам работы оптимизатора AdamW (рис. 10) виден скачок тестовых значений от 0% до 66% на промежутке 5-150 циклов, спад до 0% и после 200-го цикла значения стабильно равны 33%. На основании этих результатов можно сделать вывод о переобучении в начале работы оптимизатора.

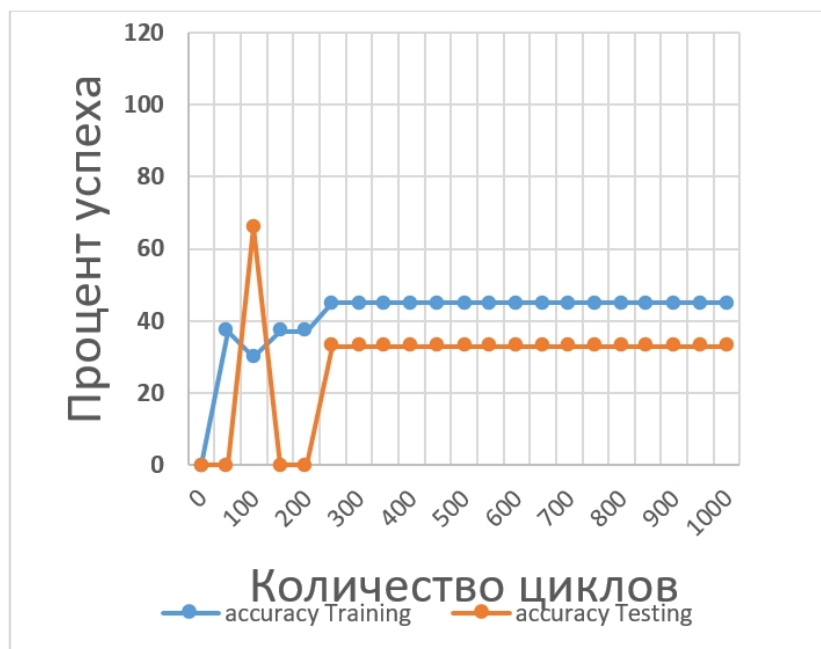


Рис. 10. Зависимость процента успеха от количества циклов для оптимизатора AdamW

Adamax. На рисунке 11 представлена работа оптимизатора Adamax. Для тестовых значений видно резкое увеличение показателей до 150-го цикла, затем рост становится более плавным. Тренировочные значения также растут до 150-го цикла, увеличиваясь до 100%, однако на 550-м цикле происходит резкий спад, после чего значения возвращаются в норму (950-м цикл). Данный результат свидетельствует о том, что Adamax приближен к качественной оптимизации.

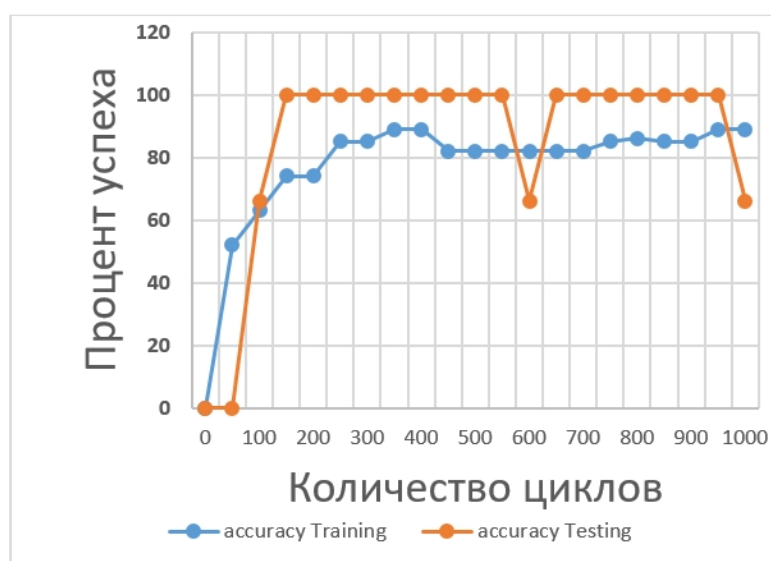


Рис. 11. Зависимость процента успеха от количества циклов для оптимизатора Adamax

ASGD. Работа оптимизатора на основе адаптивного стохастического градиентного спуска представлена на рисунке 12. На промежутке от 0 до 200 циклов тестовые и тренировочные значения совпадают, показатели стремительно растут до 50-го цикла, затем стабильно равны 33%, далее тренировочные значения принимают значения 37% до конца работы, а тестовые падают до 0%. Следовательно, данный оптимизатор совершенно не подходит для обработки речевых сообщений.



Рис. 12. Зависимость процента успеха от количества циклов для оптимизатора ASGD

AdamME. Усовершенствованный изменением шага обучаемости оптимизатор Adam (рис. 13). За 250 итераций, процент успеха тренировочных значений возрастает до 100%. Тестовые значения не увеличиваются до 150-го цикла, однако после наблюдается стремительный рост до 100%. Этот оптимизатор является наиболее подходящим для данной задачи, благодаря быстрому и качественному обучению.

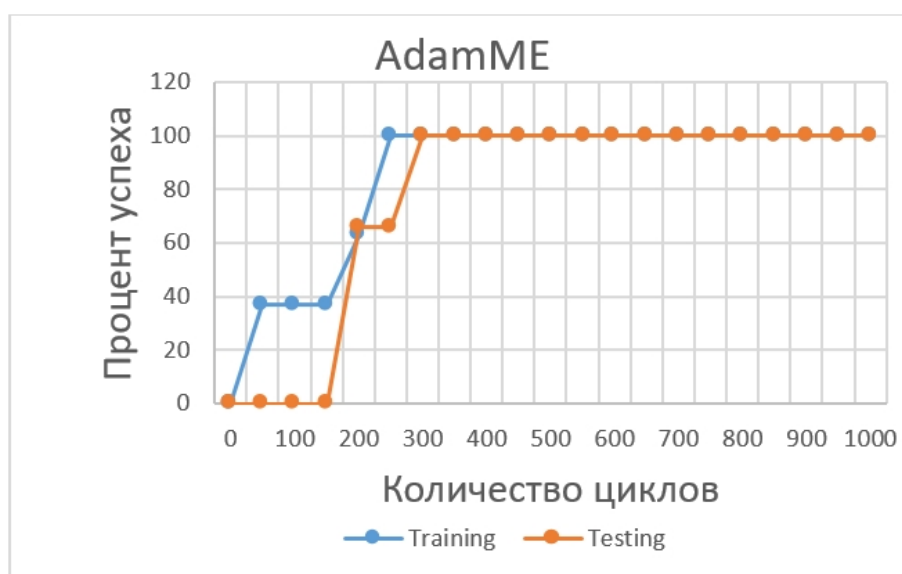


Рис. 13. Зависимость процента успеха от количества циклов для оптимизатора AdamME

AdamME vs ASGD. На рисунке 14 приведена сравнительная характеристика оптимизаторов AdamME и ASGD, которые показали, соответственно, лучший и худший результаты.

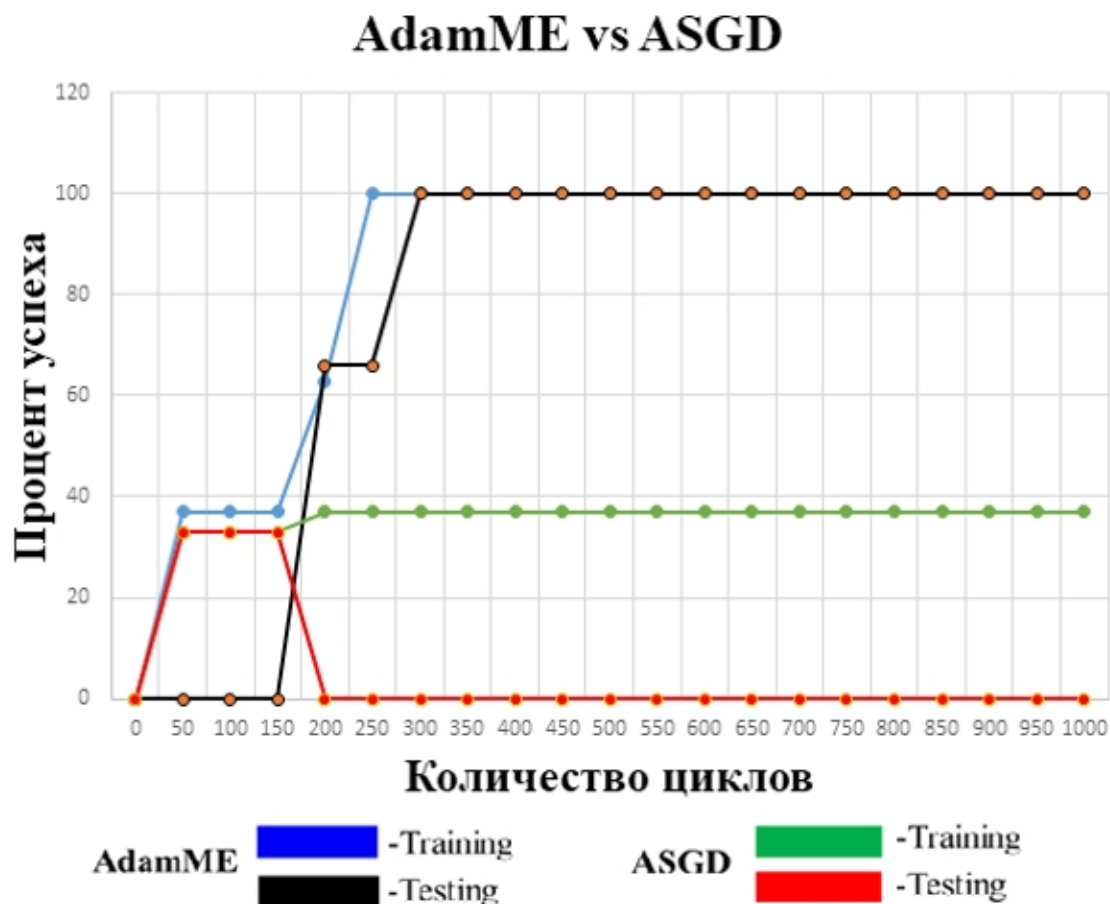


Рис. 14. Зависимость процента успеха от количества циклов для оптимизатора AdamME vs ASGD

Выводы. Реализована модель нейронной сети, позволяющая распознать человека по голосу. Разработана и реализована автоматизированная система распознавания голоса. Тестовые эксперименты с использованием таких оптимизаторов как: Adadelta, Adagrad, Adam, AdamW, Adamax, ASGD показали, что наилучшие показатели были в усовершенствованной модели Адам 100%/100%, наихудшее у ASGD 37%/0%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев И. В. Современные методы распознавания речи для построения голосового интерфейса управления системами специального назначения / И. В. Алексеев, М. А. Митрохин // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2019. – № 2 (50). – С. 3–10. – DOI 10.21685/2072-3059-2019-2-1.
2. Уоссермен Ф. Нейрокомпьютерная техника: Теория и практика / Ф. Уоссермен - М. : Мир, 1992. – 184 с.
3. Принцип и реализация LSTM: [сайт]. – URL: <https://russianblogs.com/article/8136331455/> (дата обращения 08.09.2021). – Текст : электронный.

**RESEARCH OF RECURRENT NEURAL NETWORK PARAMETERS FOR HUMAN VOICE
RECOGNITION IN SECURITY SYSTEMS**

Tretiakov I.A., Kozhekina E.N., Myshkin A.E.

This paper provides a detailed description of the implementation of an automated voice recognition system, as well as a neural network model that allows you to recognize a person by voice. The results of test experiments using the following optimizers are presented: Adadelta, Adagrad, Adam, AdamW, Adamax, ASGD. A model has been identified that is best suited for solving such problems.

Keywords: speech recognition, python, recurrent neural network, PyTorch library, optimizer.

Третьяков Игорь Александрович

кандидат технических наук, заместитель декана по научной работе, доцент кафедры радиофизики и инфокоммуникационных технологий ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», ДНР, г. Донецк.
E-mail: i.tretiakov@mail.ru

Tretiakov Igor Aleksandrovich

Candidate of Technical Sciences, Deputy Dean for Research, Associate Professor at Department of Radiophysics and Infocommunication Technologies of Donetsk National University, DPR, Donetsk.

Кожекина Елена Николаевна

старший преподаватель кафедры радиофизики и инфокоммуникационных технологий ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», ДНР, г. Донецк.
E-mail: e.kozhekina@donnu.ru

Kozhekina Elena Nikolaevna

Senior Lecturer at Department of Radiophysics and Infocommunication Technologies of Donetsk National University, DPR, Donetsk.

Мышкин Артем Евгеньевич

студент кафедры радиофизики и инфокоммуникационных технологий ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», ДНР, г. Донецк.
E-mail: par.m2010@yandex.ru

Myshkin Artem Evgenevich

Student at Department of Radiophysics and Infocommunication Technologies of Donetsk National University, DPR, Donetsk.

УДК 004.056.5

ОБЗОР МЕТОДОВ ОБНАРУЖЕНИЯ ФИШИНГОВЫХ АТАК НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

© 2021 Мухамадиева К.Б., Муминов Б.Б.

В последнее время фишинговая атака стала одной из самых известных атак, с которыми сталкиваются интернет-пользователи, правительства и организации, предоставляющие услуги. При фишинг-атаке злоумышленник собирает конфиденциальные данные клиента (например, данные для входа в учетную запись пользователя, номера кредитных / дебетовых карт и т. д.) С помощью поддельных электронных писем или поддельных веб-сайтов. Фишинговые веб-сайты являются распространенными точками входа в онлайн-атаки социальной инженерии, в том числе многочисленные мошенничества на веб-сайтах. В таких типах атак злоумышленники создают страницы веб-сайтов, копируя поведение законных веб-сайтов, и отправляют URL-адреса целевым жертвам через спам-сообщения, текстовые сообщения или социальные сети. Чтобы дать полное представление о фишинговых атаках, в этом документе представлен обзор литературы по методам искусственного интеллекта (ИИ): машинное обучение, глубокое обучение, гибридное обучение, и методы обнаружения фишинговых атак на основе сценариев. Здесь также представлено сравнение различных исследований, обнаруживающих фишинговые атаки для каждого метода ИИ, и исследуются качества и недостатки этих методологий. Кроме того, в этой статье представлен исчерпывающий набор текущих проблем, связанных с фишинговыми атаками, и направления будущих исследований в этой области.

Ключевые слова: угрозы безопасности, передовые методы фишинга, кибер-атака, безопасность в интернете, машинное обучение, глубокое изучение, гибридное обучение.

Введение. Процесс защиты киберпространства от атак получил название кибербезопасности. Кибербезопасность - это защита, предотвращение и восстановление всех ресурсов, которые используют Интернет, от кибератак. Сложность в области кибербезопасности увеличивается с каждым днем, что делает выявление, анализ и контроль соответствующих событий риска серьезными проблемами. Кибератаки - это цифровые злонамеренные попытки украсть, повредить или вторгнуться в личные или корпоративные конфиденциальные данные. Фишинговая атака использует поддельные веб-сайты для получения конфиденциальных данных клиентов, например, учетных данных для входа в учетную запись, номеров кредитных карт и т.д.

Клиенты персональных компьютеров становятся жертвами фишинговых атак по пяти основным причинам:

1. у пользователей нет краткой информации об унифицированном указателе ресурсов (URL);
2. точного представления о том, каким страницам можно доверять;
3. нет полного расположение страницы из-за перенаправления или скрытых URL-адресов;
4. URL-адрес имеет множество возможных вариантов или некоторые страницы были случайно введены;
5. Пользователи не могут отличить страницу фишингового веб-сайта от легитимных.

Фишинговые веб-сайты являются частыми точками входа в онлайн-атаки социальной инженерии, включая многочисленные продолжающиеся веб-мошенничества. В атаках такого типа злоумышленники создают страницы веб-сайтов, копируя подлинные веб-сайты и отправляя подозрительные URL-адреса целевым

жертвам через спам-сообщения, текстовые сообщения или в социальных сетях. Злоумышленник рассылает поддельный вариант исходного веб-сайта по электронной почте, телефону или сообщениям с контентом, с ожиданием, что целевые жертвы примут ссылку электронного письма. Они, вероятно, будут нацелены на жертву, чтобы получить личные или конфиденциальные данные (например, банковские реквизиты, номер государственных сбережений и т.д. В любом случае есть несколько способов борьбы с фишингом. Расширенное использование искусственного интеллекта (ИИ) затронуло практически все отрасли, включая кибербезопасность. Что касается безопасности электронной почты, ИИ обеспечивает скорость, точность и способность проводить подробное расследование. Искусственный интеллект может обнаруживать спам, фишинг, фишинг-шпион и различные виды атак, используя предыдущие знания в виде наборов данных.

Методы атак разделены на две категории: запуск атаки и сбор данных. Для запуска атаки определены несколько методов, такие как подмена электронной почты, вложения, злоупотребление социальными настройками, подмена URL-адресов, подмена веб-сайтов, интеллектуальная голосовая реакция, сотрудничество в социальной сети, резервная социальная инженерия, атака «человек посередине», целевой фишинг, подделка мобильного телефона. Между тем, для сбора данных во время и после взаимодействия жертвы с атаками используются различные методы сбора данных. Существует два типа методов сбора данных: один - это методы автоматического сбора данных, а другой - методы ручного сбора данных. Кроме того, существуют контрмеры для данных жертвы, собранных или использованных до и после атаки. Эти контрмеры используются для обнаружения и предотвращения атак. Разделим контрмеры на четыре группы:

1. методы, основанные на глубоком обучении;
2. методы машинного обучения;
3. методы, основанные на сценариях;
4. гибридные методы.

Обычные подходы к обнаружению фишинговых атак дают низкую точность и могут распознавать только около 20% фишинговых атак. Подходы машинного обучения дают хорошие результаты для обнаружения фишинга, но требуют много времени даже для небольших наборов данных и тех которые не масштабируются. Распознавание фишинга с помощью эвристических методов дает высокий процент ложных срабатываний. Не внимательность к клиентам - важная проблема для защиты от фишинговых атак. Поддельные URL-адреса используются фишером для перехвата конфиденциальных личных данных целевой жертвы, таких как данные банковского счета, личные данные, имя пользователя, секретный пароль и т. д.

Выполненные исследования по обнаружению фишинговых атак сосредоточены на одном или нескольких методах повышения точности, однако точность может быть дополнительно повышена за счет сокращения функций и использования ансамблевой модели. Существующие работы по обнаружению фишинговых атак можно разделить на четыре категории [1, 2]:

- Глубокое обучение для обнаружения фишинговых атак
- Машинное обучение для обнаружения фишинговых атак
- Обнаружение фишинговых атак на основе сценариев
- Обнаружение фишинговых атак на основе гибридного обучения

Глубокое обучение для обнаружения фишинговых атак. Последние достижения в подходах к DL предполагают, что классификация фишинговых веб-сайтов с использованием глубокой нейронной сети должна превосходить традиционные алгоритмы машинного обучения. Однако результаты использования глубокой нейронной сети сильно зависят от настройки различных параметров обучения. Существует несколько подходов DL, используемых для обнаружения вторжений в кибербезопасность, а именно: глубокая нейронная сеть, глубокая нейронная сеть с прямой связью, рекуррентная нейронная сеть, сверточная нейронная сеть, ограниченная машина Больцмана, сеть глубокого обучения, глубокий автокодировщик. Рисунок 1 показывает работу моделей глубокого обучения. Пакет входных данных подается на нейроны, и им присваиваются некоторые веса, чтобы предсказать фишинговую атаку или законный трафик [1, 2].

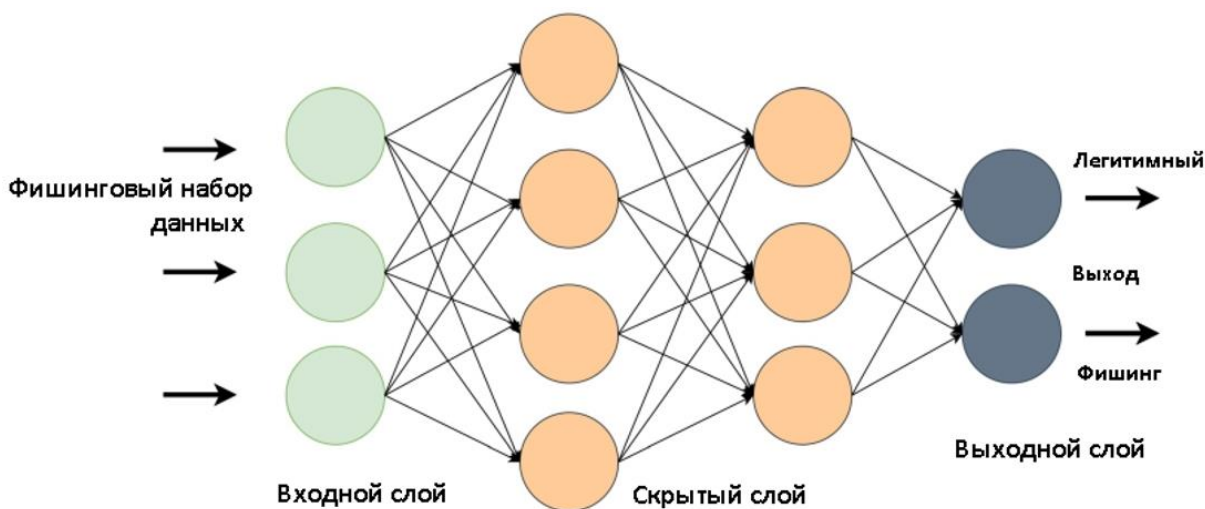


Рис. 1. Глубокое обучение для обнаружения фишинговых атак

По применениям методов следует понимать, что наиболее часто используемыми являются глубокая нейронная сеть и сверточная нейронная сеть. Были представлены и проанализированы различные подходы к DL, но существует пробел в исследованиях в использовании вычислений глубокого обучения для распознавания кибератак. Глубокое обучение имеет стратегию точного распознавания фишинговых атак. Из оцененных стратегий процедуры глубокого обучения в которых использовалось извлечение признаков, показали хорошую производительность благодаря высокой точности и надежности. Классификационные модели также демонстрируют хорошие характеристики. Кроме этого можно применить антифишинговую структуру, которая зависит от использования модели идентификации фишинга, зависящей от DL, на уровне провайдера, чтобы гарантировать безопасность в вертикальном масштабе, в отличие от равномерного выполнения. Эта методология включает в себя переходный уровень безопасности у интернет-провайдеров и устанавливается между различными работниками и конечными клиентами. Эффективность применения этой структуры заключается в том, что единственная цель блокировки может гарантировать защиту большого числа клиентов от конкретной фишинг-атаки. Накладные расходы на вычисления для моделей обнаружения фишинга явно ограничиваются поставщиками услуг Интернета, и конечным пользователям предоставляется безопасная помощь, независимо от их структуры, без высокоэффективных машин обработки.

Они использовали машину опорных векторов, NN, DT, RF, и объединили их путем наложения для достижения большей точности. Это исследование обеспечивает хорошую точность при использовании различных классификаторов.

Некоторые исследования ограничиваются несколькими классификаторами, а некоторые используют много классификаторов, но их методы не были эффективными или точными. В прошлом исследователи обычно использовали два набора данных, и они общедоступны в Phishtank сервисе и репозитории машинного обучения UCI (UCI Machine Learning Repository). Были использованы методы машинного обучения, но без сокращения функций, а в некоторых исследованиях для сравнения результатов использовалось всего несколько классификаторов.

Машинное обучение для обнаружения фишинговых атак. Подходы машинного обучения популярны для обнаружения фишинговых веб-сайтов, и это становится простой проблемой классификации. Чтобы обучить модель машинного обучения системе обнаружения на основе обучения, имеющиеся данные должны иметь функции, связанные с фишингом и законными классами веб-сайтов. Для обнаружения фишинговых атак используются разные классификаторы. Предыдущие исследования показывают, что точность обнаружения высока, поскольку используются надежные методы машинного обучения. Чтобы уменьшить количество функций, используются несколько методов выбора функций. На рисунке 2 показана работа модели машинного обучения. Пакет входных данных предоставляется в качестве входных данных для обучения модели машинного обучения прогнозированию фишинг-атаки или легитимного трафика.

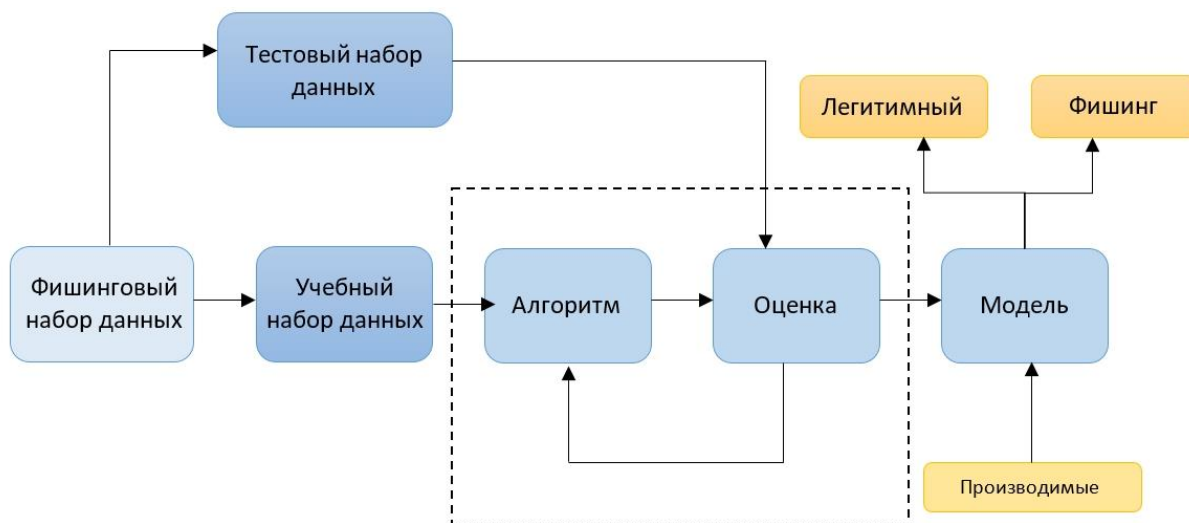


Рис. 2. Машинное обучение для обнаружения фишинговых атак

За счет уменьшения количества функций визуализация набора данных становится более эффективной и понятной. Наиболее важными классификаторами, которые использовались в различных исследованиях и которые, как было установлено, обеспечивают хорошую точность обнаружения фишинговых атак, являются C4.5, k-NN и SVM. Эти классификаторы основаны на таких дерево решений, как C4.5, поэтому они обеспечивают максимальную точность и эффективность для обнаружения фишинговых атак.

Большая часть исследователи изучали AdaBoost-Extra Tree (ABET), Bagging-Extra tree (BET), Rotation Forest-Extra Tree (RoFBET) и LogitBoost-Extra Tree (LBET),

используя базовый классификатор extra-tree [1]. Предложенные метаалгоритмы были адаптированы для наборов данных фишинговых веб-сайтов, и их производительность была протестирована. Кроме того, предлагаемые модели превосходят существующие модели на основе машинного обучения в распознавании фишинговых атак. И, следовательно, предлагается использование мета-алгоритмов при построении моделей идентификации фишинговых атак.

Обнаружение фишинговых атак на основе сценариев. В этом разделе мы сравниваем методы обнаружения фишинговых атак на основе сценариев и исследования показывают, что разные сценарии работают с разными методами и дают разные результаты.

Для определения сценариев работы необходимо провести подробный обзор существующих методов, таких как подходы на основе машинного обучения, подходы на основе немашинного обучения, подходы на основе нейронных сетей и подходы обнаружения на основе поведения для обнаружения фишинговых атак. Более того, глубокое понимание сценариев атак социальной инженерии станет возможным с использованием тематических и игровых методов расследования. Игровой метод интерпретации сценария атаки социальной инженерии является одной из таких попыток дать людям возможность понять общие сценарии атак. Кроме этого можно сконцентрироваться на фишинговых атаках с помощью их особенностей среды и вектора, в котором они живут, а также их специализированных методологий. Кроме того, они принимают эту информацию, чтобы помочь населению в целом, предпринимая подготовительные и превентивные действия против этих фишинговых атак, а также применяя политики для проверки любых дальнейших злоупотреблений со стороны фишеров. Недостаточно полагаться только на инструкции клиента в качестве меры предотвращения фишинг-атаки. Их исследование показывает, что требуется улучшение умных структур для противодействия этим специализированным методологиям, поскольку такие контрмеры будут иметь возможность распознавать и отключать как существующие атаки, так и новые угрозы фишинга.

Обнаружение фишинговых атак на основе гибридного обучения. В таблице 1 приведем анализ авторов, проведенных исследования по классификациям.

Таблица. 1. Краткая информация о подходах ML к обнаружению фишинговых веб-сайтов.

Авторы	Методы классификации	Точность (%)
Patil et al.[3]	LR, DT, RF	96.58
Niranjan et al.[4]	RC, KNN, IBK, LR, PART	97.3
Chiew et al.[5]	RF, C4.5, Part, SVM, NB	96.17
Pandey et al.[6]	RF, SVM	94

Исследования показывают, как точность была улучшена с помощью методов ансамбля и гибридного обучения. В этом направлении можно отделить некоторые нерелевантные функции из контента и изображений и применить метод опорных векторов в качестве двоичного классификатора. Группировать настоящие и фишинговые сообщения с помощью таких стратегий, как синтаксический анализ текста, токенизация слов и приостановление удаления слов. Кроме этого можно применить гибридный подход, включающий поиск, эвристическое правило и логистическую регрессию для эффективного обнаружения фишинговых атак [6].

Здесь все выполняется в три этапа:

1. большая часть веб-сайта, показанная в результате поискового запроса, является законной, если домен веб-страницы совпадает с доменным именем веб-сайтов, полученных в результатах поиска по запросу;

2. эвристическая взаимосвязь, определяющая характерные особенности

3. модель машинного обучения для предсказания, что веб-страница будет либо легальной веб-страницей, либо фишинговой атакой.

Здесь можно комбинировать гибридное решение, как применение три подхода: разбивка на черный и белый список, эвристика и визуальное сходство. Отслеживая весь трафик в системе конечного пользователя и сравнивая каждый URL-адрес с белым списком доверенных доменов, веб-сайт анализирует различные детали и выбирает один из трех решений: подозрительные веб-сайты, фишинговые веб-сайты и законные веб-сайты. Машинное обучение используется для сбора данных и создания баллов для оценки. Если оценка превышает пороговое значение, отменяется загрузка URL-адреса как фишинговая атака и немедленно блокируется, предсказывая точность своих веб-сайтов. В машинном обучении эффективно применить как методы «дерево решений», «случайный лес» и «дерево вращений»

Обсуждение и заключения. Фишинг - это обманная попытка получить конфиденциальные данные с использованием подходов социальных сетей, например, имен пользователей и паролей, с целью обмануть пользователей веб-сайта и получить их конфиденциальные учетные данные. Фишеры охотятся на человеческих эмоциях и стремлении следовать инструкциям в потоке. Фишинг настолько вездесущ в мире Интернета, что превратился в постоянную угрозу. В фишинге самая большая проблема заключается в том, что злоумышленники постоянно изобретают новые способы обмана клиентов, так что они становятся жертвами их фишинговых ловушек [7].

Подходы на основе машинного обучения, подходы на основе глубокого обучения, подходы на основе сценариев и гибридные методы применялись в прошлом для решения этой проблемы. Подробный сравнительный анализ показал, что методы машинного обучения являются наиболее часто используемыми и эффективными методами обнаружения фишинговых атак. Были использованы различные методы классификации, такие как SVM, RF, ANN, C4.5, k-NN, DT. Методы с уменьшением количества функций обеспечивают лучшую производительность. Классификация осуществляется с помощью ELM, SVM, LR, C4.5, LC-ELM, kNN, XGB и выбора функций с помощью ANOVA, обнаруженного фишинг-атакой с точностью 99,2%, что является самым высоким среди всех методов, предложенных до сих пор, но с компромиссами в с точки зрения вычислительной стоимости [7].

Метод RF обеспечивает лучшую производительность и высочайшую точность среди любых других методов классификации для различных наборов данных. Несколько исследований доказали, что точность обнаружения атак более 95% может быть достигнута с помощью метода классификации RF. Набор данных машинного обучения UCI - это общий набор данных, который в прошлом использовался исследователями для обнаружения фишинговых атак.

В различных исследованиях ученые также создали среду на основе сценариев для обнаружения фишинговых атак, но эти решения применимы только для определенной среды [8]. Отдельные пользователи в каждой организации демонстрируют разное поведение, и отдельные сотрудники в организации иногда знают о сценариях. Подход гибридного обучения - это еще один способ обнаружения фишинговых атак, поскольку

иногда он дает лучшую точность, чем RF. Исследователи считают, что некоторые ансамблевые модели могут еще больше повысить производительность.

В настоящее время защита от фишинговых атак, вероятно, считается сложной задачей для экспертов по системной безопасности. При низком уровне ложных срабатываний должна быть возможная система обнаружения для выявления фишинговых атак. Подходы к защите, о которых говорилось до сих пор, основаны на алгоритмах машинного обучения и глубокого обучения. Помимо высоких вычислительных затрат, эти методы имеют высокий уровень ложных срабатываний; однако лучше распознает фишинговые атаки. Методы машинного обучения обеспечивают лучшие результаты по сравнению с другими подходами [9, 10]. Самая эффективная защита от фишинговых атак - это образованный и хорошо осведомленный сотрудник. Но все же люди - это люди с присущими им чертами любопытства. У них есть жажда исследовать и знать больше. Чтобы снизить риск стать жертвой фишинговых уловок.

Текущая практика и будущие задачи. Фишинговая атака по-прежнему считается захватывающей формой атаки, призванной соблазнить начинающего пользователя Интернета передать злоумышленникам свои личные конфиденциальные данные. Доступны различные меры, но в какой бы момент ни было предложено решение для преодоления этих атак, злоумышленники рассматривают уязвимости этого решения, чтобы продолжить свои атаки. В прошлом было предложено несколько решений для контроля фишинговых атак. Большая часть работающих, будь то на государственном или корпоративном уровне, образовательная деятельность, бизнес, а также некоммерческая деятельность, перешли в онлайн с традиционного локального подхода. Все больше пользователей полагаются на Интернет в выполнении своей рутинной работы. Это повысило важность наличия комплексного решения для обнаружения фишинговых атак с большей точностью и меньшим временем отклика [11].

Обычные подходы к обнаружению фишинговых атак не точны и позволяют распознать только около 20% фишинговых атак. Подходы машинного обучения дают лучшие результаты, но требуют компромисса с масштабируемостью и требуют много времени даже для небольших наборов данных. Обнаружение фишинга с помощью эвристических методов дает высокий процент ложных срабатываний. Внимательность пользователя - ключевое требование для предотвращения фишинговых атак. Помимо обучения клиента безопасному просмотру, некоторые изменения могут быть внесены в пользовательские интерфейсы, такие как выдача динамических предупреждений и, следовательно, идентификация вредоносных писем. Поскольку классифицированные ресурсы доступны для гаджетов IoT, но их архитектура безопасности и функции еще не разработаны, что делает их исключительно очевидной целью для злоумышленников.

Фишинг - это дверь для всех видов вредоносных программ и программ-вымогателей. Вредоносные программы атакуют организации с использованием программ-вымогателей, а операторы программ-вымогателей требуют значительных сумм в качестве выкупа в обмен на неразглашение украденных данных, что является недавней тенденцией в 2020 году. Поддельные веб-сайты с фишингом кажутся оригинальными, но их сложно идентифицировать, поскольку злоумышленники имитируют внешний вид и функциональность реальных веб-сайтов. Профилактика лучше лечения, поэтому необходимы антифишинговые фреймворки или плагины с веб-браузерами. Эти плагины или фреймворки могут выполнять фильтрацию контента и выявлять, а также блокировать подозрительные фишинговые веб-сайты для

дальнейшей работы. Можно добавить функцию автоматической отчетности, которая может сообщать о фишинговых атаках организации со стороны пользователя, такого как банк, правительственная организация и т. Д. Время, потерянное на исправление после фишинг-атаки, может иметь разрушительное влияние на производительность и прибыльность бизнеса.

В будущем может быть разработано комплексное решение для обнаружения фишинговых атак, которое будет выявлять, сообщать и блокировать вредоносные веб-сайты без участия пользователя. Если веб-сайт запрашивает учетные данные или конфиденциальную информацию, фреймворк или интеллектуальный веб-плагин должен быть ответственным за обеспечение законности веб-сайта и заблаговременно проинформировать владельца (организацию, бизнес и т. д.). Проверка работоспособности веб-страниц во время просмотра пользователями стала потребностью времени, и необходимо масштабируемое, а также надежное решение.

Выводы. Этот анализ позволяет исследователям понять различные методы, проблемы и тенденции обнаружения фишинговых атак. В настоящее время предотвращение фишинговых атак считается сложной задачей в области безопасности системы. Эффективная система обнаружения должна иметь возможность выявлять фишинговые атаки с небольшим количеством ложных срабатываний. Стратегии защиты, о которых говорится в этой статье, - это интеллектуальный анализ данных и эвристика, машинное обучение и алгоритмы глубокого обучения. С высокими вычислительными затратами, эвристические методы и методы интеллектуального анализа данных имеют высокие требования к мощности, однако лучше распознают фишинговые атаки. Процедуры машинного обучения дают наилучшие результаты по сравнению с другими стратегиями. Часть процедур машинного обучения может определить транспортный протокол до 99%. Поскольку вредоносные URL-адреса создаются через день, и злоумышленники используют методы, чтобы обмануть пользователей и изменить URL-адреса для атаки. В настоящее время для обнаружения фишинговых атак используются методы глубокого обучения и машинного обучения. Также распространены такие методы классификации, как RF, SVM, C4.5, DT, PCA, k-NN. Эти методы наиболее полезны и эффективны для обнаружения фишинговых атак. В будущем можно будет провести исследования для более масштабируемого и надежного метода, включая интеллектуальные плагины для метки/маркировки, если веб-сайт является законным или ведет к фишинговой атаке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Alsariera Y. A. Ai meta-learners and extra-trees algorithm for the detection of phishing websites / Alsariera Y. A., Adeyemo V. E., Balogun A. O., Alazzawi A. K. // IEEE Access. – 2020. – Vol. 8. – Pp. 142532–142542.
2. Отчет Arwg. – Текст : электронный. – URL: http://docs.apwg.org/reports/apwg_trends_report_q4_2016.pdf (дата обращения: 02.09.2021).
3. Patil V. Detection and prevention of phishing websites using machine learning approach / V. Patil, P. Thakkar, C. Shah, T. Bhat, S. P. Godse // 2018 Fourth international conference on computing communication control and automation (ICCUBE). – IEEE, 2018. – Pp. 1–5.
4. Niranjana A. Ekrv: Ensemble of knn and random committee using voting for efficient classification of phishing / A. Niranjana, D. Haripriya, R. Pooja, S. Sarah, P. D. Shenoy, K. Venugopal // – Springer, Singapore, 2019. – Pp. 403-414.
5. Chiew K. L. A new hybrid ensemble feature selection framework for machine learning-based phishing detection system / K. L. Chiew, C. L. Tan, K. Wong, K. S. Yong, W. K. Tiong // Information Sciences. – 2019. – Vol. 484. – Pp. 153-166.

6. Pandey A. Identification of phishing attack in websites using random forest-svm hybrid model / A. Pandey, N. Gill, K. S. P. Nadendla, I. S. Thaseen // In International conference on intelligent systems design and applications. – Springer, Cham, 2018. – Pp. 120-128.
7. Feng Q. New anti-phishing method with two types of passwords in openid system / Q. Feng, K. K. Tseng, J. S. Pan, P. Cheng, C. Chen // 2011 Fifth international conference on genetic and evolutionary computing. – IEEE, 2011. – Pp. 69-72.
8. Jagadeesan S. URL phishing analysis using random forest / S. Jagadeesan, A. Chaturvedi, S. Kumar // International Journal of Pure and Applied Mathematics. – 2018. – Vol. 118. – No. 20. – Pp. 4159-4163.
9. Мухамадиева К. Б. Применение экспертных систем на основе искусственного интеллекта для анализа и оценки информационной безопасности / К. Б. Мухамадиева, С. С. Самадов // Информационные технологии в управлении, автоматизации и мехатронике: Сборник научных трудов Международной научно-технической конференции, Курск, 06–07 апреля 2017 года / Ответственный редактор А.А. Горохов. – Курск: Закрытое акционерное общество "Университетская книга", 2017. – С. 10-13.
10. Mukhamadiyeva K. B. Machine learning to process images by increasing the resolution of low quality images / K. B. Mukhamadiyeva // International scientific review of the technical sciences, mathematics and Computer science : collection of scientific articles XVII International correspondence scientific specialized conference, Boston, 16–17 сентября 2020 года. – Boston: PROBLEMS OF SCIENCE, 2020. – P. 50-58.
11. Последние фишинговые атаки: [сайт]. – URL: <https://www.infosec.gov.hk/english/anti/recent.html> (дата обращения 08.09.2021). – Текст : электронный.

Поступила в редакцию 27.10.2021 г.

REVIEW OF PHISHING ATTACK DETECTION METHODS BASED ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Mukhamadiyeva K.B., Muminov B.B.

Recently, the phishing attack has become one of the most well-known attacks faced by Internet users, governments and organizations providing services. In a phishing attack, an attacker collects confidential customer data (for example, user account login details, credit/debit card numbers, etc.) using fake emails or fake websites. Phishing websites are common entry points to online social engineering attacks, including numerous website scams. In these types of attacks, attackers create website pages by copying the behavior of legitimate websites, and send URLs to targeted victims via spam messages, text messages, or social networks. To give a complete picture of phishing attacks, this document provides an overview of the literature on artificial intelligence (AI) methods: machine learning, deep learning, hybrid learning, and script-based phishing attack detection methods. It also presents a comparison of various studies detecting phishing attacks for each AI method, and examines the qualities and disadvantages of these methodologies. In addition, this article presents an exhaustive set of current problems related to phishing attacks and directions for future research in this area.

Keywords: security threats, advanced phishing techniques, cyberattacks, Internet security, computer training, advanced study, mixed study.

Мухамадиева Кибриё Бахадировна

соискатель кафедры современных информационных технологий Узбекского государственного университета мировых языков, Узбекистан, г. Ташкент.
E-mail: mkb78@mail.ru

Mukhamadiyeva Kibrie Bakhadirovna

Applicant of the Department of Modern Information Technologies of the Uzbekistan State World Language University, Uzbekistan, Tashkent.

Муминов Баходир Болтаевич

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой программного обеспечения информационных технологий Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразмий, Узбекистан, г. Ташкент.
E-mail: muminovb@tuit.uz

Muminov Bakhodir Boltaevich

Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Information Technology Software of the Tashkent University of Information Technologies named after Muhammad al-Khorazmiy, Uzbekistan, Tashkent.

УДК 65.011.56:681.5.08

СТРУКТУРЫ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПАРАМЕТРОВ ПОВЕРХНОСТНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН

© 2021 Яновский А.В., Третьяков И.А., Данилов В.В.

В данной работе приведено описание реализации структур специализированных автоматизированных систем научных исследований параметров устройств на поверхностных акустических волнах на основе методов прямого зондирования и интерферометрии Фабри–Перо.

Ключевые слова: автоматизированная система, поверхностные акустические волны, дифракция, оптическое зондирование.

Введение. Среди существующих методов измерения параметров поверхностных акустических волн (ПАВ) наиболее перспективными являются оптические [1], благодаря их универсальности, высокой чувствительности и относительной простоте. Вместе с тем, по многочисленности обрабатываемых экспериментальных данных параметров и аналитических вычислений они трудно реализуемы без создания автоматизированных систем научных исследований (АСНИ) параметров ПАВ. Примеры применения автоматизированных систем экспериментальных данных научных исследований рассмотрены в работах [2-5].

Основная часть. Существующие оптические методы метрологического контроля параметров ПАВ основаны на анализе оптического излучения, рассеянного неоднородностями, вызванными распространением ПАВ [1, 4, 6]. Указанные неоднородности могут быть: геометрическими (изменяют угол падения света на поверхность распространения ПАВ); физическими (изменяются физические параметры среды) и др.

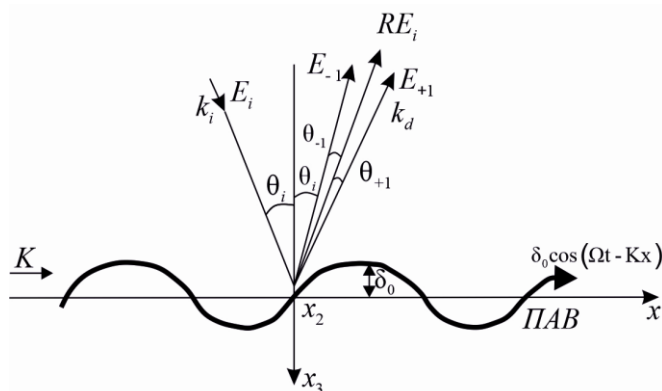


Рис. 1. Взаимодействие света с ПАВ при отражении от исследуемого объекта

Неоднородности оказывают на падающий свет действие, аналогичное фазовой дифракционной решетке (рис. 1). Поскольку эта решетка движется, частота света в дифракционных максимумах ω_m сдвинута вследствие эффекта Доплера относительно частоты падающего света ω_0 на величину, кратную частоте ПАВ - Ω : $\omega_m = \omega_0 + m\Omega$, где $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$

Сдвиг по частоте вверх наблюдается для света, отклоненного в сторону распространения ПАВ, и вниз — для света, отклоненного в противоположную сторону.

Если диаметр зондирующего светового пятна меньше половины длины ПАВ, взаимодействие света с ПАВ может рассматриваться как пространственно-временная модуляция, которая обусловлена периодическим изменением нормальной компоненты смещения, а также периодическим отклонением луча света из-за изменения локального наклона поверхности.

Так же, как и при дифракции света на объемной акустической волне, в зависимости от геометрии области взаимодействия, существуют, два вида дифракции света на ПАВ, отличающиеся различными дифракционными спектрами: Рамана - Ната и Брэгга. Первая, наблюдается при малой протяженности области взаимодействия света с акустической волной и ее спектр в этом случае представляет собой дифракционные порядки, равноотстоящие от направления зеркального отражения света на угол $\theta_m = \arcsin m\lambda / \Lambda$, где λ и Λ — длина световой и акустической волны соответственно. Второй вид дифракции имеет место на высоких частотах при большой протяженности области взаимодействия. Спектр ее состоит из двух дифракционных порядков: нулевого и первого, причем интенсивность первого максимума будет наибольшей, если свет падает под углом Брэгга к направлению распространения акустической волны $\theta_b = \arcsin \lambda / 2\Lambda$. Вид дифракции зависит от величины безразмерного параметра $Q = 2\pi L\lambda / \Lambda^2$, где L — длина области взаимодействия световой и акустической волн. При $Q \ll 1$ имеет место дифракция Рамана - Ната, при $Q \gg 1$ наблюдается дифракция Брэгга. Поскольку при оптическом зондировании длина взаимодействия света с ПАВ невелика и обычно $\lambda / \Lambda \ll 1$, рассеяние света на ПАВ соответствует режиму Рамана - Ната, за исключением волноводных структур, в которых за счет увеличения L можно добиться дифракции Брэгга.

Для анализа света, рассеянного ПАВ, решают уравнения Максвелла с граничными условиями, соответствующими распространению ПАВ. Наиболее строгое решение дает векторная теория, которая в отличие от скалярной справедлива для любых углов падения света, включая углы Брюстера. Взаимодействие света с ПАВ может иметь место как при отражении от поверхности, возмущенной ПАВ, так и при прохождении через нее, когда нужно учитывать не только деформацию поверхности, но и изменение диэлектрической проницаемости, вызванное распространением ПАВ. При исследовании объектов с ПАВ чаще используется первый случай, при котором распределение электрического поля дифрагированного оптического излучения E_d имеет вид :

$$E_d = \sum_{m=-\infty}^{\infty} A_m \exp f[(\omega_0 + m\Omega)t - k_d \rho_0],$$

где $A_m = i^{(m+1)} A_0(E_i, R) FJ_m(\alpha_1)$; $A_0(E_i, R)$ - постоянная, зависящая от амплитуды напряженности электрического поля падающего света E_i и коэффициента отражения R ; $F = \frac{\sin[\gamma - mK]D / \cos\theta_i}{[(\gamma - mK)D / \cos\theta_i]}$ - функция, определяющая угловое распределение дифракционных максимумов; ρ_0 - радиус-вектор точки наблюдения; $\gamma = k_d \sin\theta_m - k_i \sin\theta_i$; $2D$ - диаметр зондирующего светового луча; θ_i — угол падения

света (рис. 1); $J_m(\alpha_1)$ - функция Бесселя 1-го рода m -го порядка; $\alpha_1 = (k_d \cos \theta_m - k_i \sin \theta_i) \delta_0$; k_d - волновое число дифрагировавшей световой волны; k_i - волновое число падающей световой волны; $K = 2\pi/\Lambda$ - волновое число ПАВ; δ_0 - амплитуда ПАВ.

Максимум электрического поля световой волны имеет место при $F = 1$ и $\theta_m = mK / (k_i \cos \theta_i)$. Откуда следует, что при известных угле падения света θ_i и угле дифракции θ_m , можно определить фазовую скорость ПАВ $v = \lambda f / (\theta_1 \cos \theta_i)$ и длину ПАВ $\Lambda = v / f = \lambda / (\theta_1 \cos \theta_i)$, где f — частота ПАВ.

Интенсивность света в ± 1 -м дифракционном порядке определяется $I_{\pm 1} = E_d E_d^* = I_i R^2 J^2(2k_i \delta_0 \cos \theta_i)$, где I_i - интенсивность падающего света. Учитывая [1], что в реальных устройствах $k_i \delta_0 \ll 1$, формулу можно переписать в виде $I_{\pm 1} \approx I_i R^2 k_i^2 \cos^2 \theta_i \delta_0^2$. Амплитуда ПАВ при этом будет определяться выражением $\delta_0 = [\lambda / (2\pi \cos \theta_i R)] \sqrt{I_{\pm 1} / I_i}$. Следовательно, для измерения таких параметров объектов на ПАВ, как амплитуда, скорость распространения, длина ПАВ, затухание, методами когерентной оптики должна предусматриваться возможность измерения дифракционной эффективности, а также угла падения и угла дифракции (при $\theta_i \neq \pi/2$). Если в исследуемом объекте ПАВ распространяются в противоположных направлениях с амплитудами δ_+ и δ_- то дифракционная эффективность имеет вид:

$$I_{\pm 1} / I_i = R^2 [(\delta_+ k_i \cos \theta_i)^2 + (\delta_- k_i \cos \theta_i)^2 + 2\delta_+ \delta_- k_i^2 \cos^2 \theta_i \cos 2\Omega t]. \quad (1)$$

Первые два слагаемых описывают оптические поля с частотами $\omega_0 \pm \Omega$ и $\omega_0 \mp \Omega$ соответственно, третье имеет удвоенную частоту. При усреднении за время $\tau \gg t / (2\Omega)$ он стремится к нулю. При такой геометрии стоячих волн детектирование дифракционной эффективности не дает полезной информации. Однако при анализе соответствующей частотной моды можно получить мощность ПАВ, распространяющихся в одном на направлении [1]:

$$P = (K p_R L) / (k_i^2 R^2 \cos^2 \theta_i) \cdot (I_{\pm 1} / I_i),$$

где p_R — параметр, зависящий от свойств материала, L — ширина акустического луча вдоль оси x^2 (см. рис. 1).

Обычно при анализе света, рассеянного ПАВ, используют только ± 1 -й порядок дифракции, так как уже для 2-го порядка дифракционная эффективность резко падает.

Относительная простота получения количественной информации при взаимодействии света с ПАВ позволяет успешно развивать оптические методы и соответствующую аппаратуру измерения, параметров ПАВ. По-видимому, эти методы можно разделить на дифференциальные, в которых предусматривается последовательное проведение измерений по ряду точек (или методы оптического зондирования) и интегральные, с помощью которых поля ПАВ визуализируются одновременно.

В соответствии с видом взаимодействия света с ПАВ предлагается две группы методов оптического зондирования:

- основанные на анализе света, дифрагированного на ПАВ;
- с использованием фазовой модуляции волны, вызванной распространением ПАВ.

АСНИ параметров ПАВ. Обобщенная структура АСНИ общеизвестна [7]. Автоматизированная система научных исследований параметров поверхностных акустических волн (АСНИ ППАВ) основана на доработке известной структуры, элементами подсистемы, основанной на оптических методах:

- дифференциальные, в которых предусматривается последовательное проведение измерений по ряду точек (или методы оптического зондирования);
- интегральные, с помощью которых поля ПАВ визуализируются одновременно.

Фазовую информацию о ПАВ можно получить, сравнивая сигнал, при зондировании исследуемого объекта с соответствующим опорным сигналом, несущим известную информацию о фазе. При этом опорный сигнал может быть как электрической, так и световой природы. В случае световой природы надо наличие пространственной или временной интерференции обоих световых пучков, регистрируемых квадратичным детектором.

На рисунке 2 изображена структура подсистемы АСНИ, ориентированная на исследования параметров ПАВ на основе оптического зондирования (сменный элемент в подсистеме, например, интерферометр Фабри – Перо).

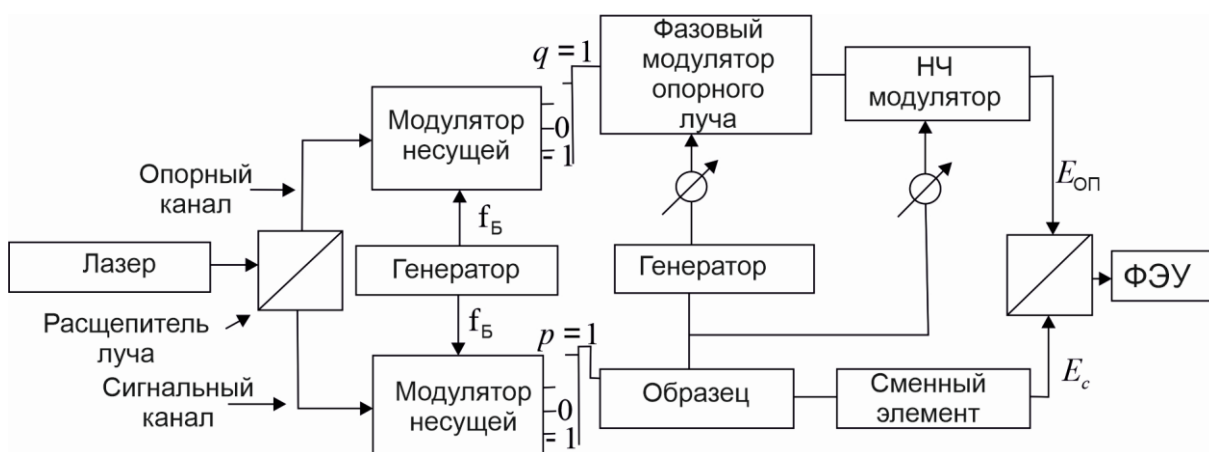


Рис. 2. Структура подсистемы АСНИ ППАВ

В соответствии со структурой, приведенной на рис. 2, луч света от лазера разделяется на сигнальный и опорный. Далее реализуется фазовая модуляция этих лучей несущей частотой f_B , и как следствие, в спектре образуются верхняя и нижняя боковые полосы для опорного и сигнального лучей. Модулятором несущей используется ячейка Брэгга, в которой несущая и ее боковые полосы пространственно разделены и с помощью переключателей p и q может быть выделен любой спектральный компонент. Процедура гарантирует, что флуктуации длины оптического пути не влияют на результаты измерений, так как спектр флуктуации не попадает в полосу обработки сигнала с центром на частоте f_B , т. е. такая система свободна от помех, обусловленных микрофонным эффектом, градиентами температуры и т. д. Варьируя различным образом несущую и частоты боковых полос в опорном и сигнальном каналах, можно работать в различных режимах: от режима с подавленной боковой до режима с одной боковой с подавленной несущей. Далее опорная и сигнальная световые волны модулируются с частотой ПАВ f и затем смешиваются на поверхности расщепителя луча или фотоприемника, причем к коллинеарности этих лучей предъявляются строгие требования. Для простоты считают, что свет падает нормально к поверхности исследуемого устройства.

При распространении двух ПАВ в противоположных направлениях, напряженность электрического поля в 1-м порядке дифракции, который обычно используется в качестве сигнального, исходя из [1], будет равна:

$$\dot{E}_C = \dot{E}_{+1} = -iRE_i k_i \{ \delta_+ e^{[-i(\omega_0 + \Omega t + Kx_1 - \Phi_+)]} + \delta_- e^{[-i(\omega_0 - \Omega t + Kx_1 + \Phi_-)]} \}. \quad (2)$$

В формуле (2) Φ_+ и Φ_- - начальная фаза ПАВ, распространяющейся вдоль оси x_1 и в обратном направлении соответственно. При падении на фотоприемник опорного пучка, частота которого сдвинута от частоты падающего света Ω_B , напряженность электрического поля равна:

$$\dot{E}_{оп} = s \dot{E}_i e^{[-i(\omega_0 + \Omega_B)t]},$$

где s — коэффициент деления расщепителя ($0 < s < 1$).

Фототок в нагрузке фотодетектора с чувствительностью η , определяется выражением [6]:

$$i_\phi = \eta [E_C + E_{оп}]^2 = \eta \{ (RE_i k_i \delta_+)^2 + (RE_i k_i \delta_-)^2 + (sE_i)^2 + + 2RsE_i^2 \delta_+ k_i \sin(\Omega_B - \Omega)t + 2RsE_i^2 \delta_- k_i \sin(\Omega_B + \Omega)t + 2RsE_i^2 \delta_+ \delta_- k_i^2 \cos 2\Omega t \}. \quad (3)$$

Дальнейшая обработка сигнала фотоприемника с помощью фильтра или резонансного усилителя, настроенного на частоту $(\Omega_B \pm \Omega)$, позволит получить, как видно из i_ϕ информацию об амплитуде ПАВ δ_+ или δ_- .

В зависимости от значений параметров, входящих в i_ϕ и используемых элементов структуры (рис. 2) различаются следующие методы (а соответственно и схемы) оптического зондирования: метод прямого зондирования, интерферометрия Фабри – Перо, метод оптического зондирования с использованием стационарной опорной решетки, метод «ножевой диафрагмы», метод с использованием опорных пучков.

В данной работе рассмотрим реализацию элемента АСНИ ППАВ на основе метода прямого зондирования и интерферометрии Фабри-Перо.

Метод прямого зондирования. Метод исключает опорный канал. Изначально измеряется постоянная составляющая тока в нагрузке фотодетектора, который пропорционален дифракционной эффективности в ± 1 -м порядке. При этом дифракционные порядки должны быть разнесенными в пространстве, а постоянная времени фотоприемника и электронной аппаратуры должна отвечать условию $\tau_\gamma \gg 1/\Omega$. Из (3) следует, что методом прямого зондирования невозможно измерить мощность ПАВ в режиме стоячих волн. Минимальная амплитуда ПАВ, будет порядка 0,14 нм. С целью увеличения чувствительности и уменьшения влияния паразитных засветок впоследствии напряжение возбуждения встречно-штыревого преобразователя модулировали импульсами прямоугольной формы, что приводит к модуляции света, диафрагмировавшего на ПАВ.

Структура подсистемы АСНИ ППАВ на основе метода прямого зондирования приведена на рис. 3. Амплитуда ПАВ определялась с погрешностью, не превышающей 5%, чему способствует применение калиброванного оптического аттенюатора. Исследуемый образец устанавливается на координатном столике, обеспечивающем микрометрические перемещения по двум осям относительно светового пучка.

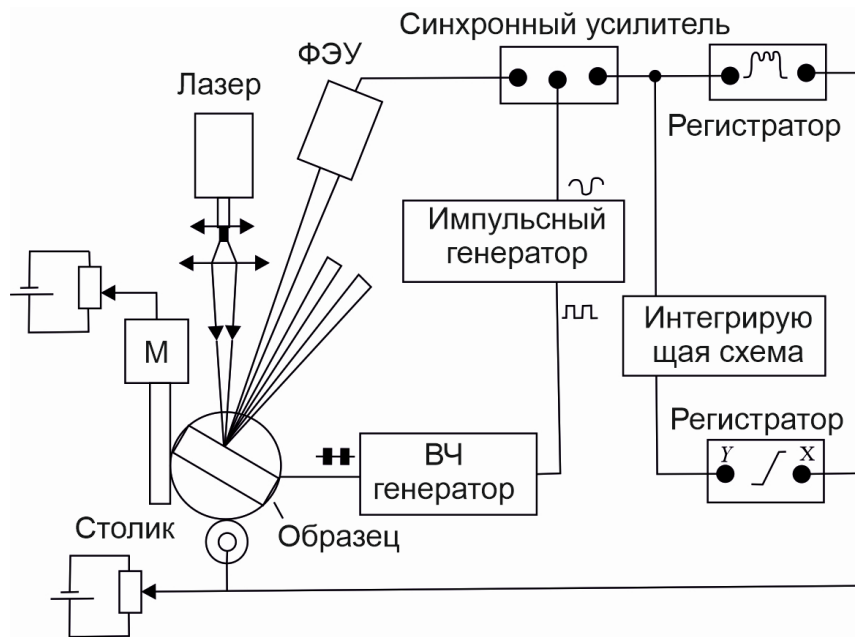


Рис. 3. Структура подсистемы АСНИ ППАВ на основе метода прямого зондирования

Такой подход позволял записывать энергетические профили ПАВ в любом сечении образца, измерять затухание ПАВ, исследовать дифракционные явления в микроструктурах на ПАВ. Измерение углов падения и дифракции света позволяет определить скорость распространения ПАВ в соответствии с уже известным выражением $v = \lambda f / (\theta_1 \cos \theta_i)$. Чувствительность метода ограничена диффузно-рассеянным светом и дробовым шумом фотоприемника.

Интерферометрия Фабри-Перо. Метод предполагает также отсутствие опорного канала. В качестве вспомогательного устройства (рис. 2) в сигнальном канале используется интерферометр Фабри - Перо (рис. 4), который позволяет с высоким разрешением выделять необходимый спектральный компонент с частотой $\omega_0 + \Omega$ или $\omega_0 - \Omega$ в присутствии сильной спектральной линии с частотой ω_0 . Одно из зеркал интерферометра монтируется на пьезоэлектрической пластине, которой обеспечивается прецизионное перемещение зеркала при подаче пилообразного напряжения.

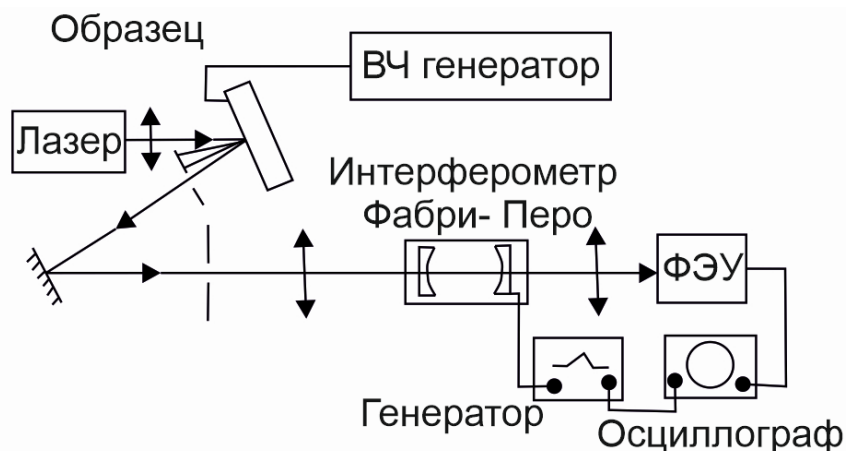


Рис. 4. Структура подсистемы АСНИ ППАВ интерферометрии Фабри-Перо

Прием позволяет сканирование по частоте. Прошедший через интерферометр свет детектируется методом прямого зондирования. Высокое разрешение и чувствительность (~10~4 нм), присущие спектроскопии Фабри - Перо, делают этот метод незаменимым при зондировании ПАВ под встречно-штыревыми преобразователями, исследовании отраженных ПАВ и измерении коэффициента стоячей волны, который для некоторой точки $x_1 = L$ может быть определен из соотношения интенсивностей:

$$I_{\pm 1}(\omega_0 \pm \Omega) / I_{\pm 1}(\omega_0 \mp \Omega) = R_1^2 \exp[-2\beta(L - x_1)],$$

где β -коэффициент затухания ПАВ.

Метод зондирования ПАВ с использованием интерферометра Фабри-Перо отличается широкой полосой рабочих частот, однако, надо признать, ограничен невозможностью измерения фазы.

Выводы. Показана возможность реализации структур специализированных автоматизированных систем научных исследований параметров устройств на поверхностных акустических волнах на основе методов прямого зондирования и интерферометрии Фабри-Перо. Структуры автоматизированных системы научных исследований параметров устройств на ПАВ, при их реализации, должны соответствовать общеизвестной и в случае принятия решения использования оптического методов, могут быть доработаны в соответствии со структурой ее подсистемы. В случае конкретизации задачи измерений могут использоваться методы, отмеченные выше, при этом будет видоизменяться и структура подсистемы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Данилов В. В. Измерение параметров устройств на поверхностных акустических волнах / В. В. Данилов, В. И. Тимченко // Донецкие чтения 2020: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности: Материалы V Международной научной конференции (Донецк, 17-18 ноября 2020 г.). – Том 1: Физико-математические и технические науки. Часть 2 / под общей редакцией проф. С.В. Беспаловой. – Донецк: Изд-во ДонНУ, 2020. – С. 158-161.
2. Третьяков И. А. Исследование применимости автоматизированной системы лингвистического анализа экспериментальных кривых [Электронный ресурс] / И. А. Третьяков // Материалы Международного молодежного научного форума «ЛОМОНОСОВ-2020» (Москва, 13-17 апреля 2020 г.) / отв. ред. И. А. Алешковский, А. В. Андриянов, Е. А. Антипов. – Электрон. текстовые дан. (1500 Мб.) – М.: МАКС Пресс, 2020. – Режим доступа: https://lomonosov-msu.ru/archive/Lomonosov_2020/index.htm
3. Третьяков И. А. Исследование спектрограмм радиочастот методами лингвистического анализа / И. А. Третьяков, В. В. Данилов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: управление, вычислительная техника и информатика. – 2020. – № 3. – С. 45-51. DOI: 10.24143/2072-9502-2020-3-45-51.
4. Тимченко В. И. Технические и алгоритмические решения для разработки автоматизированной системы измерения параметров упругих колебаний / В. И. Тимченко, В. В. Данилов, И. А. Третьяков // Дефектоскопист – 2021: сборник трудов по неразрушающему контролю / под общ. ред. проф. А. Л. Сотникова. – Донецк: Технопарк «Университетские технологии», 2021. – С. 61-63.
5. Третьяков И. А. Автоматизация процедуры определения параметров упругой среды при ударном воздействии / И. А. Третьяков, В. И. Тимченко, Я. И. Рушечников // Дефектоскопист – 2021: сборник трудов по неразрушающему контролю / под общ. ред. проф. А. Л. Сотникова. – Донецк: Технопарк «Университетские технологии», 2021. – С. 64-66.
6. Данилов В. В. Автоматизированные системы научных исследований параметров устройств на поверхностных акустических волнах / В. В. Данилов, В. И. Тимченко // Донецкие чтения 2021: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности: Материалы VI Международной научной конференции (Донецк, 26-27 октября 2021 г.). – Том 2: Физические и технические науки / под общей редакцией проф. С.В. Беспаловой. – Донецк: Изд-во ДонНУ, 2021. – С. 181-183.

7. Музгин А. С. Автоматизированная система научных исследований в горном деле / А. С. Музгин. – Алма-Ата: Наука, 2012. – 127 с.

Поступила в редакцию 02.11.2021 г.

STRUCTURES OF AUTOMATED SYSTEMS FOR SCIENTIFIC RESEARCH OF PARAMETERS OF SURFACE ACOUSTIC WAVES

IAnovskii A.V., Tretiakov I.A., Danilov V.V.

This paper describes the implementation of the structures of specialized automated systems for scientific research of the parameters of devices on surface acoustic waves based on the methods of direct sensing and Fabry-Perot interferometry.

Keywords: automated system, surface acoustic waves, diffraction, optical sensing.

Яновский Александр Вадимович

старший преподаватель кафедры радиофизики и инфокоммуникационных технологий ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»,
ДНР, г. Донецк.
E-mail: alexyana1994@mail.ru

IAnovskii Aleksandr Vadimovich

Senior lecturer at Department of Radiophysics and Infocommunication Technologies of Donetsk National University,
DPR, Donetsk.

Третьяков Игорь Александрович

кандидат технических наук, заместитель декана по научной работе, доцент кафедры радиофизики и инфокоммуникационных технологий ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»,
ДНР, г. Донецк.
E-mail: i.tretiakov@mail.ru

Tretiakov Igor Aleksandrovich

Candidate of Technical Sciences, Deputy Dean for Research, Associate Professor at Department of Radiophysics and Infocommunication Technologies of Donetsk National University,
DPR, Donetsk.

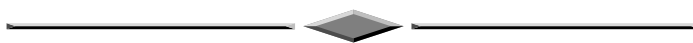
Данилов Владимир Васильевич

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой радиофизики и инфокоммуникационных технологий ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»,
ДНР, г. Донецк.
E-mail: ut5iv@mail.ru

Danilov Vladimir Vasilevich

Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Radiophysics and Infocommunication Technologies of Donetsk National University,
DPR, Donetsk.

ПРОМЫШЛЕННАЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА



УДК 62-93

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ГАЗОПОРШНЕВОЙ МИНИ-ТЭЦ С БАКОМ-АККУМУЛЯТОРОМ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ОТОПИТЕЛЬНОЙ НАГРУЗКИ

© 2021 Колесниченко Н.В., Сафьянц С.М.

В настоящей работе произведено исследование работы газопоршневой мини-ТЭЦ с баком-аккумулятором для отопления путем математического моделирования в условиях реального изменения температур наружного воздуха за отопительный период в климатических условиях г. Донецка. Произведено сопоставление результатов моделирования и расчетной методики, основанной на балансовых уравнениях. Исследование показало хорошую согласованность в результатах, полученных разными методами.

Ключевые слова: бак-аккумулятор, когенерационная установка, тепловая схема, суточный график электрических нагрузок, тарифный коэффициент.

Введение. Преобразование отопительных котельных в мини-ТЭЦ на базе использования когенерационных технологий является перспективным направлением повышения энергетической эффективности производства как тепловой, так и электрической энергии [1].

Основные преимущества когенерации: экономия до 40% топливных ресурсов по сравнению с раздельной схемой; повышение надежности электроснабжения за счет собственной генерации; улучшение качества энергоснабжения городских потребителей в условиях возрастания подключаемых электрических нагрузок; возможность работы в маневренных режимах; снижение выбросов парниковых газов и вредных веществ.

Однако в этом вопросе имеются и проблемные факторы. Тепловая и электрическая нагрузки ТЭЦ являются несогласованными, регулирование производства тепловой и электрической энергии традиционными методами снижает энергетическую эффективность. Использование систем аккумуляции тепловой энергии теоретически позволяет повысить эффективность комбинированной выработки в широком диапазоне тепловых и электрических нагрузок, однако в условиях крупных ТЭЦ это практически не применимо [2]. Наиболее экономически выгодное внедрение когенерации предполагает ее работу в базовом режиме, для которого коэффициент использования установленной мощности наибольший, однако это может привести к замещению электрических нагрузок, выполняемых более экономичными источниками. Распределительные сети препятствуют приему мощности от когенерационных установок, особенно в период ночного минимума энергосистемы. Для ТЭС существует минимально допустимая нагрузка, которую они должны нести в базовом режиме, что также ограничивает включение в энергосистему дополнительных источников в период ночного минимума.

Вместе с тем, основное оборудование ТЭС Донбасса в значительной степени выработало свой ресурс, и его эксплуатация в маневренном режиме сопровождается ухудшением технико-экономических показателей и снижением остаточного ресурса работы. Поэтому наличие мини-ТЭЦ, которые могут работать в маневренном режиме, будет способствовать улучшению показателей работы энергосистемы в целом. Кроме

того, промышленный регион характеризуется наличием вторичных энергетических ресурсов, часть которых являются тепловыми с достаточным потенциалом использования в соответствующих системах теплоснабжения [3], в том числе и в схемах источников теплоснабжения - мини-ТЭЦ.

Повысить эффективность использования когенерации можно за счет использования систем аккумуляции тепловой энергии, когда накопление тепловой энергии происходит в дневное время для ее использования в ночной период. Такая работа позволит использовать маневренные возможности когенерационных установок наиболее эффективно для энергосистемы: наибольшая электрическая мощность мини-ТЭЦ будет совпадать с часами пиковых и полупиковых нагрузок суточного графика энергосистемы, а в часы ночного минимума электрическая мощность мини-ТЭЦ также будет минимальной [4]. При этом коэффициент теплофикации такой мини-ТЭЦ теоретически может быть близок к единице.

Однако правила работы мини-ТЭЦ в энергосистеме, регламентирующие такую работу, отсутствуют. Условием, которое может стимулировать использование мини-ТЭЦ в маневренных режимах, а также разработку технологий, позволяющих это делать наиболее эффективными способами, может быть прием электрической мощности в энергосистему с учетом тарифных коэффициентов, которые используются и для потребителей.

В работе [4] выполнена оценка целесообразности использования исследуемой схемы мини-ТЭЦ на базе газопоршневых когенерационных установок и бака-аккумулятора (рис. 1) по предложенной инженерной методике, основанной на балансовых уравнениях. Безусловным преимуществом такого подхода является его простота, и такая методика может быть предложена для проектирования подобных схем.

Схема мини-ТЭЦ состоит из 3-х контуров: первичный, соединяющий тепловой утилизационный контур когенерационной установки (ТУК КГУ) с баком-аккумулятором (БА); вторичный, соединяющий БА с сетевым подогревателем; отопительный.

Температурный график ТУК КГУ 90/70 и является постоянным. 70 °С необходимо поддерживать на входе в КГУ согласно техническим требованиям, для чего в схеме предусмотрена рециркуляция. 90 °С необходимо для повышения располагаемой тепловой мощности БА. Таким образом, при изменении тепловой мощности КГУ изменяется проток воды через нее.

Для запаса горячей воды с температурой 90°С бак должен иметь подвижную теплоизолированную перегородку, разделяющую его на верхнюю – горячую, и нижнюю – холодную части. Накопление тепловой энергии происходит в верхней части бака, при этом перегородка будет перемещаться вниз, а при его разрядке перегородка перемещается вверх. Температурный график тепловой сети 85/60 является типичным для потребителей г. Донецка.

Согласно методике расчет параметров тепловой схемы производится для каждой температуры наружного воздуха отопительного периода (от +8 до -22°С для г. Донецка). При этом методика имеет допущение: считается, что зарядка бака днем и его разрядка ночью происходит при одной и той же текущей температуре наружного воздуха, для которой выполняется расчет, а все время стояния данной температуры за отопительный период разделяется на день и ночь пропорционально дневного и ночного времени в сутках. В реальных условиях это не так. Данное допущение вносит в расчет погрешность, существенность которой необходимо проверять. В связи с этим, было

принято решение выполнить моделирование работы предложенной схемы в условиях реального изменения температур наружного воздуха за отопительный период и сравнить результаты, полученные как на основании предлагаемой методики [4], так и в результате математического моделирования при одинаковых исходных данных.

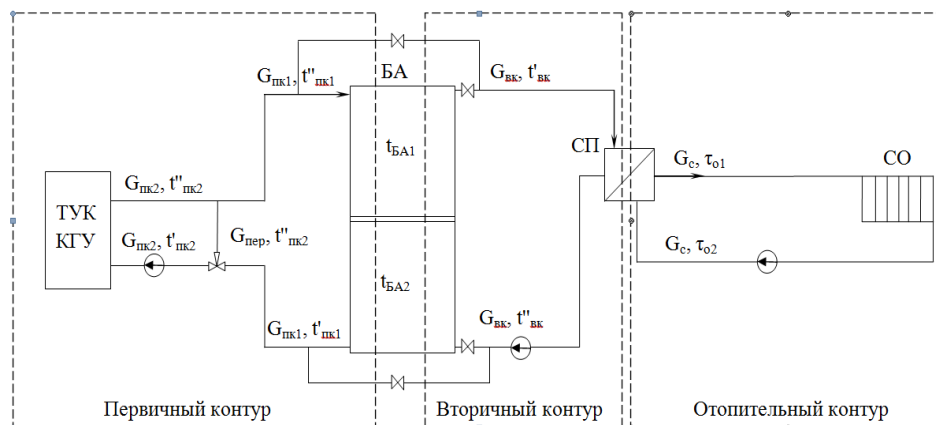


Рис. 1. Принципиальная схема мини-ТЭЦ с баком-аккумулятором: ТУК КГУ – тепловой утилизационный контур когенерационной установки; БА – бак-аккумулятор; СП – сетевой подогреватель; СО – система отопления

Постановка задачи. Дифференциальное уравнение теплового баланса в верхней части БА во время зарядки, имеет вид:

$$dQ_1 = dH_1 - dQ_{nom1}, \quad (1)$$

где количество теплоты, подаваемое в бак во время зарядки:

$$dQ_1 = c \cdot G_{нк1} \cdot t''_{нк1} \cdot d\tau; \quad (2)$$

изменение энтальпии в верхней части бака:

$$dH_1 = \rho \cdot c \cdot \frac{\partial(V_{БА1} \cdot t_{БА1})}{\partial \tau} \cdot d\tau; \quad (3)$$

потери тепла от наружного охлаждения бака:

$$dQ_{nom1} = \frac{t_{БА1} - t_{нар}}{\sum R_t} \cdot \left[\frac{\pi \cdot d_{БА}^2}{4} - \frac{4 \cdot V_{БА1}}{d_{БА}} \right] \cdot d\tau. \quad (4)$$

Перегородка является теплоизолированной, поэтому теплопередачей между верхней и нижней частями бака пренебрегаем [2]. Также считаем нижнюю часть БА теплоизолированной.

Во время зарядки БА подача тепла в сетевой подогреватель СП для выполнения текущей отопительной нагрузки производится через байпас, минуя БА. Материальный баланс верхней части бака-аккумулятора запишется уравнением:

$$dV_{БА1} = \frac{1}{\rho} G_{нк1} \cdot d\tau. \quad (5)$$

Дифференциальное уравнение теплового баланса в нижней части БА во время зарядки:

$$dQ_2 = dH_2 - dQ_{nom2}, \quad (6)$$

где:

$$dQ_2 = -c \cdot G_{нк1} \cdot t_{БА2} \cdot d\tau, \quad (7)$$

$$dH_2 = \rho \cdot c \cdot \frac{\partial(V_{БА2} \cdot t_{БА2})}{\partial \tau} \cdot d\tau, \quad (8)$$

$$dQ_{ном2} = \frac{t_{БА2} - t_{нар}}{\sum R_t} \cdot \left[\frac{\pi \cdot d_{БА}^2}{4} - \frac{4 \cdot V_{БА2}}{d_{БА}} \right] \cdot d\tau, \quad (9)$$

$$dV_{БА2} = -\frac{1}{\rho} G_{нк1} \cdot d\tau. \quad (10)$$

Также считаем, что отопительная вода из сетевого подогревателя во время зарядки бака возвращается через байпас в теплоутилизационный контур когенерационной установки.

Таким образом, подставляя (2)-(4) в (1), а (7)-(9) в (6), с учетом (5) и (10), система уравнений, описывающая работу бака во время его зарядки, будет иметь вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho \cdot c \cdot V_{БА1} \cdot \frac{dt_{БА1}}{d\tau} = c \cdot G_{нк1} \cdot (t_{нк1}'' - t_{БА1}) + \frac{t_{БА1} - t_{нар}}{\sum R_t} \cdot \left[\frac{\pi \cdot d_{БА}^2}{4} - \frac{4 \cdot V_{БА1}}{d_{БА}} \right] \\ \rho \cdot c \cdot V_{БА2} \cdot \frac{dt_{БА2}}{d\tau} = \frac{t_{БА2} - t_{нар}}{\sum R_t} \cdot \left[\frac{\pi \cdot d_{БА}^2}{4} - \frac{4 \cdot V_{БА2}}{d_{БА}} \right] \\ \frac{dV_{БА1}}{d\tau} = \frac{1}{\rho} G_{нк1} \\ \frac{dV_{БА2}}{d\tau} = -\frac{1}{\rho} G_{нк1} \end{array} \right. \quad (11)$$

Во время разрядки бака-аккумулятора когенерационная установка не работает, поэтому вода, поступающая из верхней части БА в сетевой подогреватель, после него возвращается в нижнюю часть БА.

Аналогичным образом получим систему уравнений, описывающую работу бака во время разрядки:

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho \cdot c \cdot V_{БА1} \cdot \frac{dt_{БА1}}{d\tau} = \frac{t_{БА1} - t_{нар}}{\sum R_t} \cdot \left[\frac{\pi \cdot d_{БА}^2}{4} - \frac{4 \cdot V_{БА1}}{d_{БА}} \right] \\ \rho \cdot c \cdot V_{БА2} \cdot \frac{dt_{БА2}}{d\tau} = c \cdot G_{вк} \cdot (t_{вк}'' - t_{БА2}) + \frac{t_{БА2} - t_{нар}}{\sum R_t} \cdot \left[\frac{\pi \cdot d_{БА}^2}{4} - \frac{4 \cdot V_{БА2}}{d_{БА}} \right] \\ \frac{dV_{БА1}}{d\tau} = -\frac{1}{\rho} G_{вк} \\ \frac{dV_{БА2}}{d\tau} = \frac{1}{\rho} G_{вк} \end{array} \right. \quad (12)$$

В приведенных выражениях и на рис. 1: c – теплоемкость воды, кДж/(кг·К); ρ – плотность воды, кг/м³; $G_{нк1}$ – расход воды в первичном контуре между линией рециркуляции ТУК КГУ и БА, кг/с; $G_{вк}$ – расход воды во вторичном контуре, соединяющий БА с сетевым подогревателем, кг/с; $V_{БА1}$, $V_{БА2}$ – соответственно объем воды в верхней и нижней частях бака-аккумулятора, м³; $t_{БА1}$, $t_{БА2}$ – соответственно среднеобъемная температура в верхней и нижней частях БА, °С; $t'_{нк1}$, $t''_{нк1}$ – температура воды в первичном контуре соответственно на выходе из БА и на входе в него, °С; $t'_{нк2}$, $t''_{нк2}$ – температура воды в первичном контуре соответственно на входе в ТУК КГУ и на выходе из него °С; $G_{нк2}$ – расход воды в первичном контуре, подаваемой в ТУК КГУ, кг/с; $G_{пер}$ – расход воды в линии рециркуляции ТУК КГУ, кг/с; $t'_{вк}$, $t''_{вк}$ – температура греющей воды соответственно на входе в сетевой подогреватель и на выходе из него, °С; G_c – расход сетевой воды в отопительном контуре, кг/с; τ_{o1} , τ_{o2} – температура сетевой воды соответственно в подающей и обратной линии отопительного контура, °С; $d_{БА}$ – внутренний диаметр БА, м; $t_{нар}$ – температура наружного воздуха, °С.

Расчет теплообмена в ТУК КГУ, сетевом подогревателе и системе отопления производится по стандартным формулам теплового и материального баланса теплообменных аппаратов. Данные по параметрам теплопередачи в теплоутилизационном контуре когенерационной установки приведены в [4]. Характеристики сетевого подогревателя определяются исходя из покрытия расчетной тепловой нагрузки отопления 1МВт, потерь в тепловых сетях 5%, расхода тепла на собственные нужды 5%.

Для расчета потерь тепла от охлаждения БА принято следующее допущение: температура стенки бака равна среднеобъемной температуре воды в баке, тогда термическое сопротивление при наружном охлаждении бака:

$$\sum R_t = \frac{1}{\alpha} + \frac{\delta_{уз}}{\lambda_{уз}},$$

где: $\delta_{уз}$ – толщина слоя тепловой изоляции бака, $\delta_{уз} = 0,05$ м; $\lambda_{уз}$ – коэффициент теплопроводности тепловой изоляции Вт/(м·К), с учетом снижения теплофизических свойств минераловатных плит в процессе эксплуатации [5] принимаем $\lambda_{уз} = 0,1$ Вт/(м·К); α – коэффициент теплоотдачи на наружной стенке БА, принимаем $\alpha = 23$ Вт/(м²·К).

Геометрические размеры бака в условиях проектирования определяем на основании его полного объема следующим образом:

$$d_{БА} = \left(\frac{4 \cdot V_{БА}}{1,5 \cdot \pi} \right)^{\frac{1}{3}},$$

$$h_{БА} = 1,5 \cdot d_{БА}.$$

Коэффициент полезного действия контура, включающего в себя бак-аккумулятор определяем как долю потерь в баке от вырабатываемой теплоты:

$$\eta_{БА} = 1 - \frac{Q_{ном.БА}}{Q_{ном.БА} + Q_{с.н.}},$$

где $Q_{ном.БА}$ – тепловые потери в баке-аккумуляторе, кВт; $Q_{с.н.}$ – тепловая мощность сетевого подогревателя, кВт.

Параметры тепловой схемы, входящие в (11) и (12) зависят от проектного объема БА, начальных условий, а также текущих условий, которые, в свою очередь, зависят от текущей температуры наружного воздуха. Решение уравнений (11), (12) производим численно методом Эйлера для интервала времени $\Delta\tau = 10$ мин. В данном интервале считаем температуру наружного воздуха постоянной величиной.

Исходные данные. Задачей моделирования является не только определение параметров тепловой схемы и количества вырабатываемой энергии установкой с учетом зон суточного графика электрических нагрузок энергосистемы, но и сопоставление этих результатов с результатами расчета, выполненными по методике [4]. В связи с этим, был выбран отопительный период 2017/2018 гг. в г. Донецке, для которого известна фактическая динамика изменения температур наружного воздуха. Исходя из этого определено число часов стояния соответствующих температур с интервалом 1°C , что необходимо для методики - n_i . Для каждой температуры наружного воздуха, согласно [4] определены проектные значения объема бака-аккумулятора и необходимой тепловой мощности когенерационной установки. Температуру наружного воздуха, при которой бак-аккумулятор сможет самостоятельно выполнять отопительную нагрузку в ночной период, и исходя из которой выбирается объем БА, называем расчетной температурой проектирования бака-аккумулятора – $t_{p,BA}$. Подключенная тепловая нагрузка отопления $Q'_{o} = 1$ МВт, расчетная температура внутреннего воздуха отапливаемых зданий $t_{вн} = 18^{\circ}\text{C}$. Собственные нужды мини-ТЭЦ $q_{сн} = 5\%$, потери тепла в тепловых сетях $q_{мс} = 5\%$. Число часов стояния заданной температуры наружного воздуха, расчетный объем бака-аккумулятора, установленная тепловая мощность когенерационной установки приведены в таблице 1.

Таблица 1. Исходные данные для моделирования

$t_{p,BA}, ^{\circ}\text{C}$	8	7	6	5	4	3	2	1	0	-1
$n_i, \text{ч}$	638,33	198,83	243	226,5	271,67	356,2	411,5	407,3	371,83	273
$V_{BA}, \text{м}^3$	34,7	39,1	43,4	47,9	52,5	57,4	62,3	67,2	72,5	78,4
$Q'_{тКГУ}, \text{кВт}$	1108	1108	1108	1108	1108	1108	1108	1108	1108	1108

Продолжение таблицы 1

$t_{p,BA}, ^{\circ}\text{C}$	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10	-11
$n_i, \text{ч}$	126,83	56,5	26,2	63,2	56,3	50,5	52,2	55,8	48,8	58,7
$V_{BA}, \text{м}^3$	84,0	90,3	96,9	103,3	110,0	117,9	125,3	132,8	141,6	150,5
$Q'_{тКГУ}, \text{кВт}$	1108	1108	1108	1108	1108	1108	1108	1137	1181	1223

Продолжение таблицы 1

$t_{p,BA}, ^{\circ}\text{C}$	-12	-13	-14	-15	-16	-17	-18	-19	-20	-21	-22
$n_i, \text{ч}$	28,5	25,7	23,2	22,2	24,3	18	17,5	16,3	7,3	15,5	32,3
$V_{BA}, \text{м}^3$	160,8	172,0	183,7	196,3	211,3	226,9	248,3	271,0	303,3	347,7	400,6
$Q'_{тКГУ}, \text{кВт}$	1268	1313	1356	1398	1442	1484	1529	1572	1617	1662	1709

Начальные условия для бака: $V_{БА1} = 0 \text{ м}^3$; $V_{БА2} = V_{БА} \text{ м}^3$; $t_{БА1} = t_{БА2} = 10^\circ\text{C}$.

Зоны суточного графика электрических нагрузок энергосистемы:

- пик – 8^{00} - 11^{00} , 20^{00} - 22^{00} , тарифный коэффициент $k_T = 1,5$;
- полупик – 7^{00} - 8^{00} , 11^{00} - 20^{00} , 22^{00} - 23^{00} , тарифный коэффициент $k_T = 1,0$;
- ночь – 23^{00} - 7^{00} , тарифный коэффициент $k_T = 0,4$.

Исходные данные для расчета срока окупаемости приведены в [4]: цена электроэнергии 4,14 руб/(кВт·ч), цена тепла 2441,76 руб/Гкал. Капитальные затраты учитывают стоимость когенерационных установок, затраты на их обслуживание, стоимость бака-аккумулятора. Данные затраты являются переменными. График изменения капитальных затрат приведен на рис. 2.

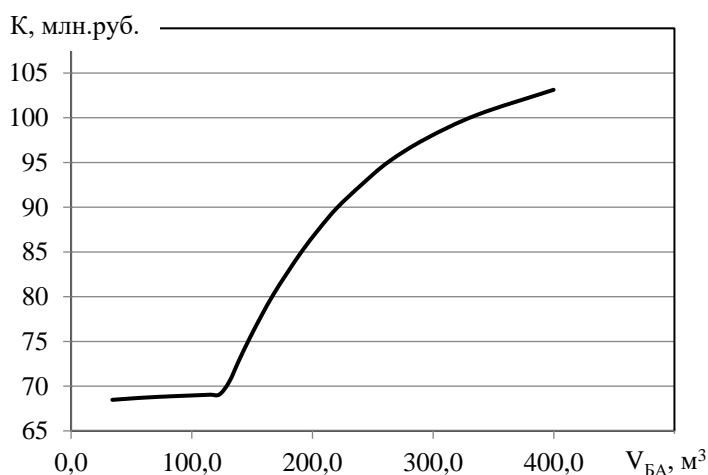


Рис. 2. Зависимость капиталовложений от проектного объема бака-аккумулятора

Результаты моделирования. Основными показателями, по которым можно судить об эффективности работы мини-ТЭЦ, это производство электроэнергии в различных зонах суточного графика электрических нагрузок энергосистемы. Зависимости выработки электрической энергии за отопительный период в различных зонах суточного графика электрических нагрузок энергосистемы в зависимости от проектной емкости бака-аккумулятора, определенная как по методике, приведенной в [4], так и в результате моделирования, показаны на рисунках 3-5.

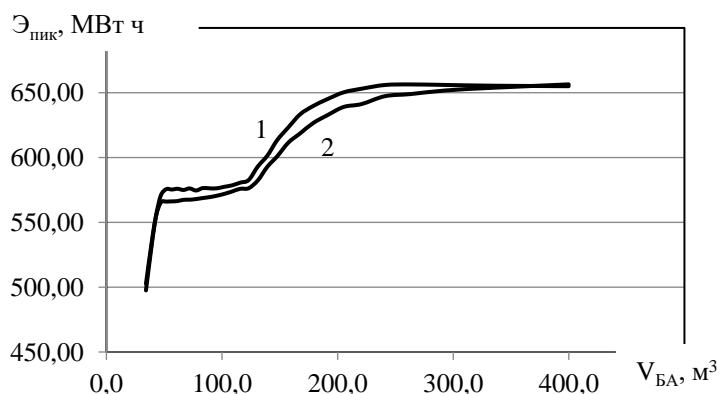


Рис. 3. Зависимость производства электроэнергии от проектного объема бака-аккумулятора в часы пиковых нагрузок суточного графика энергосистемы, определенная в результате математического моделирования (1) и по расчетной методике (2)

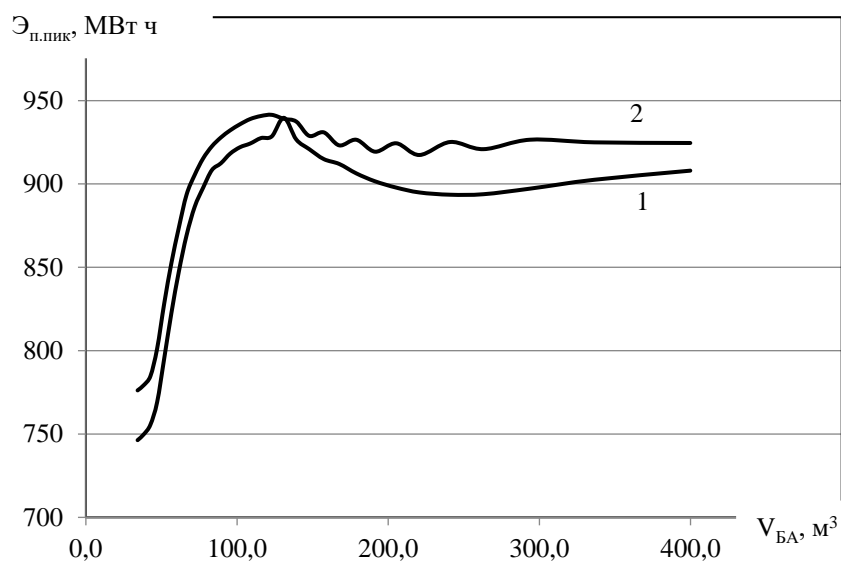


Рис. 4. Зависимость производства электроэнергии от проектного объема бака-аккумулятора в часы полупиковых нагрузок суточного графика энергосистемы, определенная в результате математического моделирования (1) и по расчетной методике (2)

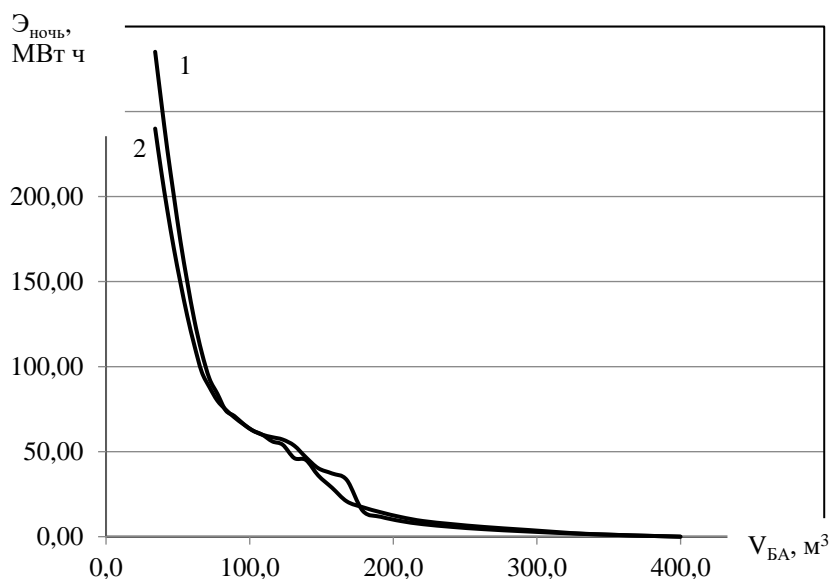


Рис. 5. Зависимость производства электроэнергии от проектного объема бака-аккумулятора в часы минимальных нагрузок суточного графика энергосистемы, определенная в результате математического моделирования (1) и по расчетной методике (2)

Как видно из приведенных рисунков, результаты, полученные по расчетной методике и путем математического моделирования, очень хорошо согласуются друг с другом: разность между ними не превышает 4%, а в большинстве случаев менее 2,5%.

На рис. 6 показаны зависимости простого срока окупаемости установки от проектного объема бака-аккумулятора, полученные по расчетной методике и в результате математического моделирования.

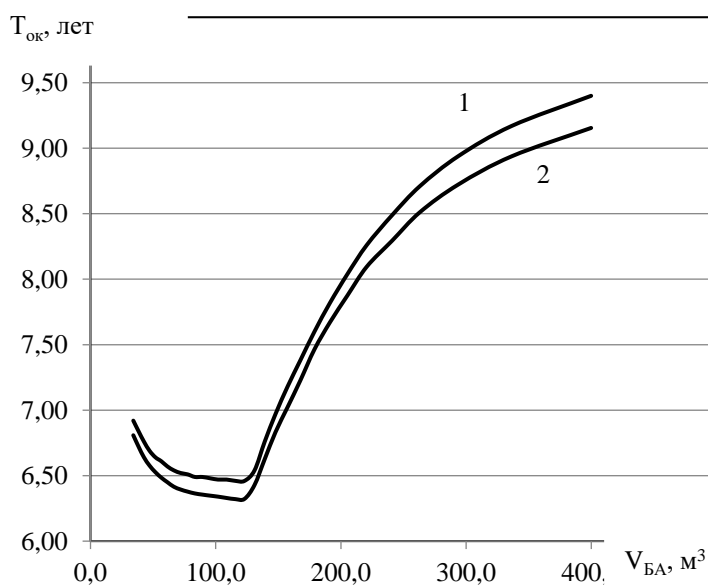


Рис. 6. Зависимость простого срока окупаемости от проектного объема бака-аккумулятора определенная в результате математического моделирования (1) и по расчетной методике (2)

Как видим, формы зависимости простого срока окупаемости для расчетной методики и моделирования хорошо согласуются между собой и имеют небольшое различие по абсолютной величине.

Выводы. Подтверждена техническая возможность и экономическая целесообразность использования когенерации для выполнения отопительной тепловой нагрузки с коэффициентом теплофикации, близким к единице.

Для определения проектных и рабочих показателей рассматриваемой схемы источника теплоэлектроснабжения разработана методика расчета, основанная на балансовых уравнениях. Описание методики приведено в [4]. Для проверки значимости принятых в методике допущений разработана математическая модель исследуемой схемы. Результаты моделирования показали хорошую сходимость результатов, полученных на основе балансовых уравнений. Преимуществом расчетной методики, основанной на балансовых уравнениях, является ее простота, поэтому она может быть использована как инженерная методика при проектировании подобных схем.

Определены рекомендуемые значения проектного объема бака-аккумулятора в расчете на 1 МВт подключенной нагрузки отопления, которые составляют 75-125 м³/МВт. Данные значения указывают на то, что предложенная технология может быть реализована на практике при подключенной отопительной нагрузке до 10 МВт, а в некоторых случаях и выше. Высокое значение коэффициента теплофикации, близкого к единице за весь отопительный период указывает на значительный энергосберегающий потенциал применения данной технологии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Филиппов С. П. Перспективы использования когенерационных установок при реконструкции котельных / С. П. Филиппов, М. Д. Дильман // Промышленная энергетика. – 2014. – № 4. – С. 7-11.
2. Бекман Г. Тепловое аккумулирование энергии / Г. Бекман, П. Гили. – Москва : Мир, 1987. – 272 с.

3. Карнаух В. В. Анализ возможности прямого использования теплоты оборотной воды для решения задач теплоснабжения / В. В. Карнаух, А. Б. Бирюков // Вестник Донецкого национального университета. Серия Г: Технические науки. – 2021. – № 2. – С. 84-93.
4. Колесниченко Н. В. Обоснование целесообразности использования бака-аккумулятора для регулирования отопительной нагрузки газопоршневой мини-ТЭЦ / Н. В. Колесниченко, С. М. Сафьянц, А. Б. Бирюков, О. В. Литвинов // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2021. – № 1. – С. 21-30.
5. Ярцев В. П. Влияние внешних воздействий на теплофизические и длительные механические свойства минераловатных плит / В. П. Ярцев, А. А. Мамонтов, С. А. Мамонтов // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2014. – № 1. – С. 125-134.

Поступила в редакцию 21.10.2021 г.

SIMULATION OF OPERATION OF A GAS-PISTON MINI-CHP WITH A BATTERY-BATTERY WHEN PERFORMING A HEATING LOAD

Kolesnichenko N.V., Safiants S.M.

In this work, a study was made of the operation of a gas-piston mini-CHP with a storage tank for heating by means of mathematical modeling in conditions of real changes in the outside air temperatures during the heating period in the climatic conditions of Donetsk. Comparison of modeling results and calculation methods based on balance equations is made. The study showed good agreement in the results obtained by different methods.

Keywords: accumulator tank, cogeneration unit, heating scheme, daily schedule of electrical loads, tariff coefficient.

Колесниченко Назар Викторович

старший преподаватель кафедры промышленной теплоэнергетики ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», ДНР, г. Донецк.
E-mail: kafedra-pt@donntu.org

Kolesnichenko Nazar Viktorovich

Senior Lecturer at the Department of Industrial Heat Power Engineering of Donetsk National Technical University, DPR, Donetsk.

Сафьянц Сергей Матвеевич

доктор технических наук, профессор, декан факультета металлургии и теплоэнергетики, заведующий кафедрой промышленной теплоэнергетики ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», ДНР, г. Донецк.
E-mail: kafedra-pt@donntu.org

Safiants Sergei Matveevich

Doctor of Engineering Sciences, Professor, Dean of the Faculty of Metallurgy and Heat Power Engineering, Head of the Department of Industrial Heat Power Engineering of Donetsk National Technical University, DPR, Donetsk.

УДК 66.045

РАЗРАБОТКА КРИТЕРИЕВ ДЛЯ АНАЛИЗА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОТЫ ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ВОДЫ В ОБОРОТНЫХ ЦИКЛАХ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

© 2021 *Бирюков А.Б., Карнаух В.В.*

В данной работе предложен набор критериев, характеризующих техническую и технико-экономическую эффективность использования теплоты воды в оборотных циклах водоснабжения для обеспечения возможности сравнения различных технических решений в этой области и определения потенциала энергосбережения.

Ключевые слова: охлаждающая вода, тепловой потенциал, низкопотенциальная теплота, оборотные циклы, критерий энергетической эффективности, коэффициент тепло трансформации, теплоснабжение.

Введение. Снижение потребления природной воды в теплоэнергетике и различными промышленными предприятиями, а также предотвращение теплового загрязнения окружающей среды – приоритетные направления в энергосбережении и улучшении экологической обстановки государства. Важная роль в решении этих задач принадлежит совершенствованию систем оборотного водоснабжения.

На предприятиях нефтехимической, нефтеперерабатывающей, газовой, химической, пищевой и других отраслей промышленности от охлаждения воды зависят режимы технологических процессов, энергозатраты и качество выпускаемой продукции. Рост промышленных предприятий требует не только увеличение площади охладителей, но и интенсификации процессов, протекающих в них [1].

В ряде работ по энергосбережению отмечена целесообразность хотя бы частичного полезного использования теплоты оборотной воды в системах оборотного водоснабжения. Эти подходы не получили всеобщего распространения, однако известен ряд технических и концептуальных решений в данной области.

Необходимость оценки эффективности полезного использования теплоты оборотной воды различными установками требует использования единого системного подхода к анализу как отдельных технологий преобразования теплоты, так и комбинированных систем.

Соответственно с этим, предметом выбора может быть наиболее эффективный тип оборудования, режим эксплуатации, мощность, степень автоматизации, сроки сооружения объектов.

Выбор эффективного варианта должен осуществляться с учетом интересов экономической и экологической политики, потребителей оборотной воды. Во всех этих случаях на практике учитываются разные слагаемые затрат и результатов производства.

Системы оборотного водоснабжения создаются, в конечном счете, для выполнения вполне определенной цели – удовлетворения спроса потребителей на охлаждающую воду при минимальной потребности в ресурсах и наименьшем суммарном ущербе в течение определенного периода времени. Последний, как правило, включает в себя целый набор слагаемых: экологические, экономические, социальные и т.д.

Как указано в работе [2] мерой выполнения поставленной задачи некоторой технической системой является ее эффективность, которая характеризуется одним или несколькими параметрами, называемыми критериями эффективности. Критерии эффективности позволяют решить основную задачу анализа таких систем – выбор наилучшего варианта, обеспечивающего оптимальную реализацию заданной цели, и анализ факторов, определяющих существование такого варианта и их влияние на окончательное решение.

В работах [3, 4] авторами был разработан ряд схем, позволяющих использовать теплоту воды в оборотной системе водоснабжения для решения типовых задач теплоснабжения. Для сравнения технической и технико-экономической эффективности различных решений необходима разработка формализованного подхода.

Известен ряд подходов по анализу эффективности работы оборудования, используемого для охлаждения воды в оборотных системах водоснабжения: вентиляторных градирен и теплонасосных установок.

В работе [5] предложено проводить оценку эффективности работы градирни по так называемому комплексному критерию M_k , в котором учитывается технологический критерий M_t , на качественном уровне отражающий особенности сложнейших процессов теплообмена в градирнях, и критерий экономической (стоимостной) эффективности M_c . Используя критерий M_k , можно качественно по-новому оценить эффективность работы вентиляторных градирен с разными насадочными слоями.

К основным параметрам, характеризующим работу парокompрессионных теплонасосных установок, относятся:

- теплопроизводительность $Q_{тн}$;
- коэффициент теплотрансформации или коэффициент производительности (COP , $\mu_{тн}$), равный отношению полной теплопроизводительности к полному энергопотреблению;
- фактор суммарного эквивалентного теплового воздействия (Total Equivalent Warming Impact – TEWI) для конкретного холодильного агента, который представляет собой сумму потенциала парникового эффекта в результате эмиссии этого холодильного агента в атмосферу и потенциала, обусловленного эмиссией диоксида углерода в процессе производства электроэнергии, которая необходима для обеспечения работы теплонасосной установки [6];
- фактор климатического воздействия (оборудования или технической системы) за период жизненного цикла (Life Cycle Climate Performance – LCCP) – метод оценки углеродного следа оборудования (системы) и влияние на глобальное потепление в течение всего срока его эксплуатации от производства до утилизации.

Целью данной работы является разработка набора критериев для всесторонней оценки эффективности использования теплоты охлаждающей воды в оборотных циклах водоснабжения.

Основной материал исследования. Ниже последовательно предложен и проанализирован ряд критериев.

В качестве первого критерия, с которого целесообразно начинать работу по сравнению различных схем, целесообразно использовать долю полезно использованной теплоты относительно валового количества теплоты, которое необходимо отвести от охлаждаемой воды. Данный критерий предложено назвать степенью использования теплоты в системе оборотного водоснабжения. Определяется при помощи следующего выражения:

$$\eta_{\text{эф}} = \frac{Q_{\text{пол}}}{Q},$$

где Q – тепловая мощность, которую необходимо отбирать от оборотной воды, Вт;

$Q_{\text{пол}}$ – полезно используемая тепловая мощность, отбираемая от оборотной воды после реконструкции системы оборотного водоснабжения, Вт.

В базовом варианте работы системы оборотного водоснабжения величина Q представляет собой тепловую мощность, передаваемую от охлаждающей воды в окружающую среду.

Теоретически $\eta_{\text{эф}}$ меняется в пределах от 0 (этот случай относится к базовому режиму, при котором вся теплота передается в окружающую среду от водоохлаждающих устройств) до 1 (эта ситуация достигается, когда вся теплота, которую необходимо отвести от оборотной воды находит полезное использование).

В реальности, если полагать, что теплота оборотной воды используется для решения задач теплоснабжения и удастся достичь полного удовлетворения этих потребностей, то предельное значение $\eta_{\text{эф}}^{\text{пред}}$ будет определяться:

в случае прямого использования теплоты воды [7]:

$$\eta_{\text{эф}}^{\text{пред}} = \frac{Q_o + Q_{\text{гв}} + Q_{\text{в}}}{Q}; \quad (1)$$

в случае использования технологии на базе теплового насоса:

$$\eta_{\text{эф}}^{\text{пред}} = \frac{(Q_o + Q_{\text{гв}} + Q_{\text{в}})(\mu_{\text{тн}} - 1)}{Q}, \quad (2)$$

где Q_o , $Q_{\text{гв}}$, $Q_{\text{в}}$ – расчетные тепловые мощности отопления, горячего водоснабжения и вентиляции всех объектов предприятия;

$\mu_{\text{тн}}$ – коэффициент теплотрансформации используемой теплонасосной установки.

Разница между предельной и реальной степенью использования теплоты в системе оборотного водоснабжения дает представление о нереализованном потенциале энергосбережения, который предлагается рассматривать как еще один критерий:

$$\text{ПЭ} = \frac{\eta_{\text{эф}}^{\text{пред}} - \eta_{\text{эф}}}{\eta_{\text{эф}}^{\text{пред}}} \cdot 100, \%$$

Зависимости (1-2) справедливы в том случае, если теплота от оборотной воды используется только для решения задач теплоснабжения (что имеет место в большинстве случаев). Если часть теплоты используется для технологических нужд, необходим пересмотр числителей данных выражений.

В качестве параметра, позволяющего оценить теплотехническую эффективность предложенных технических решений по утилизации теплоты оборотной воды, предложено использовать критерий энергетической эффективности способа утилизации теплоты:

$$K_{\text{эн}} = \frac{Q_{\text{пол}}}{N},$$

где N – мощность источников энергии (прежде всего электроэнергии), задействованных для организации отбора от оборотной воды тепловой мощности $Q_{\text{пол}}$ и ее полезного использования.

Так, с одной стороны, увеличение скорости движения потоков охлаждаемой оборотной воды через элементы теплообменного оборудования приводит к существенному увеличению теплового потока, но с другой стороны, приводит к повышению потерь давления и увеличению расхода энергии на привод нагнетателей.

Дополнительные эксплуатационные затраты при организации полезного использования теплоты оборотной воды определяются:

$$\Delta Z = \Delta Z_{\text{исп}} - \Delta Z_{\text{баз}},$$

где $\Delta Z_{\text{баз}}$ – уменьшение эксплуатационных затрат на водоохлаждающем устройстве, связанное с уменьшением проходящего через него объема воды;

$\Delta Z_{\text{исп}}$ – эксплуатационные затраты, связанные с обслуживанием устройств, полезно использующих теплоту оборотной воды.

Основными позициями в формировании величины $\Delta Z_{\text{баз}}$ являются:

- сокращение затрат на подпитку основного потока воды, связанное с уменьшением потерь воды на капельный унос и испарение (в штатном режиме работы потери воды, идущей по контуру, обеспечивающему полезное теплоиспользование, отсутствуют);

- сокращение затрат электроэнергии на привод вентиляторов градирен и перекачку воды охлаждаемой на градирнях (в связи с тем, что на градирни поступает меньшее количество воды).

Основными позициями в формировании $\Delta Z_{\text{исп}}$ являются:

- дополнительные затраты электроэнергии на привод нагнетателей для прокачки потока охлаждаемой воды через элементы теплоиспользующего оборудования;

- затраты электроэнергии для обеспечения работы теплонасосной установки (в случае, если задействована соответствующая технология утилизации теплоты).

В итоге величина ΔZ может оказаться даже отрицательной, что соответствует случаю получения положительного экономического эффекта от одного лишь сокращения потерь воды на градирнях.

Использование теплоты оборотной воды для решения задач теплоснабжения предприятия позволяет достичь экономии традиционных энергоносителей (природного газа или электроэнергии).

Абсолютная стоимость сэкономленных энергоносителей:

- в случае использования природного газа в базовом наборе оборудования, задействованном для решения задач теплоснабжения:

$$C_{T_r} = \frac{Q_{\text{пол}}}{Q_{\text{нр}} \cdot \eta} \cdot \frac{1}{1000} \cdot C_r \cdot n_p; \quad (3)$$

- в случае использования электроэнергии

$$C_{T_э} = \frac{Q_{\text{пол}}}{3600} \cdot C_э \cdot n_p, \quad (4)$$

где $Q_{\text{нр}}$ – теплота сгорания природного газа, кДж/м³;

η – коэффициент полезного действия устройства, использующего природный газ;

C_r – стоимость природного газа, руб./1000 м³;

$C_э$ – стоимость электроэнергии, руб./кВт·ч;

n_p – продолжительность работы системы, использующей теплоту оборотной воды в течение года, с/год.

При работе с зависимостями (3) и (4) в качестве $Q_{пол}$ следует использовать среднеинтегральное значение за период эксплуатации теплоиспользующей установки.

Относительная стоимость сэкономленных энергоносителей (руб./((год·МВт))):

$$\text{Для природного газа } C_{T_r}^{отн} = \frac{C_{T_r}}{Q};$$

$$\text{Для электроэнергии } C_{T_э}^{отн} = \frac{C_{T_э}}{Q}.$$

Годовой экономический эффект от реконструкции, обеспечивающей полезное использование теплоты оборотной воды (на примере случая, когда замещается природный газ):

$$Эк = C_{T_r} - ДЗ.$$

Срок окупаемости в случае быстрой окупаемости может быть определен при помощи следующей зависимости:

$$T_{ок} = \frac{Инв}{Эк},$$

а при значительном сроке следует использовать формулу для дисконтированного срока окупаемости:

$$T_{ок} = \min n, \text{ при котором } \sum_{t=1}^n \frac{Эк_t}{(1+r)^t} \geq Инв,$$

где $Инв$ – объем инвестиций, руб.;

r – ставка дисконтирования;

t – индекс годов реализации проекта.

Выводы. Существенно снизить потребление воды на производственные нужды из источников водоснабжения и уменьшить сброс сточных вод в водоемы позволяет внедрение на промышленных предприятиях оборотных систем водоснабжения и наиболее совершенных замкнутых систем водного хозяйства. При этом стоит учитывать существенный тепловой потенциал оборотной воды, который необходимо оценивать, используя единый системный подход анализа как отдельных технологий преобразования теплоты, так и комбинированных систем.

Для всесторонней оценки эффективности систем оборотного водоснабжения с точки зрения полезного использования теплоты оборотной воды предложен набор таких критериев как: степень использования теплоты в системе оборотного водоснабжения, нереализованный потенциал энергосбережения, коэффициент энергетической эффективности способа утилизации теплоты, относительная стоимость сэкономленных энергоносителей; годовой экономической эффект от реконструкции, обеспечивающей полезное использование теплоты оборотной воды, и срок окупаемости проекта по реконструкции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карнаух В. В. Водоохлаждающие устройства в системах водоснабжения металлургических предприятий / В. В. Карнаух, А. Б. Бирюков // Черная металлургия. – 2016. – №.6. – С.88-97.
2. Симанков В. С. Оценка эффективности вовлечения нетрадиционных возобновляемых источников энергии в энергобаланс региона / В. С. Симанков, П. Ю. Бучацкий // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки. – 2012. – №. 2. – С. 127-136.
3. Гашо Е. Г. Тепловые насосы в современной промышленности и коммунальной инфраструктуре. Информационно – методическое издание / Е. Г. Гашо, С. А. Козлов и др.– М.: Издательство «Перо», 2016. – 204 с.
4. Ефимов Н. Н. Анализ использования тепловых насосов на тепловых и атомных электростанциях / Н. Н. Ефимов, В. В. Папин, П. А. Малышев, Р. В. Безуглов // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2010. – № 4. – С. 35-39.
5. Федяев В. Л. Об эффективности работы промышленных градирен / В. Л. Федяев, А. Б. Мазо, И. В. Моренко, Р. Ф. Гайнуллин, Р. Ф. Гайнуллина// Проблемы энергетики. – 2009. – № 1-2. – С. 15-24.
6. Makhnatcha P. The role of environmental metrics (GWP, TEWI, LCCP) in the selection of low GWP refrigerant / P. Makhnatcha, R. Khodabandeha // The 6th International Conference on Applied Energy – ICAE2014. Energy Procedia. – 2014. – Vol. 61. – P. 2460 – 2463. DOI: 10.1016/j.egypro.2014.12.023.
7. Карнаух В. В. Анализ возможности прямого использования теплоты оборотной воды для решения задач теплоснабжения / В. В. Карнаух, А. Б. Бирюков // Вестник Донецкого национального университета. Серия Г: Технические науки. – 2021. – № 2.– С. 84-93.

Поступила в редакцию 28.10.2021г.

DEVELOPMENT OF CRITERIA FOR EFFICIENCY OF COOLING WATER HEAT USE IN REVERSE WATER SUPPLY CYCLES ANALYSIS

Biriukov A.B., Karnaukh V.V.

In this paper, a set of criteria that characterize the technical and economic efficiency of the useful heat utilization in the recycling water supply system has been developed. The proposed set of criteria ensures the possibility of comparing various technical solutions in this area and determining the potential for energy-saving technologies.

Keywords: cooling water, thermal potential, low-grade heat, reverse cycles, criterion of energy efficiency, coefficient of heat transformation, heat supply.

Бирюков Алексей Борисович

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технической теплофизики, проректор ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет»,
ДНР, г. Донецк.
E-mail: birukov.ttf@gmail.com

Biriukov Aleksei Borisovich

Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Technical Thermophysics, Vice-rector of Donetsk National Technical University,
DPR, Donetsk.

Карнаух Виктория Викторовна

кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры холодильной и торговой техники имени Осокина В.В. ГО ВПО «Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского»,
ДНР, г. Донецк.
E-mail: karnaukh.vita0629@gmail.com

Karnaukh Viktoriia Viktorovna

Candidate of Technical Sciences, Docent, Professor at Department of Refrigerating and Trade Equipment named after V.V. Osokin of Donetsk National University of Economics and Trade named after Mikhail Tugan-Baranovskiy,
DPR, Donetsk.

УДК 662.9

АНАЛИЗ СПОСОБОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПЕЧЕЙ ПРИ РАБОТЕ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЯЮЩЕЙСЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

© 2021 Бирюков А.Б., Турулина Ю.О.

В статье рассмотрены основные причины возникновения режимов с пониженной производительностью в печах непрерывного действия для нагрева металла перед обработкой давлением. Проанализированы расчетные методики и математические модели, используемые для определения режимных параметров и управления процессом в таких условиях. Детально рассмотрены процедуры адаптации моделей на основе результатов термометрирования печей. Проанализированы алгоритм диагностики нагрева металла в режиме реального времени и способ оценки адекватности, основанный на построении моментальных тепловых балансов, с целью выяснения необходимости корректировки режима.

Ключевые слова: печь непрерывного действия, режимные параметры, математическая модель, термометрирование, адаптация модели, диагностика нагрева, моментальный тепловой баланс.

Введение. Методические печи являются основным агрегатом для нагрева металла перед прокатным станом. Через них пропускается большая часть производимой в мире стали.

Несмотря на устойчивый рост мирового производства стали в последнее время наметились тенденции к снижению производительности печей.

Независимо от причин, вызвавших изменение производительности печи, рациональные параметры ее работы должны обеспечить заданное качество нагрева (среднемассовая температура и не превышение допустимого температурного перепада) при разумном удельном расходе топлива и количестве образовавшейся окалины.

С одной стороны, задача определения рациональных параметров проходных печей в условиях изменяющейся производительности чрезвычайно важна, а, с другой стороны, существуют значительное количество принципиально отличающихся способов решения данной задачи. Для принятия за основу одного из известных способов необходим их детальный анализ.

В связи с этим целью данной работы является проведение анализа способов определения рациональных теплотехнических параметров печей при работе в условиях пониженной производительности.

Причины изменения производительности печей. На фоне постоянного роста мирового производства стали в целом произошло изменение ситуации для отдельных предприятий.

Прежде всего, снизились объемы производства. Возросла необходимость решения задач оптимизации с целью реального сокращения затрат на топливо, на потери металла с окалиной и с браком заготовок.

Таким образом, изменение производительности печи, в первую очередь, обусловлено снижением объемов производства на отдельных предприятиях.

Помимо этого, наблюдается расширение номенклатуры сортов металлов нагреваемого металла с необходимостью поддержания соответствующих оптимальных режимов [1].

Немаловажным фактором является снижение числа заготовок в отдельных партиях, в результате чего возникает необходимость одновременного нагрева в печи заготовок разного сортамента [2, 3] с варьированием режима нагрева.

Все более важное значение приобретает совместный нагрев заготовок холодного и горячего посадков [4, 5].

Методы определения режимных параметров. Впервые задача определения рациональных параметров печи, как минимум в номинальном режиме ставится уже на стадии проектирования печи. Решается она при помощи метода тепловой диаграммы Семикина И. Д. [6] или при помощи детерминированной математической модели [3].

В работе [6] рассматривается два варианта расчета – первый, для случаев, когда необходимо определить продолжительность нагрева; второй, когда для известной продолжительности нагрева определяют температуру поверхности металла на заданном участке.

Исходными данными при расчете продолжительности нагрева являются размеры, физические и теплофизические свойства нагреваемого металла, конечное и начальное температурные состояния, а также технологические ограничения, накладываемые на процесс нагрева.

Опираясь на практический опыт, задаются распределением температуры по длине печи и по зонам. Для каждой зоны определяется теплотехнический режим нагрева металла.

Расчет нагрева начинается с методической зоны. Сначала вычисляется приведенный коэффициент излучения, затем задавая конечной температурой поверхности металла, определяют усредненные на расчетном участке теплофизические свойства металла и коэффициенты теплоотдачи.

При расчете нагрева теплотехнически массивного тела определяют относительную избыточную температуру поверхности металла и, используя диаграммы Семикина, вычисляется продолжительность нагрева металла.

Расчет продолжительности нагрева теплотехнически тонкого тела ведется по закону излучения.

Затем переходят к расчету нагрева металла в следующей по ходу металла зоне.

В случае несовпадения расчетной и заданной температур поверхности металла в томильной зоне возможна корректировка продолжительности нагрева.

При несоблюдении технологических ограничений производится повторный расчет при измененной температуре в печи и (или) при другом соотношении зон.

В вышеизложенной методике температура уходящих газов после печи принимается из интервала 800-1100 °С и однозначно не определяется. Необходимость изменения задания этой величины возникает лишь в случае несоблюдения заданных параметров нагретого металла. Это обстоятельство причиняет определенные неудобства при расчете и моделировании процесса в силу неоднозначности задания граничных условий.

Для устранения данной неопределенности предложено дополнение [7] к базовой методике, позволяющее однозначно определять температуру уходящих газов при заданных значениях производительности и температуры в конце методической зоны методом последовательных приближений.

В начале произвольно принимаются температура уходящих газов из печи, а также температура поверхности заготовки в конце методической зоны. По заданной продолжительности нагрева определяются среднемассовая энтальпия заготовки в зоне и как следствие – среднемассовая температура металла.

Среднемассовая энтальпия слитка вычисляется по формуле:

$$i_1 = \frac{\tau_1 \cdot K_1 \cdot \bar{q}_1 \cdot 3600}{r_0 \cdot \rho \cdot 10^3} + i_n,$$

где i_1 – среднемассовая энтальпия заготовки, кДж/кг;

τ_1 – продолжительность нагрева заготовки в методической зоне, ч;

K_1 – коэффициент материальной нагрузки;

\bar{q}_1 – средняя плотность теплового потока в методической зоне, Вт/м²;

r_0 – толщина прогреваемого слоя, м;

ρ – плотность материала заготовки, кг/м³;

i_n – начальная энтальпия заготовки, кДж/кг.

Температура поверхности металла в конце методической зоны уточняется исходя из условия:

$$t_1 = t_{n1} - \frac{q_1 \cdot r_0}{K_2 \cdot \lambda} \cdot \frac{K_3 - 1}{K_3},$$

где t_1 – среднемассовая температура заготовки в методической зоне, °С;

q_1 – плотность теплового потока в конце методической зоны, Вт/м²;

t_{n1} – температура поверхности заготовки в конце методической зоны, °С;

λ – коэффициент теплопроводности материала заготовки при заданной температуре поверхности заготовки в конце методической зоны, Вт/(м·К);

K_2, K_3 – коэффициенты усреднения теплового потока и температуры, соответственно.

Температура уходящих газов вычисляется из теплового баланса по формуле:

$$t'_{yx} = t_{ce} - \frac{P \cdot \Delta i}{C_o \cdot V_o \cdot B_m},$$

где t'_{yx} – температура уходящих газов, °С;

t_{ce} – температура печи в сварочной зоне, °С;

P – производительность печи, кг/с;

Δi – изменение энтальпии в методической зоне, кДж/кг;

$C_o V_o$ – теплоемкость и объем дымовых газов, соответственно, кДж/(м³·К), м³/м³;

B_m – расход топлива, кг/с.

Искомые величины температуры газов после печи и температуры поверхности металла в конце методической зоны многократного пересчитываются до достижения заданной погрешности.

Дальнейшее совершенствование заключается в разработке методики расчета температурного профиля печи, обеспечивающего заданное состояние заготовки при пониженной производительности прокатного стана [8].

Предложен следующий алгоритм расчета. Прямым методом, в соответствии с [7], получены параметры номинального режима.

Параметры для режимов с пониженной производительностью определяются обратным методом, опираясь на данные прямого метода.

Обратный метод базируется на сохранении неизменной энтальпии металла по зонам и по печи в целом при пониженной производительности на уровне номинального режима.

Расчет завершается при совпадении величин энтальпии металла после печи, полученных в результате прямого и обратного методов в пределах заданной погрешности. Температурный профиль печи для различной производительности приведен на рис. 1.

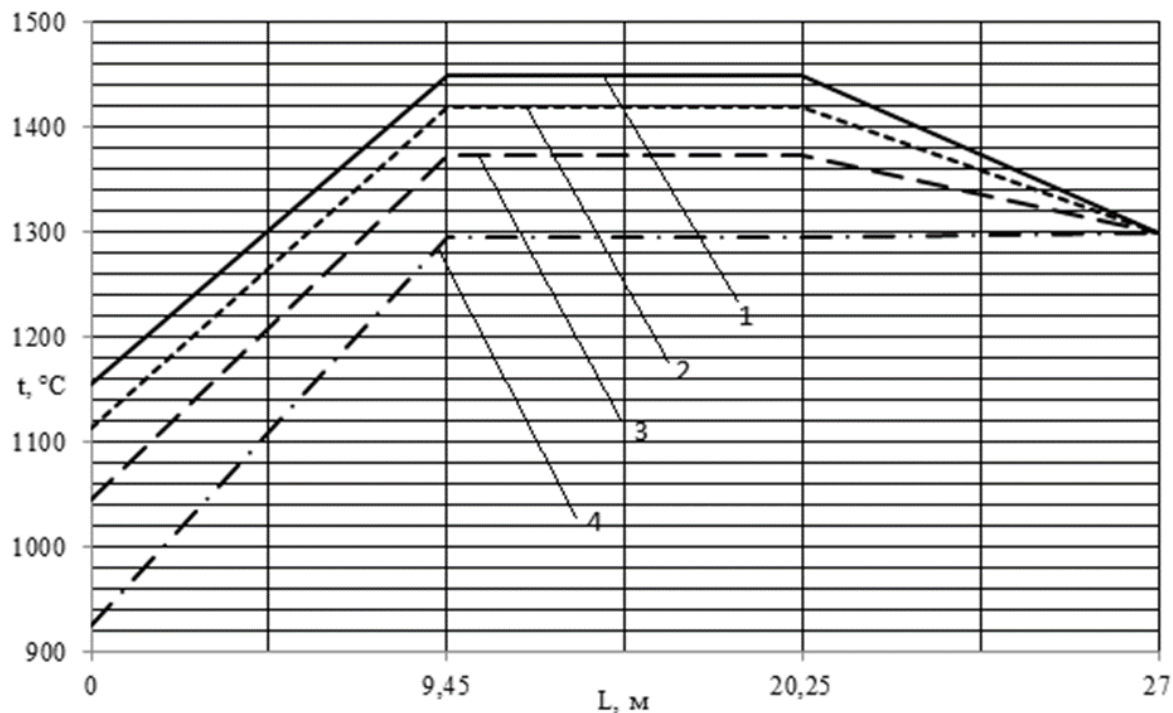


Рис. 1. Зависимость температуры газов по длине печи для различной производительности: 1 – номинальный режим; 2 – режим при производительности «0,9·Р»; 3 – режим при производительности «0,75·Р»; 4 – режим при производительности «0,5·Р»

Равенство энтальпии металла по зонам при снижении производительности не сохраняется. При этом достигается заданное температурное состояние металла после печи.

Помимо описанных выше расчетных методик существует множество приемов для формирования математических моделей нагрева металла в методических печах.

С помощью математических моделей исследуются закономерности процесса, расширяются представления о его свойствах, разрабатываются алгоритмы управления, производится непосредственное использование модели в системе управления.

Полнота и сложность математической модели определяется целью моделирования.

Наиболее распространенной является математическая модель, основывающаяся на решении уравнения теплопроводности [3]. При этом достигается конечное заданное температурное состояние металла. Задается распределение температуры по сечению заготовки во времени. Учитывается зависимость теплофизических характеристик металла от температуры. Температурное распределение в зонах печи считается заданным.

Адаптация. При аттестации вводимой в эксплуатацию печи необходима проверка расчетных параметров температурного режима.

Для этого используются или косвенные методы (измерение температуры поверхности на выдате или анализ энергосиловых параметров прокатного оборудования в процессе работы) или термометрирование печи при помощи специальных заготовок «начиненных датчиками».

Методы постоянного инструментального контроля температурного состояния металла в печи в настоящее время отсутствуют.

Качество прогрева металла издавна определялось периодически методом термометрирования путем измерения температуры внутри прогоняемого через печь опытного сляба с помощью зачеканенных в него термопар и передачи сигнала через термоизолированный кабель. Иногда термопары не зачеканивались, а помещались в просверленные отверстия в слябе во время его остановки напротив смотрового окна печи. Полученные результаты замеров использовались при разработке, адаптации либо уточнения математической модели, с помощью которой осуществлялось управление процессом нагрева [3, 9-11].

Современный метод термометрирования базируется на использовании автономного устройства, транспортируемого на опытном слябе через всю печь и накапливающего информацию о температурном состоянии заготовок и печи в целом при помощи специальных датчиков.

После печи устройство извлекается из контейнера и подключается к персональному компьютеру, в котором производится обработка полученных данных.

Кроме того, возможна опция получения данных в режиме online на частоте сигнала 433 МГц [12, 13].

Таким образом, можно получить полную информацию о температурном поле в рабочем пространстве печи или об изменении температуры на поверхности и внутри заготовки. На основании полученных данных возможно автоматическое построение математической модели нагревательной печи [14].

Помимо технологии контроля прогрева металла, связанного с измерением температуры внутри опытного сляба, известны способы оценки, основанные на измерении температуры поверхности металла внутри печи. Это могут быть измерения либо с помощью термопар [15], либо с применением пирометров, оснащенных светофильтрами и приспособлениями для устранения погрешностей, связанных с влиянием атмосферы в печи и присутствием окалины на поверхности металла [16, 17].

Косвенным методом определения качества прогрева является пирометрическое измерение температуры раската на прокатном стане. Этот метод получил распространение еще в 60-е годы прошлого столетия при разработке первых автоматизированных систем управления методическими печами [18] и сохраняет свое значение до настоящего времени [19].

Диагностика. Предлагаемая система диагностики тепловой работы печей непрерывного действия основана на использовании математической модели температурного профиля металла. При этом производится задание и пересмотр граничных условий в режиме реального времени по мере изменения параметров внешнего теплообмена [20].

При квазистационарном режиме работы печи температурный профиль заготовок изменяется только по мере их продвижения в печи. Для каждой из координат по длине печи температурное состояние считается постоянным, поэтому моделирование достаточно проводить для одной заготовки, на основе чего делать вывод о состоянии каждой из заготовок.

Граничные условия теплообмена в произвольном поперечном сечении печи с координатой x задаются по схеме:

$$-\lambda \cdot \frac{\partial t}{\partial y} = \alpha_{\Sigma}(x) \cdot (t_{\text{печь}}(x) - t_{\text{нов}}(x)),$$

где y – ось координат, нормальная к тепловоспринимающей поверхности;

$t_{\text{печь}}(x)$ – температура печи в ее соответствующем сечении, °С;

$t_{\text{нов}}(x)$ – температура поверхности металла, определенная на ближайшем предыдущем по отношению к координате x временном шаге при помощи системы диагностики, °С;

$\alpha_{\Sigma}(x)$ – итоговый коэффициент теплоотдачи от печи к поверхности заготовки.

Значение температуры поверхности металла определяется по результатам измерения температуры по зонам печи.

Итоговый коэффициент теплоотдачи определяется по формуле:

$$\alpha_{\Sigma}(x) = \alpha_{\text{л}}(x) + \alpha_{\text{к}}(x) = \frac{C_{\text{пр}} \cdot \left(\left(\frac{t_{\text{печь}}(x) + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_{\text{нов}}(x) + 273}{100} \right)^4 \right)}{t_{\text{печь}}(x) - t_{\text{нов}}(x)} + \alpha_{\text{к}}(x),$$

где $\alpha_{\text{л}}, \alpha_{\text{к}}$ – лучистая и конвективная составляющие итогового коэффициента теплоотдачи, Вт/(м²·К);

$C_{\text{пр}}$ – приведенный коэффициент излучения, Вт/(м²·К⁴).

Распределение величины итогового коэффициента теплоотдачи по длине печи могут быть получены в результате термометрирования.

Ввиду того, что значение итогового коэффициента теплоотдачи существенно зависит от температуры печи и температуры поверхности металла, установленное изменение этой величины не может быть универсальным.

При пренебрежимо малой доле конвективного теплообмена эта составляющая может не учитываться, а результаты термометрирования удобнее представлять в виде распределения приведенных коэффициентов излучения по длине печи. Поскольку величина указанного коэффициента не столь значимо зависит от температуры печи, его распределение может использоваться для различных режимов нагрева.

Для печей, оснащенных горелками скоростного нагрева, пренебрежение конвективной составляющей приведет к непоправимым последствиям. Для оценки распределения конвективного коэффициента теплоотдачи необходимо предварительно применить метод математического моделирования, либо провести стендовые испытания с целью получения критериального уравнения. После выполнения указанных условий правомерен переход от суммарного коэффициента теплоотдачи к приведенному коэффициенту излучения по результатам термометрирования.

При постоянной производительности печи и цикличном характере перемещения текущее местоположение заготовки (координата x), определяется как произведение времени нахождения в печи и усредненной скорости перемещения за цикл.

Для переменной производительности осуществляется одновременное моделирование отдельно для каждой заготовки в печи, что позволяет прогнозировать изменение их теплового состояния и методом прострела определить рациональные режимы по зонам.

Помимо приведенного выше алгоритма диагностики предложен способ оценки адекватности системы по ходу ведения процесса с целью выявления необходимости внесения оперативных корректировок. Способ основан на построении моментальных тепловых балансов для печи в целом и для каждой из ее зон.

Признаком адекватности системы является согласованность полученных балансов при допустимой погрешности. В противном случае необходима оперативная подстройка.

Выводы. Одной из важнейших задач современного развития металлургии является сокращение энергетических затрат на производство продукции. Прокатное производство обладает значительными резервами, однако на фоне устойчивого роста производства стали и сохранения его значения в экономике наблюдается некоторая нестабильность работы отдельных предприятий, в связи с чем зачастую нагревательные печи и прокатные станы работают в режимах с пониженной изменяющейся производительностью.

Использование проанализированного в данной работе набора научно-практических инструментов с учетом выявленных особенностей позволяет решать задачи определения рациональных теплотехнических параметров печей в таких условиях, начиная со стадии проектирования печи и заканчивая проверкой эффективности установленных режимов за счет диагностики работы печи в режиме реального времени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гинкул С. И. Исследование температурного режима нагревательных печей прокатных станов при изменении сортамента нагреваемого металла / С.И. Гинкул [и др.] // Научные труды Донецкого национального технического университета. Серия «Металлургия». – 2010. – № 12. – С. 201-206.
2. Гинкул С. И. Математическое моделирование температурного режима нагревательных печей прокатных станов при одновременном нагреве металла различного сортамента / С. И. Гинкул, А. И. Туяхов, Ю. С. Сибирцева // Научные труды Донецкого национального технического университета. Серия «Металлургия». – 2012. – №1-2. – С. 178–185.
3. Ткаченко В. Н. Математическое моделирование, идентификация и управление технологическими процессами тепловой обработки материалов / В. Н. Ткаченко. – Киев: Наукова думка, 2008. – 244 с.
4. Парсункин Б. Н. Исследование теплообмена и параметров управления нагревом при смешанном посаде металла в печь / Б. Н. Парсункин, А. Ф. Белан // Сталь. – 1988. – №7. – С.99 - 103.
5. Кибардин А. Н. Модели и алгоритмы обработки информации в системе оценки технологических параметров производства слябов на линии «МНЛЗ – нагревательная печь»: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.01. Череповецкий государственный университет. – 2017. – 166 с.
6. Гусовский В. Л. Методики расчета нагревательных и термических печей: Учебно-справочное издание / В. Л. Гусовский, А. Е. Лифшиц. – М.: Теплотехник, 2004. – 400 с.
7. Бирюков А. Б. Повышение точности определения теплового состояния металла в методической зоне проходной печи при использовании инженерных методов / А. Б. Бирюков [и др.] // Вестник Академии гражданской защиты. – 2017. – №1. – С. 5-11.
8. Бирюков А. Б. Методика определения температурного профиля методической печи, работающей в условиях пониженной производительности / А. Б. Бирюков, А. Н. Лебедев, Ю. О. Турулина // – Сталь. 2017. – № 10. – С. 74-77.
9. Тайц Н. Ю. Исследование процесса нагрева слябов в методических печах / Н. Ю. Тайц [и др.] // Сталь. – 1974. – № 7. – С. 653-655.
10. Антонов В. В. Исследование нагрева металла в пятизонных методических печах / В. В. Антонов // Сталь. – 1970. – № 1. – С. 81-84.
11. Казанцев Е. И. Применение ЭВМ для расчета нагрева металла в методических печах / Е.И. Казанцев [и др.] // Сталь. – 1973. – №1. – С. 77-79.
12. Беленький А. М. Совершенствование тепловой работы нагревательных печей станов горячей прокатки / А. М. Беленький [и др.] // Черная металлургия. – 2015. – №2. – С. 62-69.

13. Улановский А. А. Контроль высокотемпературной термообработки стального проката / А. А. Улановский, М. Тааке // Сталь. – 2008. – №11. – С. 114-118.
14. Денисов М. А. Автоматизированное проектирование в ANSYS и КОМПАС-3D: учебное пособие / М. А. Денисов. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2015. – 264 с.
15. Денисов М. А. Разработка и применение методов теплофизического исследования резервов ресурсосбережения в процессах нагрева металла: дис. ... докт. техн. наук: 05.16.02. Уральский государственный университет – УПИ. – 2005. – 369 с.
16. Парсункин Б. Н. Определение качества нагрева металла в нагревательных печах / Б. Н. Парсункин [и др.] // Сталь. – 1989. – №11. – С. 104-107.
17. Парсункин Б. Н. Самонастраивающаяся система для управления тепловым режимом методических печей. / Б. Н. Парсункин [и др.] // Черная металлургия. – 1970. – №4. – С.39-41.
18. Вырк А. Х. Управление нагревом заготовок в методической печи / А. Х. Вырк // Бюлл. ЦНИИЧМ. – 1970. – №24. – С. 3-9.
19. Андреев С. М. Теоретические основы и практическая реализация энергосберегающего оптимального управления нагревом непрерывнолитых заготовок в печах проходного типа: дис. ... докт. техн. наук: 05.13.06. М.: ЧГУ. – 2019. – 310 с.
20. Бирюков А. Б. Диагностика температурного состояния металла при его тепловой обработке в печах непрерывного действия / А. Б. Бирюков, А. А. Иванова // Металлург. – 2018. – №4. – С. 33-37.

Поступила в редакцию 03.11.2021 г.

ANALYSIS OF METHODS FOR DETERMINING RATIONAL TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF FURNACES WHEN WORKING UNDER CONDITIONS OF CHANGING PRODUCTIVITY

Biriukov A.B., Turulina I.U. O.

The article considers the main reasons for the occurrence of modes with reduced productivity in continuous furnaces for heating metal before pressure treatment. The calculation methods and mathematical models used to determine the regime parameters and control the process under such conditions are analyzed. The procedures for adapting models based on the results of furnace thermomentering are considered in detail. The algorithm for diagnosing metal heating in real time and the method for assessing the adequacy based on the construction of instantaneous heat balances in order to determine the need to adjust the regime are analyzed.

Keywords: continuous operation furnace, regime parameters, mathematical model, thermomentering, model adaptation, heating diagnostics, instantaneous heat balance.

Бирюков Алексей Борисович

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технической теплофизики, проректор ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет»,
ДНР, г. Донецк.
E-mail: birukov.ttf@gmail.com

Biriukov Aleksei Borisovich

Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Technical Thermophysics, Vice-rector of Donetsk National Technical University,
DPR, Donetsk.

Турулина Юлия Олеговна

аспирант ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет»,
ДНР, г. Донецк.
E-mail: turulinay@mail.ru

Turulina Iuliia Olegovna

Postgraduate student of the Donetsk National Technical University,
DPR, Donetsk.

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА И ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА



УДК 504.4.062.2

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ И ИННОВАЦИОННЫХ СХЕМ ОЧИСТКИ ШАХТНЫХ ВОД УГОЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

© 2021 *Фёдорова А.Е., Степаненко Т.И., Машкарёв П.С.*

В работе рассмотрены существующие и инновационные методы и технологические схемы очистки шахтных вод. Проведены исследования влияния продолжительности процесса отстаивания на эффективность очистки шахтных вод от взвешенных веществ.

Ключевые слова: шахтные воды, угольные предприятия, очистка, взвешенные вещества, осветление.

Введение. Угольная промышленность занимает лидирующие места по загрязнению атмосферы и гидросферы во многих странах мира, таких как США, Россия, Китай, Великобритания и пр.

Наиболее сложной и актуальной экологической проблемой угледобывающих регионов являются сбрасываемые в водные объекты шахтные воды, которые не соответствуют правилам охраны поверхностных вод.

Предприятия угледобывающей отрасли оказывают воздействие на все компоненты окружающей среды, в частности загрязняя водные объекты возвратными водами (шахтными, карьерными, производственными и хозяйственно-бытовыми), вызывая нарушение гидрологического режима поверхностных вод, гидродинамического и гидрохимического режима подземных вод.

На территории Донецкой Народной Республики расположено 79 угольных предприятий. Из них 17 находятся в эксплуатации. Из неработающих шахт постоянно производится откачка шахтных вод (до 59,5 млн. м³ ежегодно) [1].

Откачиваемые шахтные воды обладают высокой минерализацией и содержат соединения тяжелых металлов. Помимо загрязнения органическими и механическими примесями, шахтные воды характеризуются высоким содержанием солей, что ограничивает их использование в промышленности без надлежащей очистки, а также представляет опасность загрязнения поверхностных водоёмов. Содержание микроэлементов в шахтных водах настолько высоко, что соли тяжелых металлов в больших количествах накапливаются в отложениях водоёмах, поэтому возникает необходимость в совершенствовании методов очистки [2]. Диапазон изменения концентрации взвешенных веществ в очищенной воде обусловлен различием состава и технологических свойств шахтных вод различных шахт и их изменением во времени на каждой шахте [3].

Постановка задачи. Поступая в поверхностные водоёмы недостаточно очищенные шахтные воды, приводят к загрязнению водных ресурсов, в результате вода становится непригодной для дальнейшего использования в коммунальных и промышленных целях.

В настоящее время основными способами очистки шахтных вод являются отстаивание, осветление в слое взвешенного осадка, фильтрование, а также удаление взвешенных веществ под действием центробежных сил.

Отстаивание применяется как без обработки воды реагентами, так и с предварительной обработкой коагулянтами и флокулянтами, фильтрование – преимущественно с применением реагентов, а осветление в слое взвешенного осадка – только с обработкой воды реагентами [4].

В качестве сооружений для реализации этих способов нашли практическое применение горизонтальные (железобетонные и земляные), вертикальные и тонкослойные отстойники, пруды-отстойники, осветлители со взвешенным слоем осадка, искусственные фильтрующие массивы, скорые напорные и открытые однослойные и двухслойные фильтры, фильтры с восходящим потоком очищаемой воды (контактные осветлители), гидроциклоны [4].

На практике в угольных шахтах Донбасса широко применяемый метод осветления шахтных вод, который показывает, что очищенная вода по своим качественным показателям не удовлетворяет нормативным требованиям, предъявляемым к сбросу в поверхностные водные объекты (согласно п.4. СанПиН 2.1.5.980-00) [5].

Объемы сбрасываемых шахтных вод в поверхностные водные объекты с каждым годом имеют тенденцию к увеличению. Это отражено на рисунке 1 [6].

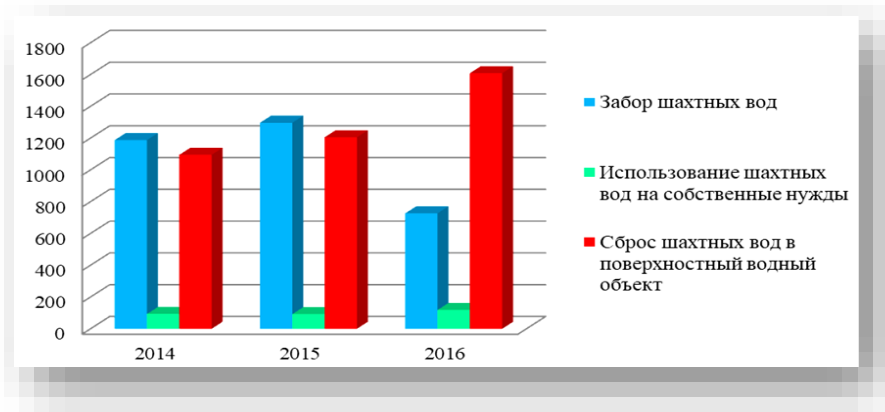


Рис. 1. Распределение объемов образования и сбросов шахтных вод за 2014-2016 гг.

На рисунке 2 приведена динамика сброса шахтных вод шахты «Щегловская-Глубокая».

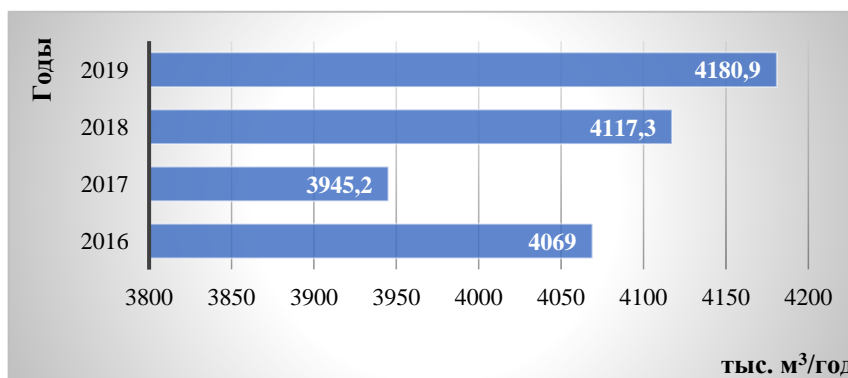


Рис. 2. Динамика сброса шахтных вод предприятия – шахта «Щегловская-Глубокая»

Приток шахтных вод в горные выработки предприятия состоит из собственного водопритока, а также из водопритока от закрытых двух шахт («им. С. Орджоникидзе» и «Красногвардейская»), проектами закрытия которых предусматривается ликвидация собственных водоотливных комплексов и переток по горным выработкам шахтных вод на водоотливной комплекс предприятия. Данные об изменении химического состава шахтных вод на выпуске по месяцам за период 2018-2019 гг. представлены на рисунках 3-8.

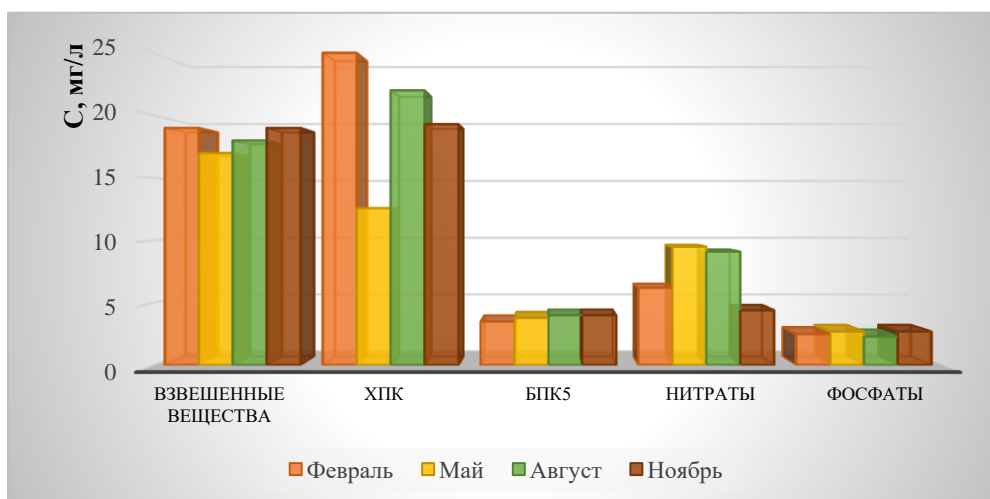


Рис. 3. Результаты анализа шахтных вод предприятия по некоторым показателям за 2018 г.



Рис. 4. Результаты анализа шахтных вод предприятия по некоторым показателям за 2018 г.

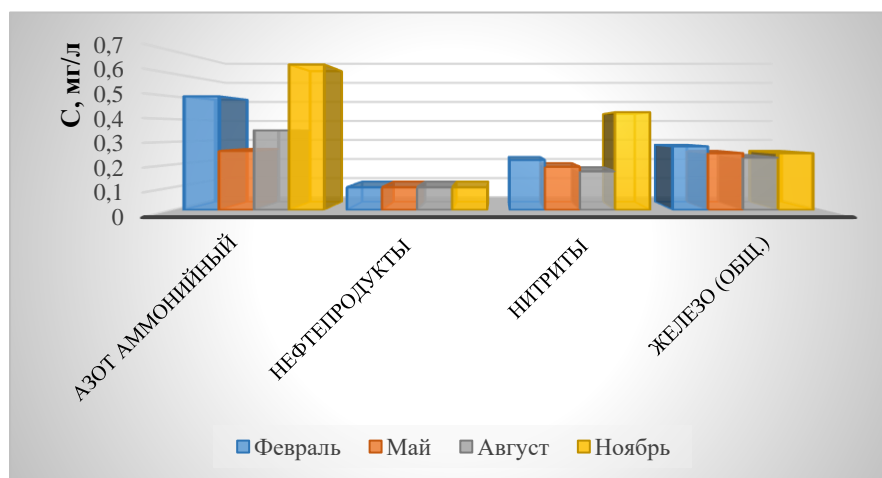


Рис. 5. Результаты анализа шахтных вод предприятия по некоторым показателям за 2018 г.

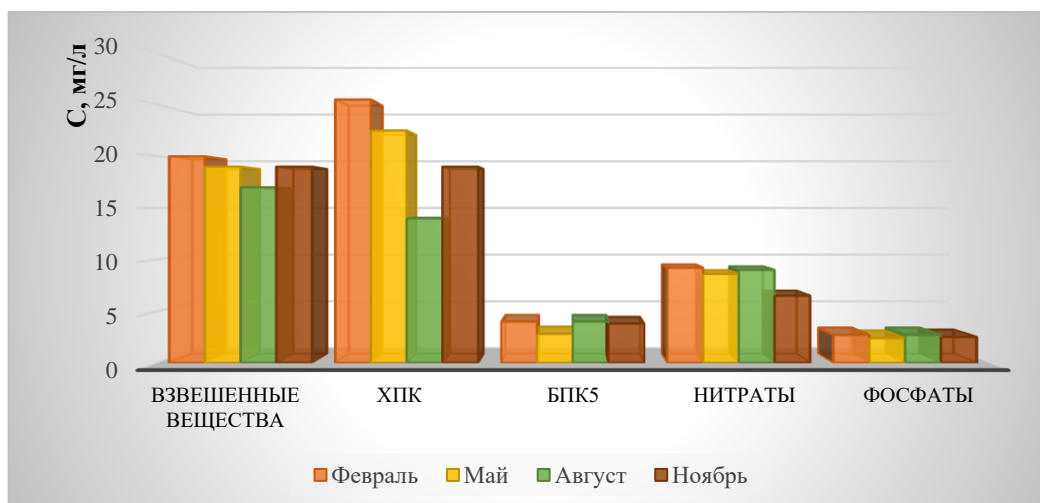


Рис. 6. Результаты анализа шахтных вод предприятия по некоторым показателям за 2019 г.

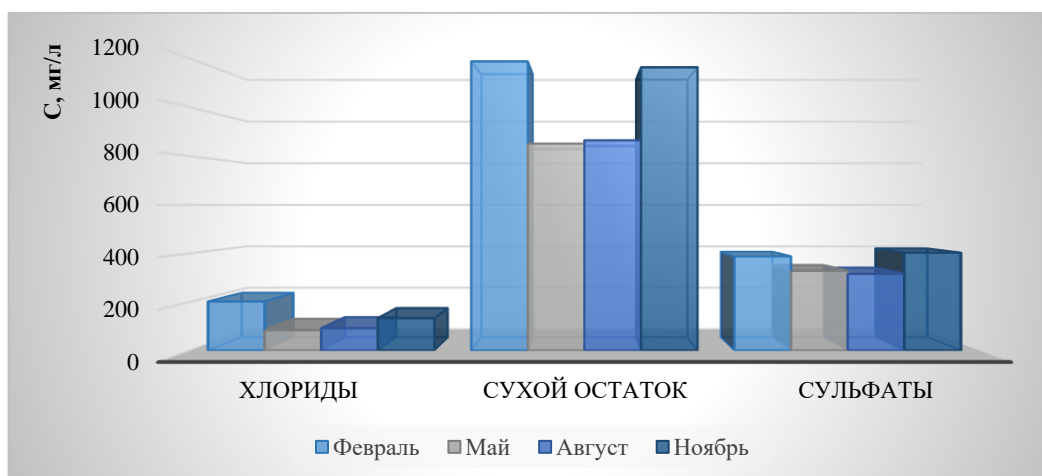


Рис. 7. Результаты анализа шахтных вод предприятия по некоторым показателям за 2019 г.

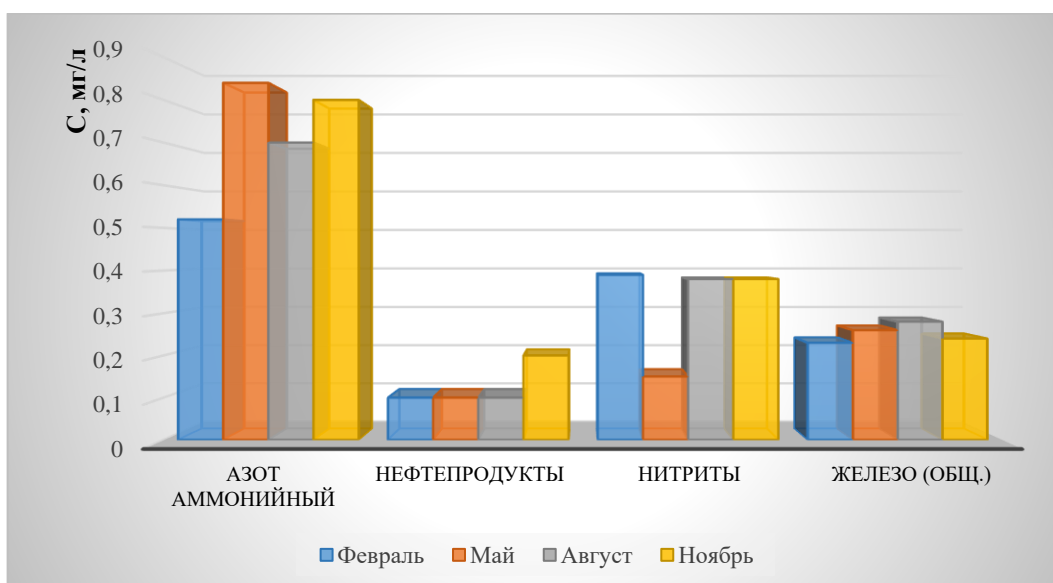


Рис. 8. Результаты анализа шахтных вод предприятия по некоторым показателям за 2019 г.

Проведенный анализ изменения химического состава шахтных вод за указанный период позволил сделать вывод об ухудшении показателей из-за перетока большого объема шахтной воды с других шахт. В связи с чем существует необходимость модернизации водоотливного комплекса исследуемого предприятия. При этом, согласно проекта закрытия шахт, концентрация взвешенных веществ после прудотстойника не должна превышать 30 мг/дм³.

Анализ результатов проведенных исследований. В работе изучено влияние продолжительности процесса отстаивания на эффективность осветления шахтных вод. На рисунке 9 представлены результаты изучения влияния времени процесса очистки на степень осветления шахтных вод до очистных сооружений (проба №1), после очистных сооружений (на выпуске), (проба № 2).

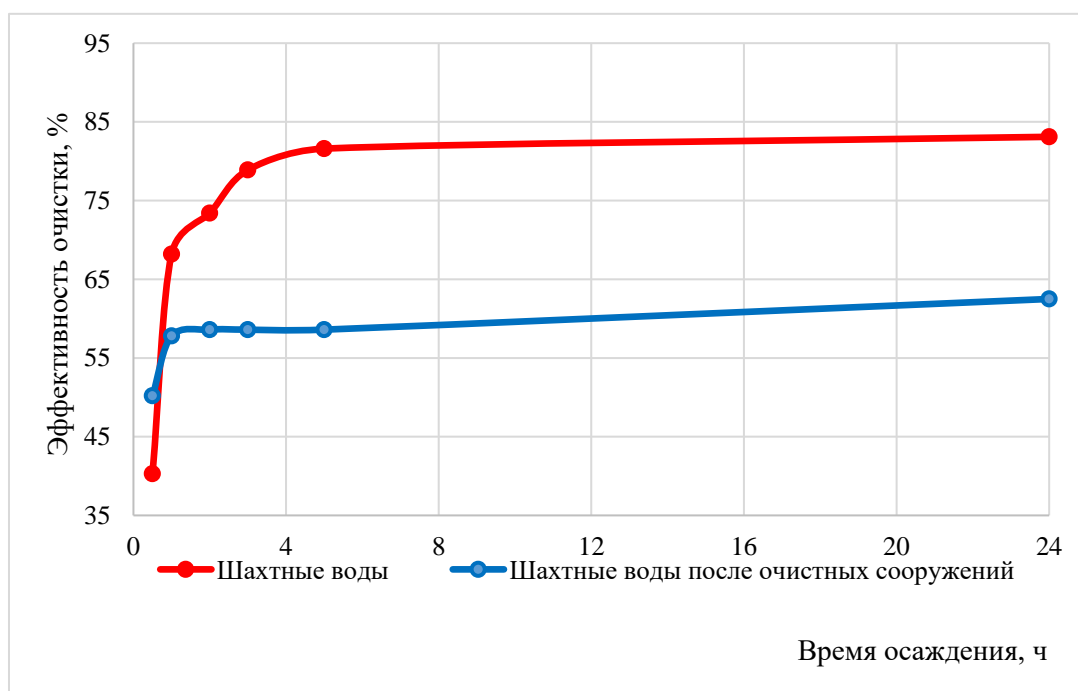


Рис. 9. График зависимости степени осветления взвешенных веществ из шахтных вод от времени

Осветление пробы № 1 (шахтные воды до очистных сооружений) за 3 ч наблюдалось на 78,9 %, через 24 часа проба осветлилась на 83,1 %, проба № 2 (шахтные воды после очистных сооружений) через 3 часа после начала эксперимента эффективность осветления составила 58,6 %, через 24 ч – 62,5 %.

Анализ инновационных схем очистки шахтных вод. Перспективным в области очистки шахтных вод можно считать устройство предложенное российскими учёными состоящее из блока предварительной очистки, содержащего отстойник и фильтр, блока коагуляции-флотации, содержащего высоконапорный насос, гидродинамический кавитатор, расходную емкость коагулянта и флотатор-коагулятор, и блока доочистки и обеззараживания, содержащего фильтр и агрегат ультрафиолетового облучения с ультразвуковым излучателем [7].

Недостатком данного устройства являются высокие эксплуатационные затраты из-за повышенного износа ультрафиолетовых ламп, в случае очистки концентрированных шахтных вод [7].

Технология обратного осмоса уже получила широкую известность, но её использование по-прежнему не часто рассматривается для очистки

высокоминерализованных шахтных вод. Эта технология может использоваться для доочистки шахтных вод после прохождения процедуры отстаивания и фильтрации. Сам процесс представляет собой прохождение загрязненной воды сквозь полупроницаемую мембрану. Прибор, работающий по технологии обратного осмоса в максимальной степени обеспечит очистку сточных вод от различного рода примесей. При помощи устройства обратный осмос обеспечивает качественную очистку воды почти на тонком, молекулярном уровне, что касается крупных частиц загрязнения, то их следует удалять преимущественно механическими способами. Осмос дает практически дистиллированную воду [1].

Недостатком данной технологии можно назвать малую скорость очистки воды и особенности подготовки воды перед использованием прибора работающего по технологии обратного осмоса [1].

Выводы. Ведущие учёные стран ведут активную деятельность, направленную на уменьшение негативного влияния на окружающую среду как уже законсервированных шахт, так и действующих предприятий угольной промышленности путём разработки инновационных систем очистки шахтных вод, повторного использования или создания замкнутого цикла использования воды на шахтах с минимальными негативными последствиями для окружающей среды.

Проблема очистки шахтных вод требует решения в связи с постоянно увеличивающимся количеством сбрасываемых недоочищенных шахтных вод в поверхностные водные источники, что наносит непоправимый ущерб экологической обстановке Донецкого края.

Результаты проведенных исследований позволили сделать вывод, что существующая технологическая схема эффективна только после 24 часового отстаивания и составляет 83,1 % после начала эксперимента. В связи с чем есть необходимость модернизации эксплуатируемых очистных сооружений предприятия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Высоцкий С. П. Риски затопления шахт и использование шахтных вод / С. П. Высоцкий, С. Е. Гулько, В. В. Лихачева // Вести Автомобильно-дорожного института. – 2016. – № 1. – С. 88-95.
2. Долина Л. Ф. Сточные воды предприятий горной промышленности и методы их очистки: справочное пособие / Л. Ф. Долина – Днепропетровск: Молодежная экологическая, Лига Приднепровья, 2000. – 114 с.
3. Zgorska A. Environmental risk caused by high salinity mine water discharges from active and closed mines located in the Upper Silesian Coal Basin (Poland) / A. Zgorska, L. Trz ski, M. Wiesner // Proceedings IMWA. – 2016. – Vol 85. – P. 85–92.
4. Монгайт И. Л. Очистка шахтных вод / И. Л. Монгайт, К. Д. Текиниди, Г. И. Николадзе. – М.: Недра, 1978. – 173 с.
5. СанПиН 2.1.5.980-00 «Гигиенические требования к охране поверхностных вод» - Взамен СанПиН 4630-88; введен 2001-01-01. – URL: <https://www.vo-da.ru/book/sanpin-2-1-5-980-00> (дата обращения: 20.09.2021).
6. Иванченко В. А. Анализ возможностей использования шахтных вод для технических нужд промышленных предприятий с целью снижения техногенной нагрузки на водные объекты / В. А. Иванченко, Т. И. Степаненко // Вестник Донецкого национального университета. Серия Г: Технические науки. – 2021. – № 2. – С. 116-123.
7. Патент РФ № 2530106 С2, 10.10.2014. Устройство для очистки сточных вод // Патент России № 2530106. 2012. / Мизгирев Д.С., Молочная Т.В., Курников А.С., Кубарев С.Л.

Поступила в редакцию 08.11.2021 г.

ANALYSIS OF EXISTING AND INNOVATIVE SCHEMES FOR PURIFICATION OF MINING WATER OF COAL-BASED ENTERPRISES

Fedorova A.E., Stepanenko T.I., Mashkarev P.S.

The paper considers the existing and innovative methods and technological schemes for the purification of mine waters. Research has been carried out on the effect of the duration of the sedimentation process on the efficiency of mine water purification from suspended solids.

Keywords: mine waters, coal enterprises, purification, suspended solids, clarification.

Фёдорова Алина Евгеньевна

магистрант кафедры техносферной безопасности ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,
ДНР, г. Макеевка.
E-mail: fyodorova-a00@mail.ru

Fedorova Alina Evgenevna

Master student at Department of Technospheric security of Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture,
DPR, Makeevka.

Степаненко Татьяна Ивановна

кандидат технических наук, доцент кафедры техносферной безопасности ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,
ДНР, г. Макеевка.
E-mail: t.i.stepanenko@donnasa.ru

Stepanenko Tatiana Ivanovna

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at Department of Technospheric security of Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture,
DPR, Makeevka.

Машкарёв Павел Сергеевич

магистрант кафедры техносферной безопасности ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,
ДНР, г. Макеевка.
E-mail: pashadonnty@mail.ru

Mashkarev Pavel Sergeevich

Master student at Department of Technospheric security of Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture,
DPR, Makeevka.

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

1. Редакция журнала «Вестник Донецкого национального университета. Серия Г: Технические науки» принимает к рассмотрению на предмет опубликования в журнале ранее не опубликованные и не представленные для одновременной публикации в других изданиях научные статьи по тематике журнала.
2. Авторы статей несут персональную ответственность за наличие элементов плагиата в текстах статей, за полноту и достоверность изложенных фактов и положений, за факт их публикации. Допускается публикация не более двух статей от одного автора в одном номере и наличие не более пяти авторов одной статьи. Один из авторов должен иметь ученую степень. Гонорар не выплачивается и плата за публикацию статей не взимается.
3. Авторами представляется рукопись статьи в одном экземпляре (на русском или английском языке), напечатанном с одной стороны листа бумаги формата А4 (экземпляр подписывается авторами). Страницы рукописи должны быть последовательно пронумерованы. Объем рукописи, как правило, от 5 до 15 страниц (для обзорной статьи – до 25), включая рисунки, таблицы, список литературы, сведения об авторах. Вместе с рукописью на адрес электронной почты vestnik.donnu.g@donnu.ru высылается электронный вариант с полным текстом статьи в формате doc или docx. При отсутствии возможности предоставления в редколлегию рукописи, на электронную почту редакции высылается полный текст статьи в формате pdf. Статьи, не соответствующие Правилам для авторов или тематике журнала, к рассмотрению не принимаются. Все статьи, принятые к рассмотрению, подвергаются рецензированию и в случае положительной рецензии – научному и техническому редактированию.
4. Решение о публикации, публикации после доработки/переработки или отклонении статьи принимается редакционной коллегией журнала. Если статья рекомендуется к публикации после небольшой авторской доработки, редакция направляет авторам статьи замечания (без указания рецензента). Статья, направленная авторам на доработку, должна быть возвращена в исправленном виде в максимально короткий срок. К доработанной статье необходимо предоставить письмо от авторов, содержащее ответы на все замечания и поясняющие все изменения, сделанные в статье. В случае отклонения статьи редакция направляет авторам рецензию (без указания рецензента) или выдержки из нее, либо аргументированное письмо редактора. Редакция не вступает в дискуссию с авторами отклоненных статей, за исключением случаев явного недоразумения.
5. Обязательные требования к оформлению статей:
 - **Размер бумаги:** А4.
 - **Ориентация:** книжная.
 - **Поля:** зеркальные, верхнее – 30 мм, нижнее – 30 мм, внутри – 30 мм, снаружи – 20 мм.
 - **Положение верхнего и нижнего колонтитула относительно края:** 2 см.
 - **Междустрочный интервал:** одинарный.
 - **Абзацный отступ:** 1 см.
 - **Основной текст статьи:** шрифт Times New Roman, размер 12 пт., с выравниванием по ширине, без автоматической расстановки переносов.
 - **Аннотация, список литературы, сведения об авторах:** шрифт Times New Roman, размер 10 пт., с выравниванием по ширине, без автоматической расстановки переносов.
 - **Подписи, заглавие и содержание таблиц:** шрифт Times New Roman, размер 10 пт., с выравниванием по центру, без автоматической расстановки переносов.

6. Текст статьи должен соответствовать следующей структурной схеме:

- **Первая строка:** индекс УДК – выравнивание по левому краю, без абзацного отступа.
- **Через строку:** **НАЗВАНИЕ** статьи – полужирный, выравнивание по центру, прописными буквами, без переноса слов, без абзацного отступа.
- **Через строку:** копирайт © и год – полужирный, выравнивание по левому краю, без точки после года, через 3 пробела *фамилия(и) и инициалы автора(ов)* – полужирный, курсив, выравнивание по левому краю, без абзацного отступа.
- **Через две строки:** аннотация объемом до 100 слов, кратко отражающая предмет статьи, примененные методы исследований и основные результаты, полученные авторами.
- **На следующей строке:** словосочетание *Ключевые слова:* – полужирный, курсив. Далее приводятся ключевые слова количеством до 10 слов, отделяемых друг от друга запятой. Блок аннотация и ключевые слова рекомендуется отделять от основного текста с помощью инструмента «Границы».
- **Через две строки:** основной текст статьи, который содержит введение, основную часть и выводы. Во **введении** рекомендуется излагать постановку проблемы в общем виде и связь с важнейшими научными и практическими задачами, анализ последних исследований и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и на которые опирается автор, выделение нерешенных ранее частей общей проблемы, которым посвящена статья, формулировку целей статьи. В **основной части** рекомендуется излагать основные материалы исследования с полным обоснованием полученных научных результатов. Основную часть рекомендуется структурировать на разделы с названиями, отражающими их содержание (например: постановка задачи; методы ее решения; анализ полученных результатов). В **выводах** рекомендуется кратко и четко подводить итоги основных результатов, полученных авторами и описывать перспективы дальнейших исследований в данном направлении.
- **Через строку:** словосочетание **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ** размером 10 пт., полужирный, выравнивание по левому краю, прописными буквами, без абзацного отступа. Далее через строку с абзацным выступом 0,5 см приводится нумерованный перечень используемых литературных источников общим списком в порядке упоминания в тексте на языке оригинала в соответствии с ГОСТ 7.1-2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание» и ГОСТ 7.05-2008 «Библиографическая ссылка». Ссылка на источник приводится в квадратных скобках. Разрешается ссылаться только на опубликованные работы. Необходимо включение в список литературы источников последних 5-10 лет по исследуемому вопросу.
- **Через строку:** надпись «*Поступила в редакцию хх.хх.20хх г.*» размером 10 пт., курсив, выравнивание по правому краю.
- **Через строку:** приводится **НАЗВАНИЕ** статьи, *фамилия(и) и инициалы автора(ов)*, аннотация и ключевые слова (*Keywords*) на английском языке (перевод) размером 10 пт.
- **Через строку:** сведения об авторах размером 10 пт., в таблице с параметром «Нет границ», содержащей два столбца (для сведений на русском и английском языках):
- **Фамилия, имя, отчество;**
- ученая степень, ученое звание, должность, с указанием организации (в соответствии с уставом), которую представляет автор;
- страна, город;
- адрес электронной почты.

7. Образец оформления статьи:

УДК 539.2:534.242

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ УПРУГОЙ СРЕДЫ ПРИ УДАРНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

© 2021 *Третьяков И.А., Данилов В.В.*

В статье проведен анализ возможности использования метода акустического резонанса для определения параметров упругой среды. Использование регламентированных условий возбуждения упругих колебаний и последующая цифровая обработка позволяют определить качество технических изделий как добротность акустического резонатора.

Ключевые слова: дефектоскопия, резонансная спектроскопия, коэффициент упругости.

Введение. Контроль и диагностика механического состояния [1] и целостности...

Постановка задачи. Представляется важным выявление в ...

Методы резонансной акустической спектроскопии. Широкое распространение в диагностике целостности изделий строительных материалов [2] и ...

Выводы. Таким образом, полученные результаты позволяют...

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лебедев А. В. Резонансная акустическая спектроскопия при низких добротностях / А. В. Лебедев, Л. А. Островский, А. М. Сутин, И. А. Соустова [и др.] // Акуст. журнал. – 2003. – Т. 49. – № 1. – С. 92-99.
2. Data from ECG recording : [сайт]. – URL: <https://bioelectromagnetism.wordpress.com/2012/11/28/data-from-ecg-recording-in-todays-class/> (дата обращения: 01.03.2021). – Текст : электронный.

Поступила в редакцию xx.xx.2021 г.

DETERMINATION OF PARAMETERS OF THE RESILIENT MEDIUM UNDER IMPACT

Tretiakov I.A., Danilov V.V.

In this paper the possibility of using the acoustic resonance method to determine the parameters of an elastic medium is analyzed. The use of regulated conditions for the excitation of elastic vibrations and subsequent digital processing make it possible to determine the quality of technical products as the q-factor of an acoustic resonator.

Keywords: flaw detection, resonance spectroscopy, resiliency coefficient.

Третьяков Игорь Александрович

кандидат технических наук, заведующий учебной лабораторией кафедры радиофизики и инфокоммуникационных технологий ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», ДНР, г. Донецк.
E-mail: i.tretiakov@mail.ru

Tretiakov Igor Aleksandrovich

Candidate of Technical Sciences, Head of laboratory at Department of Radiophysics and Infocommunication Technologies of Donetsk National University, DPR, Donetsk.

Данилов Владимир Васильевич

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой радиофизики и инфокоммуникационных технологий ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», ДНР, г. Донецк.
E-mail: ut5iv@mail.ru

Danilov Vladimir Vasilevich

Doctor of Technical Sciences, Full Professor, Head of the Department of Radiophysics and Infocommunication Technologies of Donetsk National University, DPR, Donetsk.

8. Рисунки и таблицы располагаются по тексту строго в пределах печатного поля книжной ориентации страниц после их первого упоминания в тексте статьи. Вся текстовая информация на рисунках должна быть четкой и разборчивой и не иметь лишних деталей. Каждый рисунок должен иметь подрисуночную подпись (не совмещенную с рисунком) в формате: «Рис. №. Название». Каждая таблица должна иметь заглавие в формате: «Таблица №. Название». Во избежание смещений рисунков рекомендуется размещать их в таблицах с двумя строками с параметром «Нет границ» (в первой строке размещается рисунок, во второй - подрисуночная подпись). Все рисунки и таблицы должны быть последовательно пронумерованы арабскими цифрами, допускается применение букв при нумерации рисунков, состоящих из нескольких частей. Сканированные рисунки не допускаются. Образец оформления рисунка и таблицы:

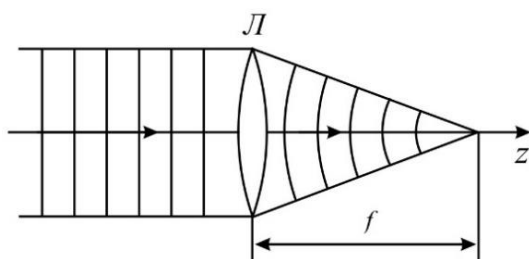


Рис. 1. Действие линзы на плоскую волну

Таблица 1. Номиналы элементов схемы УМ класса F₃

Элемент	Номинал	Единица измерения
C _{out}	25	пФ
C ₁	10	нФ
C ₂	100	мкФ
L ₁	150	мкГн
L ₂	460	нГн
L ₃	765	нГн
R ₁	0,39	МОм

9. Формулы выравниваются по центру и имеют, при необходимости, сквозную нумерацию по правому краю. Для выравнивания формул рекомендуется использовать таблицы с параметром «Нет границ». После формул ставится тот знак препинания, который необходим исходя из построения фразы. Нумеровать следует только те формулы, на которые имеются ссылки в тексте. Ссылки на формулы приводятся в круглых скобках. Каждая формула отделяется от основного текста интервалом в 6 пт. перед и после. Формулы, их компоненты и все переменные в тексте и отдельно в строках набираются только с помощью редакторов формул Microsoft Equation 3.0 или MathType 5.0 и выше с параметрами:

- **текст и переменная:** наклонный;
- **матрица-вектор:** полужирный наклонный;
- **размер:** обычный - 12 пт., крупный индекс - 9 пт., мелкий индекс - 7 пт., крупный символ - 18 пт., мелкий символ - 12 пт.

Образец оформления формулы:

$$y_t = c_0 + \sum_{i=1}^n c_i y_{t-i} + b\xi_t \quad (1)$$

10. Материалы предоставляются по адресу:

283001, Донецкая Народная Республика, г. Донецк, пр. Театральный, д. 13, Физико-технический факультет.

Главный редактор: Данилов Владимир Васильевич, каб. 203.

Зам. главного редактора: Симоненко Александр Петрович, каб. 260.

Ответственный секретарь: Третьяков Игорь Александрович, каб. 210.

Контактные тел.: +38 (062) 302 07 81, +38 (062) 302 92 88

E-mail: vestnik.donnu.g@donnu.ru

Научное издание

**Вестник Донецкого национального университета.
Серия Г: Технические науки**

– 2021. – № 4.

Технический редактор: И.А. Третьяков

Адрес редакции:

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»,
283001, ДНР, г. Донецк, ул. Университетская, д. 24
Тел.: +38 (062) 302 07 81, +38 (062) 302 92 88

E-mail: vestnik.donnu.g@donnu.ru

URL: <http://donnu.ru/vestnikG>

Подписано в печать 03.12.2021 г.
Формат 60×84/8. Бумага офсетная.
Печать – цифровая. Усл. печ. л. 10,23.
Тираж 100 экз. Заказ. №

Издательство ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»
283001, ДНР, г. Донецк, ул. Университетская, д. 24.
Тел.: +38 (062) 302 92 27.

Свидетельство о внесении субъекта издательской деятельности
в Государственный реестр
серия ДК № 1854 от 24.06.2004 г.