

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

# Вестник Донецкого национального университета



НАУЧНЫЙ  
ЖУРНАЛ

*Основан в 1997 году,  
«Серия Г: Технические науки»  
основана в 2018 году*

---

---

Серия Г:  
Технические  
науки

2/2023

---

---

## Редакционная коллегия журнала

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

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

Зам. главного редактора – канд. техн. наук **И.А. Третьяков.**

Ответственный секретарь – канд. техн. наук **Е.Д. Пометун.**

**Члены редколлегии:** канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр. **П.В. Асланов;** д-р техн. наук, проф. **С.А. Горожанкин;** канд. техн. наук, доц. **В.Д. Корнев;** канд. техн. наук, ст. науч. сотр. **А.А. Курушин;** канд. техн. наук, доц. **И.А. Молоковский;** канд. техн. наук, доц. **В.В. Паслён;** канд. техн. наук **Е.М. Силенко;** канд. физ.-мат. наук, доц. **В.И. Тимченко;** д-р техн. наук, доц. **К.А. Вытовтов;** канд. техн. наук, доц. **Т.В. Ермоленко;** канд. техн. наук, доц. **Т.В. Завадская;** д-р техн. наук, доц. **С.А. Зори;** академик РАН, д-р техн. наук, проф. **И.А. Соколов;** д-р техн. наук, проф. **М.Н. Чепцов;** 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 техн. наук, проф. **В.К. Толстых;** канд. техн. наук, доц. **О.Г. Шелехова;** д-р техн. наук, проф. **Г.В. Аверин;** канд. техн. наук, доц. **Т.С. Башева;** д-р техн. наук, проф. **С.В. Борщевский;** д-р техн. наук, проф. **Н.Г. Насонкина;** д-р хим. наук, проф. **А.И. Сердюк.**

## 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 – Cand. of tech. **I.A. Tretiakov.**

Assistant Editor – Cand. of tech. **E.D. Pometun.**

**The Members of the Editorial Board:** Cand. of phys. and math., senior researcher **P.V. Aslanov;** Dr. of tech., prof. **S.A. Gorozhankin;** Cand. of tech., docent **V.D. Korenev;** Cand. of tech., senior researcher **A.A. Kurushin;** Cand. of tech., docent **I.A. Molokovskii;** Cand. of tech., docent **V.V. Paslen;** Cand. of tech. **E.M. Silenko;** Cand. of phys. and math., docent **V.I. Timchenko;** Dr. of tech., docent **K.A. Vytovtov;** Cand. of tech., docent **T.V. Ermolenko;** Cand. of tech., docent **T.V. Zavadskaia;** Dr. of tech., docent **S.A. Zori;** RAS Academician, Dr. of tech., prof. **I.A. Sokolov;** Dr. of tech., prof. **M.N. Sheptsov;** Dr. of tech., prof. **A.B. Biriukov;** Cand. of tech., docent **S.V. Gridin;** Dr. of tech., prof. **S.M. Safiants;** Dr. of tech., prof. **V.K. Tolstykh;** Cand. of tech., docent **O.G. Shelekhova;** 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. **N.G. Nasonkina;** Dr. of chem., prof. **A.I. Serdiuk.**

Адрес редакции: 283001, Российская Федерация, ДНР, г. Донецк, пр. Театральный, д. 13.

Тел.: +7 (856) 302 07 81

E-mail: [vestnik.donnu.g@donnu.ru](mailto: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/title\\_about\\_new.asp?id=69984](http://elibrary.ru/title_about_new.asp?id=69984)

Журнал включен в международную индексационную наукометрическую базу **Index Copernicus International Journals Master List**: <http://journals.indexcopernicus.com/search/details?id=63327>

*Печатается по решению Ученого совета ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет»:  
Протокол №5 от 31.05.2023 г.*

**Вестник  
Донецкого  
национального  
университета**

**Серия Г: Технические науки**

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ**

ОСНОВАН В 1997 ГОДУ,  
СЕРИЯ Г ОСНОВАНА В 2018 ГОДУ

**№ 2/2023**

---

**СОДЕРЖАНИЕ**

---

**ЭЛЕКТРОНИКА, ФОТОНИКА, ПРИБОРОСТРОЕНИЕ И СВЯЗЬ**

- Турупалов В.В., Румянцев Д.А., Лозинская В.Н.* Алгоритм маршрутизации с учетом состояния канала и распределения спектра эластичной оптической сети ЦОДа 3
- Пометун Е.Д.* Измерение интенсивности турбулентности в рабочей части аэродинамического стенда АДС 200/250 11

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ**

- Третьяков И.А.* Обоснование применения скрытых марковских моделей с функцией плотности распределения наблюдений в АСНИ 16
- Ермоленко Т.В., Бондаренко В.И., Пикалёв Я.С.* Разработка алгоритмов и языковых моделей для мультязычной системы автоматического аннотирования текстов разных жанров 22
- Стрижко М.А., Червинский В.В.* Исследование моделей задержки автотранспорта на перекрестках М. Дж. Бэкманна и Ф. Вебстера для условий мегаполиса 44
- Подлесный В.Ю., Тимченко В.И., Третьяков И.А., Данилов В.В.* Разработка автономной автоматизированной системы непрерывного контроля состояния строительного объекта 51

**ЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА**

- Бирюков А.Б., Гнителив П.А.* Совершенствование использования системы критериев для анализа энергоэффективности источников теплоты в системах теплоснабжения 60

**ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

- Хуррамова Д.М., Хуррамов М.Г.* Исследование полуводных высших водных растений в доочистке недостаточно очищенных стоков 66

**ИНФОРМАЦИОННАЯ РУБРИКА**

- Поздравление с успешной защитой диссертации 72
- Правила для авторов 73

# Bulletin of Donetsk National University

SCIENTIFIC JOURNAL

FOUNDED IN 1997,  
SERIES G FOUNDED IN 2018

Series G: Technical sciences

№ 2/2023

---

## CONTENTS

---

### ELECTRONICS, PHOTONICS, INSTRUMENT ENGINEERING AND COMMUNICATION

- Turupalov V.V., Rumiantsev D.A., Lozinskaia V.N.* Routing algorithm taking into account the channel state and spectrum distribution of the elastic optical network of the data center 3
- Pometun E.D.* Measurement of turbulence intensity in the working part of the ADS 200/250 aerodynamic stand 11

### INFORMATION TECHNOLOGY AND TELECOMMUNICATIONS

- Tretiakov I.A.* Justification of the use of hidden Markov models with the distribution density function of observations in ASRS 16
- Ermolenko T.V., Bondarenko V.I., Pikalev I.A.S.* Development of algorithms and language models for a multi-language system of automatic summary of texts of different genres 22
- Strizhko M.A., CHervinskii V.V.* Research of vehicle delay models at intersections by M. J. Beckmann and F. Webster for megalopolis conditions 44
- Podlesnyi V.IU., Timchenko V.I., Tretiakov I.A., Danilov V.V.* Development of an autonomous automated system for continuous monitoring of the condition of a construction object 51

### ENERGETICS AND ELECTRICAL ENGINEERING

- Biriukov A.B., Gnitiev P.A.* Improving the use of the criteria system for analyzing the energy efficiency of heat sources in heat supply systems 60

### TECHNOSPHERE SAFETY

- KHurramova D.M., KHurramov M.G.* Investigation of semi-aquatic higher aquatic plants in the post-treatment of insufficiently treated wastewater 66

### INFORMATION SECTION

- Congratulations on the successful defense of the dissertation 72
- Instructions for authors 73

Э Л Е К Т Р О Н И К А , Ф О Т О Н И К А ,  
П Р И Б О Р О С Т Р О Е Н И Е И С В Я З Ъ

---



УДК 621.391.63

АЛГОРИТМ МАРШРУТИЗАЦИИ С УЧЕТОМ СОСТОЯНИЯ КАНАЛА И  
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СПЕКТРА ЭЛАСТИЧНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ СЕТИ ЦОДА

© 2023 Турупалов В.В., Румянцев Д.А., Лозинская В.Н.

---

В настоящей работе произведено теоретическое обоснование алгоритма маршрутизации на основе RSA-стратегии с учетом состояния канала. Особенностью представленного алгоритма является уменьшение фрагментации спектра с возможностью обеспечения балансировки нагрузки на этапе маршрутизации.

**Ключевые слова:** алгоритм маршрутизации, RSA-стратегия, состояние канала, фрагментация спектра, балансировка нагрузки.

---

**Введение.** Внедрение облачных и ресурсоемких приложений привело к повышению нагрузки на глобальные центры обработки данных (ЦОД). Для обеспечения заданных параметров качества обслуживания (Quality of Service, QoS), основные составляющие компоненты ЦОД-ов должны обеспечивать стабильное соединение с высокой пропускной способностью. Это достигается за счет использования специализированных топологий, технологий, а также механизмов управления трафиком. Наиболее эффективным подходом на сегодняшний день остается переход на оптические технологии сети, позволяющий обеспечить большую пропускную способность. Также оптическая коммутация может быть более гибкой и, благодаря многоволновой маршрутизации, не только усовершенствовать существующие топологии ЦОДов, но и повышать параметры качества обслуживания. При использовании эластичных оптических сетей (Elastic Optical Networks, EONs) для поставщика услуг основной проблемой является поддержание такого параметра QoS, как вероятность блокировки полосы пропускания во время сбоев из-за ограничений механизмов распределения спектра. Это определенным образом влияет на эффективность использования спектральных ресурсов.

**Постановка задачи.** Одним из основных способов управления трафиком в оптических сетях ЦОДов, является сегментирование спектра, позволяющее выделять слоты под низкоскоростной трафик. Немаловажной особенностью является необходимость использования одних и тех же слотов данными на всем пути следования от источника к получателю. Соответственно, подходы к маршрутизации и распределению спектра (Resource Spectrum Allocation, RSA) становятся основной проблемой в EONs, которая отвечает за установление светового пути для переноса трафика, где световой путь относится к комбинации пути маршрутизации и слотов спектра, назначенных для запроса. Кроме того, объем трафика, передаваемого по каналу, уменьшается с ухудшением состояния канала.

Исходя из вышеперечисленного, задача управления трафиком в сетях центров обработки данных, основанная на RSA-стратегии с учетом состояния канала (Link State Algorithm, LSA) для смягчения неблагоприятных последствий ухудшения состояния

канала является актуальной. Таким образом, целью исследовательской работы является повышение эффективности использования ресурсов EONs ЦОДов за счет разработки алгоритма маршрутизации с учетом состояния канала и распределения спектра.

**Алгоритм оценки состояния канала.** В системах оптической связи качество передачи сигнал ухудшается накоплением оценок таких физических параметров, как оценка хроматической дисперсии и оценка шума усиленного спонтанного излучения (Amplified spontaneous emission, ASE). При этом хроматическая дисперсия приводит к межсимвольной интерференции (Intersymbol Interference, ISI), а ASE снижает оптическое соотношение сигнал/шум. Так вышеперечисленные явления на физическом уровне приводят к ухудшению качества сигнала и серьезным битовым ошибкам в приемнике.

RSA-стратегия LSA обеспечивает межуровневую оптимизацию ресурсов за счет маршрутизации оптического пути и распределения спектра в соответствии с оцененным состоянием канала и моделью системы.

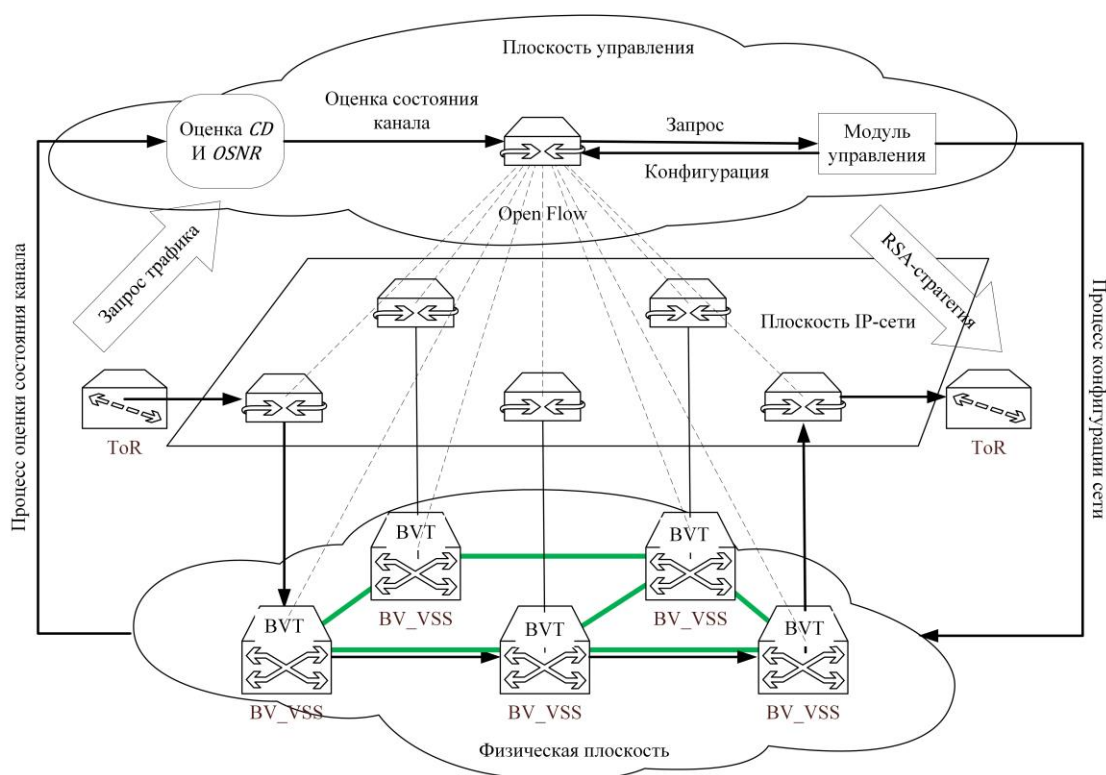


Рис. 1. Модель системы на базе эластичной оптической сети

Модель, представленная на рисунке 1, включает в себя три плоскости: физическую плоскость EON, плоскость IP-сети и плоскость управления. Физический уровень основан на оптической сети, предоставляющей ресурсы спектра и информацию о состоянии канала для установления светового пути и оценки состояния канала. Этот уровень состоит из двух основных компонентов: ретранслятора с переменной полосой пропускания (Bandwidth Variable Transponder, BV-T) и селективного переключателя длины волны с переменной полосой пропускания (Bandwidth Variable Wavelength Selective Switch, BV-WSS). BVT назначает трафик на подходящую центральную частоту с достаточным спектральным ресурсом. BV-WSS выполняет кросс-соединение в EON: поступающий сигнал по определенной центральной частоте сигнал переключается на указанное волокно или узел назначения.

Плоскость IP-сети отвечает за доступ к трафику и собирает информацию запроса. Во-первых, он получает запросы трафика и агрегирует данные от разных клиентов. Затем информация о запросе, включая адреса узлов-источников и узлов назначения, а также требуемую пропускную способность, пересылается на плоскость управления. Плоскость IP-сети координируется с физической плоскостью для передачи данных, доступ к трафику осуществляется плоскостью IP-сети и передается в физическую плоскость EON.

С другой стороны, плоскость IP-сети координируется с плоскостью управления для управления сетью. Система управляется плоскостью управления через определенный протокол, такой как OpenFlow. Плоскость управления можно рассматривать как «мозг» всей системы, который отвечает за управление сетью, оценку состояния канала, маршрутизацию запросов трафика и распределение спектрального ресурса. Для принятия решения о распределении ресурсов, плоскость управления работает с двумя другими плоскостями и выполняет два ключевых процесса: процесс оценки состояния канала и процесс настройки сети. В процессе оценки состояния канала периодически собирается физический сигнал, который затем используется для оценки параметров оптического домена, включая *CD* (Chromatic Dispersion) и *OSNR* (Optical Signal-To-Noise Ratio), после чего состояние оптического канала оценивается в соответствии с этими двумя параметрами. Для процесса конфигурации сети, модуль контроллера выделяет путь маршрутизации и ресурсы спектра на основе состояния канала, затем информация о конфигурации сети, включая результаты маршрутизации и распределения спектра, передается в плоскость IP-сети и EON для переноса трафика. Два процесса составляют цикл оценки-действия, а затем может быть инициировано выделение ресурсов на основе состояния канала в EON. В плоскости управления три модуля работают вместе для реализации процессов оценки состояния канала и управления сетью.

Состояния сети, включая состояние использования ресурсов и состояние канала, со временем меняются и имеют важное значение для управления сетью. Принимая во внимание информацию нижней плоскости при управлении сетью, снижение производительности, вызванное ухудшением состояния канала, может быть компенсировано.

На основе полученных данных о *CD* и *OSNR*, оценивается состояние канала, а затем в контроллере, для повышения производительности сети, применяется стратегия LSA-RSA. Контроллер соединяет разные плоскости и принимает глобальные решения, при этом учитывается как состояние канала, так и информация о ресурсах спектра. Благодаря стратегии LSA-RSA почти все установленные световые пути в EON могут соответствовать требованиям качества, гарантируется качество передачи, а также улучшается использование сетевых ресурсов [1].

На основе полученных данных о *CD* и *OSNR* [2], оценивается состояние канала, а затем в контроллере, для повышения производительности сети, применяется стратегия LSA-RSA. Контроллер соединяет разные плоскости и принимает глобальные решения, при этом учитывается как состояние канала, так и информация о ресурсах спектра. Благодаря стратегии LSA-RSA почти все установленные световые пути в EON могут соответствовать требованиям качества, гарантируется качество передачи, а также улучшается использование сетевых ресурсов.

Отметим, что каналы, независимо от их состояний, должны обеспечивать приемлемое качество передачи для переноса трафика. Дисперсия вызовет межсимвольную интерференцию, чтобы удовлетворить требованиям QoT, максимально

допустимая дисперсия должна быть меньше одной четверти длительности импульса символа, что можно оценить по (1)-(2):

$$\Delta\tau < \frac{T_s}{4}, \quad (1)$$

$$\Delta\tau = LD\Delta\lambda, \quad (2)$$

где  $T_s$  – длительность одного символа;

$L$  – длина волокна;

$D$  – коэффициент дисперсии;

$\Delta\lambda$  – ширина спектра лазера.

Еще один важный параметр, напрямую связанный с частотой ошибок по битам (Bit Error Rate,  $BER$ ), это оптическое соотношение сигнал/шум. Чтобы обеспечить качество передачи данных, необходимо поддерживать этот коэффициент выше порога, которые можно оценить на основе  $BER$ . Следовательно, необходимо задать пороговое значение  $BER$ , а затем на его основе вычислить соответствующий порог  $OSNR$ . Для М-РАМ (M-Pulse-Amplitude Modulation) модуляции, частоту битовых ошибок можно рассчитать по (3)-(4):

$$BER = \frac{M-1}{M \log_2 M} \operatorname{erfc} \left( \sqrt{\frac{3 \log_2 M}{k(M^2-1)} \frac{E_b}{N_o}} \right), \quad (3)$$

$$\frac{E_b}{N_o} = OSNR - 10 \log_{10} \frac{R_s \log_2 M}{B_{ref}}, \quad (4)$$

где  $E_b$  – битовая энергия;

$N_o$  – спектральная плотность шума;

$k$  – указывает метод обнаружения, используемый в приемнике.  $k=1$  означает, что используется когерентное обнаружение, а  $k=2$  означает, что используется прямое обнаружение;

$\operatorname{erfc}()$  – дополнительная функция ошибки;

$R_s$  – символьная скорость;

$B_{ref}$  – измеренная оптическая полоса пропускания, составляет 12,5 ГГц.

Очевидно, что для различных скоростей передачи данных необходимы различные сочетания  $CD$  и  $OSNR$ . Например, для скорости 40 Гбит/с с 4-РАМ модуляцией и когерентным обнаружением при  $OSNR = 22$  дБ,  $E_b = N_o = 16,9$  дБ, тогда  $BER$  составит  $2 \times 10^{-2}$ .

В оптических сетях световой путь может содержать несколько участков, поэтому общий коэффициент  $CD$  должен представлять собой суммарное значение. Коэффициент  $OSNR$  в этом случае можно выразить как (5):

$$OSNR = P_L - L_{oss} - N_F - 10 \log_{10} N_s + 58, \quad (5)$$

где  $P_L$  – мощность оптического передатчика;

$L_{oss}$  – значение уровня потерь для участка;



$N_F$  – значение уровня шума для участка;

$N_S$  – количество участков.

При динамической работе сети исходный узел, узел назначения и продолжительность запроса непредсказуемы. Следовательно, на основе текущего состояния сети и информации о поступающем запросе трафика, должен быть определен путь маршрутизации и выделен соответствующий объем спектра. Обычно, на основании информации о состоянии канала определяется пропускная способность и по предлагаемому алгоритму уменьшения фрагментации распределяются ресурсы спектра минимальной потерей пропускной способности канала.

**Алгоритм маршрутизации с учетом состояния канала и распределения спектра.** Для оптической сети, описываемой графом  $G(V, E)$ , определены множества узлов  $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$  и линий  $E = \{e_1, e_2, \dots, e_m\}$ . Пусть переменной  $N$  определено количество спектральных слотов линии, при этом количество занятых/свободных спектральных слотов определено матрицей  $M$ , где  $M(e, j) = 1$ , указывает, что  $j$ -й слот линии занят и 0 – соответственно свободен.  $T(v_s, v_d, b_w)$  – означает, что запрос трафика начинается на узле  $v_s$  и заканчивается на  $v_d$  с необходимой пропускной способностью  $b_w$ .  $P_T$  и  $SS_T$  представляют путь маршрутизации и выделенный слот спектра для запроса трафика  $T$  соответственно.

Изменение состояния канала и заполняемость спектрального слота приводят к изменению пропускной способности канала, поэтому расчет пропускной способности должен быть максимально простым для достижения быстрого обновления значений пропускной способности. Для вычисления емкости блока спектра  $C_{cb}(k)$  (6)-(7):

$$C_l = \sum C_{sb}, \quad (6)$$

$$C_{cb}(k) = \sum_{i=1}^k P(k, i) \cdot i, \quad (7)$$

где  $k$  – количество смежных и незанятых слотов спектра в одном блоке

$C_l$  – объем пропускной способности линии;

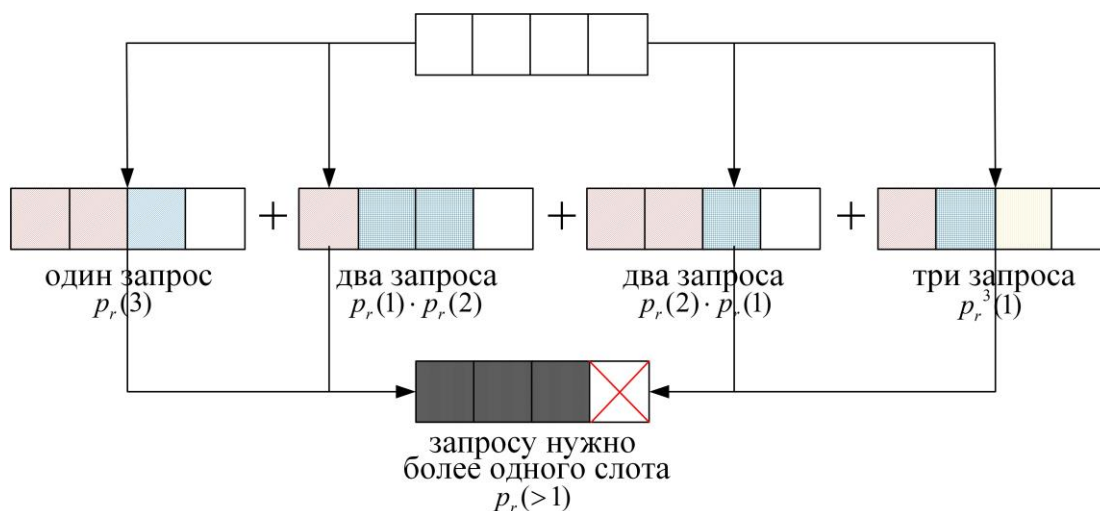
$P(k, i)$  – вероятность того, что только  $i$  слотов могут быть использованы в блоке спектра, состоящего из  $k$  слотов, то есть для следующего запроса трафика требуется больше, чем  $k - i$  слотов, пока  $i$  слотов спектра заняты.

Рассмотрим следующий случай, при  $k = 4$  и  $i = 3$ , существует 4 варианта решения (рисунок 2). Случай 1: один запрос с 3 слотам. Случай 2: два запроса, для первого требуется 1 слот, для второго требуется 2 слота. Случай 3: два запроса, для первого требуется 2 слота, для второго требуется 1 слот, этот случай отличается от второго случая. Случай 4: требуется более одного слота, поэтому  $P(4, 3)$  может быть выражено как, (8):

$$P(4, 3) = \left( p_r(3) + p_r(1)p_r(2) + p_r(2)p_r(1) + p_r(1)^3 \right) \cdot p_r(>1), \quad (8)$$

где  $p_r(i)$  – вероятность того, что для передачи трафика нужно  $i$  слотов;

$p_r(>1)$  – вероятность того, что для передачи трафика нужен более чем 1 слот.


 Рис. 2. Пример расчета  $P(4,3)$ 

При работе сети для различных запросов трафика нужны полосы пропускания разной ширины. Будем считать, что необходимая полоса пропускания распределяется равномерно, то есть вероятности того, что потребуется разное количество слотов, равны.

Для одного спектрального блока, в котором  $i$  слотов, можно сказать, что если  $T_n$  запросов трафика занимают блок, то это эквивалентно разделению блока спектра на  $T_n$  подблоков, для  $\frac{(i-1)!}{(T_n-1)!(i-T_n)!}$  случаев. Так, пропускная способность блока спектра может быть рассчитана по (9):

$$C_{sb}(k) = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^i \frac{(i-1)!}{(j-1)!(i-j)!} \cdot p_r^j \cdot p_r(>k-i) \cdot i. \quad (9)$$

В настоящее время самая высокая скорость передачи данных в EON обычно составляет 100 Гбит/с, а максимальная пропускная способность требуется 100 ГГц, поэтому максимальное количество слотов, для которых требуется трафик ограничен 8 при пропускной способности слота в 12,5 ГГц. Если один у блока спектра более 8 слотов, то его можно разделить на несколько подблоков. В этом случае емкость рассчитывается отдельно. Например,  $C_{sb}(17) = 2 \times C_{sb}(8) + C_{sb}(1)$ . Кроме того, пропускная способность канала определяется состоянием канала, если состояние канала ухудшается, максимальное количество непрерывных слотов в канале уменьшается.

Если коэффициент хроматической дисперсии увеличивается (значение  $CD$  превышает 125 бит/нм), то канал может передавать трафик только с максимальной скоростью передачи данных 40 Гбит/с. В это время пропускная способность канала уменьшается, даже если в канале достаточно незанятых слотов спектра, максимальное количество непрерывных слотов ограничено 4 (т.е. 50 ГГц), блок спектра будет разделен на несколько меньших блоков, и пропускная способность блока соответственно изменится. Например,  $C_{sb}(17)$  вычисляется как  $4 \times C_{sb}(4) + C_{sb}(1)$ .

LSA гарантирует, что все найденные пути подходят для передачи поступающего трафика. Состояние канала оценивается после оценки  $CD$  и  $OSNR$ , затем контроллер получает значения  $CD$  и  $OSNR$  для каждого канала, которые представлены как  $LS_D$  и  $LS_O$  соответственно. Вес канала определяется его пропускной способностью (10):

$$W_i = \frac{N}{C_i}, \quad (10)$$

где  $N$  – общее количество слотов спектра в одном канале.

Весовое использование каналов позволяет обеспечить балансировку нагрузки на этапе маршрутизации: если у канала малый вес, но при этом он имеет большую свободную емкость, то именно этот путь и является предпочтительным путем маршрутизации для переноса трафика. После нахождения пути весовые коэффициенты всех звеньев этого пути умножаются на коэффициент  $\alpha$ . Общее значение  $CD$  пути маршрутизации рассчитывается как суммарное значение для всех каналов. Окончательное значение  $OSNR$  определяется, как наихудшее состояние канала. Слот спектра считается доступным, если он свободен во всех каналах пути. Затем определяется, соответствует ли  $p_i$  всем предъявляемым требованиям. Как только определяется достаточное количество свободных слотов, а значения  $CD$  и  $OSNR$  соответствует требованиям, путь определен как подходящий. При поступлении запроса на трафик пути маршрутизации распределяются на основе наличия свободных спектральных слотов ( $SS_T$ ) вдоль рассчитанных путей ( $P_T$ ). Все подходящие пути представлены вектором  $P_T$ . Значения  $SS_T$  содержит индексы незанятых блоков спектра на всех путях. Пропускная способность каждого канала связи рассчитывается с учетом текущего состояния сети и занятости спектра. Затем для каждого пути маршрутизации рассчитываются значения возможного уменьшения пропускной способности канала. Если свободных спектральных слотов нет или трафик высвобожден, то матрица спектральных состояний обновляется. Если LSA не находит подходящих путей, запрос на передачу трафика блокируется.

**Выводы.** Представленный алгоритм используется в качестве основного при управлении трафиком на основе межуровневой LSA-стратегии. Для этого необходимо добавить некоторые критерии принятия решений, такие как вероятность неудачной передачи трафика и вероятность блокировки полосы пропускания.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Hmaity, A. Survivable virtual network mapping to provide content connectivity against double-link failures / A. Hmaity, F. Musumeci, M. Tornatore // 12th international Conference on the Design of Reliable Communication Networks (DRCN). Paris, 2016. – P. 160-166.
2. Rak, J. Resilient communication services protecting end-user applications from disaster-based failures / J. Rak et al. // Proceedings of the 18th International Conference on Transparent Optical Networks (ICTON), Trento, Italy, 2016. – P. 1-4.

*Поступила в редакцию 02.05.2023 г., рекомендована к печати 15.05.2023 г.*

**ROUTING ALGORITHM TAKING INTO ACCOUNT THE CHANNEL STATE AND SPECTRUM DISTRIBUTION OF THE ELASTIC OPTICAL NETWORK OF THE DATA CENTER**

*Turupalov V.V., Rumiantsev D.A., Lozinskaia V.N.*

In the present work, a theoretical substantiation of the routing algorithm based on the RSA-strategy is made, taking into account the state of the channel. A feature of the presented algorithm is the reduction of spectrum fragmentation with the ability to provide load balancing at the routing stage.

**Keywords:** routing algorithm, RSA strategy, link state, spectrum fragmentation, load balancing.

**Турупалов Виктор Владимирович**

кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой автоматизации и телекоммуникаций ФГБОУ ВО «Донецкий национальный технический университет», Российская Федерация, ДНР, г. Донецк.  
E-mail: decanat@kita.donntu.ru

**Turupalov Viktor Vladimirovich**

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

**Румянцев Дмитрий Артемович**

магистрант ФГБОУ ВО «Донецкий национальный технический университет», Российская Федерация, ДНР, г. Донецк.  
E-mail: dim\_rum@mail.ru

**Rumiantsev Dmitrii Artemovich**

Master student at Donetsk National Technical University,  
Russian Federation DPR, Donetsk.

**Лозинская Виктория Николаевна**

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры автоматизации и телекоммуникаций ФГБОУ ВО «Донецкий национальный технический университет», Российская Федерация, 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,  
Russian Federation, DPR, Donetsk.

УДК 533.6.08

## ИЗМЕРЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ТУРБУЛЕНТНОСТИ В РАБОЧЕЙ ЧАСТИ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО СТЕНДА АДС 200/250

© 2023 *Пометун Е.Д.*

---

В данной работе описан алгоритм определения интенсивности (степени) турбулентности в рабочей части аэродинамического стенда АДС 200/250. Приводится экспериментальное значение и профиль интенсивности турбулентности на срезе конфузора, рекомендации для уменьшения искажений воспроизведения потока в рабочей части.

**Ключевые слова:** турбулентность, интенсивность (степень) турбулентности, аэродинамический стенд, термоанемометр.

---

**Введение.** Для расчета ряда параметров, таких как диапазон средней скорости, мощность вентилятора и потери давления существуют хорошо отработанные методики [1], однако оценка интенсивности турбулентности не поддается точному расчету, т.к. зависит от множества влияющих величин: шероховатостей стенок, качества изготовления и размера сеток, параллельность стенок каналов и многого другого. Для измерения турбулентности не могут использоваться стандартные пневматические приемники: трубки Пито и Пито – Прандтля и дифференциальные датчики давления типа «Сапфир» или «Метран», т.к. постоянная времени измерительной системы на порядок больше характерного времени изучаемого процесса пульсаций давления. Единственным доступным способом измерений турбулентности, является термоанемометрический способ, в частности, термоанемометр постоянной температуры.

**Основная часть.** Существуют два основных режима течений жидкостей и газов: ламинарный и турбулентный. Ламинарный режим характеризуется плавным изменением линий тока, причем перемещение между слоями незначительно, слои скользят друг относительно друга без изменения скорости и давления. Тип течения характеризуется критерием Рейнольдса ( $Re$ ): для трубного течения переход от ламинарного потока к турбулентному потоку происходит при числе  $Re > 2000$  и зависит от множества факторов, трудно поддающихся учету. Хаотическое движение молекул газа или жидкости приводит к увеличению сопротивления и вследствие этого потери давления. Если при ламинарном течении потери давления пропорциональны скорости, то при возникновении значительной турбулентности, в третьем режиме, по классификации Никурадзе, коэффициент сопротивления увеличивается и становится пропорциональным квадрату скорости [1, 2]. Таким образом, турбулентный режим течения значительно отличается по физическим свойствам от ламинарного течения.

Величина турбулентности характеризуется относительной средней пульсационной скоростью и определяется размерами ячеек в решетках и сетках для успокоения потока и стабильностью оборотов винта [3]. На малых скоростях относительная нестабильность частоты оборотов винта растет, а эффективность успокоения потока сеткой падает, что обуславливает значительное (в несколько раз) увеличение относительного уровня турбулентности потока. Таким образом, уровень турбулентности в ядре потока аэродинамического стенда в общем случае зависит от применяемой сетки для успокоения потока, средней скорости потока и качества

системы управления частотой оборота винта. Определить заранее уровень турбулентности для каждой измерительной точки без проведения дополнительных исследований не представляется возможным.

Градуировка термоанемометрических датчиков допускается в потоке с неравномерностью профиля средней скорости не более 0,5 % и уровнем пульсаций скорости не более 5 %, закон распределения данных параметров должен быть близок к нормальному.

Структура канала и расположение измерительных сечений для определения параметров газового потока аэродинамического стенда АДС-200/250 представлена на рис. 1. Исследование характеристик воздушного потока аэродинамического стенда выполнялись с использованием программно-аппаратных средств фирмы NI LabVIEW [6].

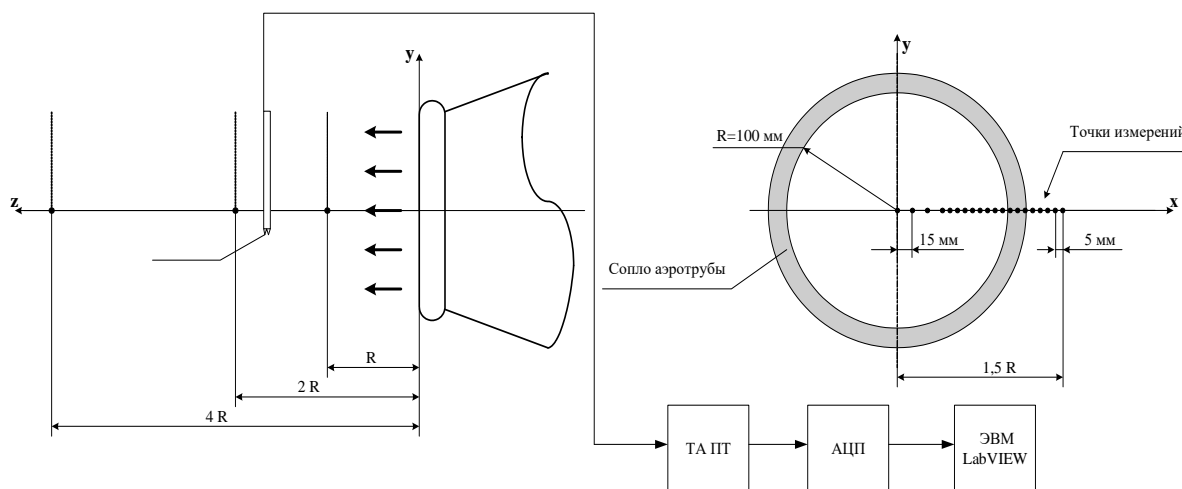


Рис. 1. Расположение измерительных сечений и точек измерений в них

Средняя скорость в измерительных точках  $v_o$ , среднее квадратическое отклонение (СКО) пульсаций скорости  $\sigma$  и относительное СКО пульсаций скорости  $\sigma_o$  (степень турбулентности) оценивались по формулам (1-3):

$$v_o = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N v_i, \quad (1)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \cdot \sum_{i=1}^N (v_i - v_o)^2}, \quad (2)$$

$$\sigma_o = \frac{\sigma}{v_o}, \quad (3)$$

где  $N$  – размер выборки ( $N=400$ ),  $v_i$  – мгновенная скорость.

Условие, при котором случайной погрешностью измерений можно пренебречь, записывается неравенством [4]:

$$\frac{\sqrt{n} \cdot \Delta_{sv}}{\sigma_v} > 8, \quad (4)$$

где  $n$  – объем выборки;  $\Delta_{sv}$  и  $\sigma_v$  – соответственно неисключенная систематическая погрешность и СКО случайной погрешности результатов наблюдений скорости потока. Минимальное достаточное количество наблюдений:

$$n_{\text{дост}} = \frac{64 \cdot \sigma_v^2}{\Delta_{sv}^2}.$$

Алгоритм многократного опроса и обработки данных измерительных каналов информационно-измерительной системы, не зависящий от уровня пульсаций мгновенной скорости потока, состоит из следующих шагов [5]:

1) Определить минимальный объем выборки мгновенных значений сигнала выбранного измерительного канала, обеспечивающий требуемую достоверность статистических оценок, по формуле [4]:

$$n_{\text{min}} = \frac{2}{1-p}.$$

2) Выполнить опрос выбранного канала  $n_{\text{min}}$  раз и сформировать выборку минимального объема.

3) Исключить из полученного ряда наблюдений результаты, содержащие грубые погрешности.

4) Если условие (4) выполняется, то переход на п.5, иначе выполнить однократный опрос выбранного канала и перейти на п.3.

5) За результат измерения принять среднее арифметическое ряда наблюдений.

Блок-схема предложенного алгоритма приведена на рис. 2.

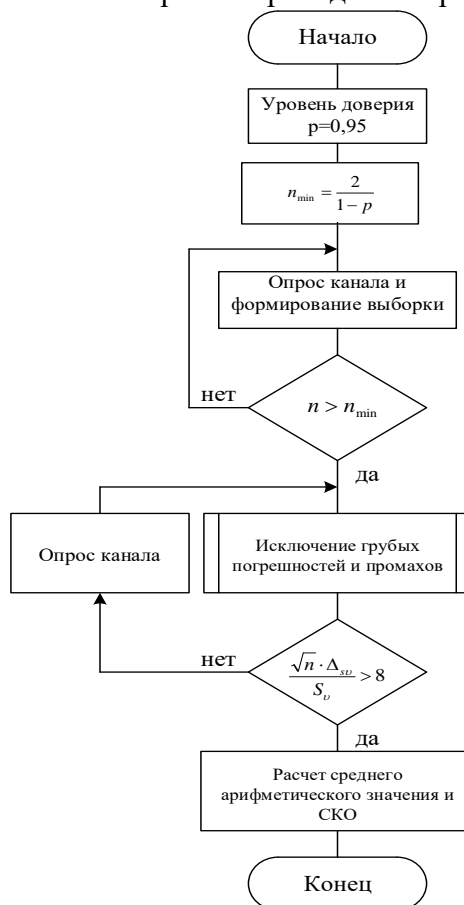


Рис. 2. Блок-схема алгоритма опроса измерительных каналов

Для вычисления интенсивности (степени) турбулентности используются следующие соотношения:

$$\varepsilon = \frac{V^i - \bar{V}}{\bar{V}} \quad \text{или} \quad \varepsilon = \frac{V^i - \bar{V}}{\bar{V}} \cdot 100\%.$$

Интенсивность турбулентности должна измеряться по всем трем осям координат между конфузуром и диффузором в рабочей части АДС 200/250. Однако, учитывая радиальную симметрию относительно оси X, можно исключить измерения по одной из осей Y или Z, например Z.

Выберем координаты в соответствии с рисунком, так что центр декартовой системы  $X=Y=Z=0$  совпадает с центром конфузора и находится на его срезе (рис. 1). Первый цикл измерений будем выполнять при постоянной скорости. Для увеличения турбулентности будем проводить измерения в области развитой турбулентности при числе Re больше критического. Измерения на оси Y выполнялись через каждые 10 мм, в 30 точках. Так как внутренний диаметр конфузора равен 200 мм, то по пять точек на границах находились за пределами конфузора. Если учесть, что рабочая область АТ, как правило, составляет только часть полного сечения, то при ограничении радиуса равном 50 мм, неравномерность средней скорости не превышает 5 %.

Профиль интенсивность турбулентности по оси Y представлен на рисунке 3.

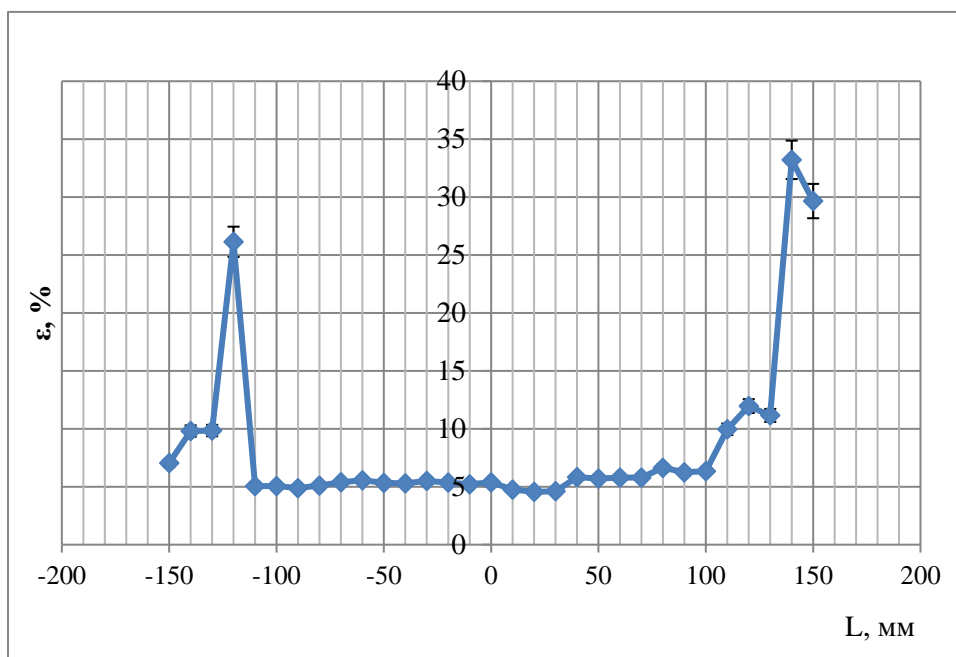


Рис. 3. Профиль интенсивности турбулентности на срезе конфузора АДС 200/250

На графике, изображённом на рисунке 3, при выборе рабочей области по радиусу 50 мм от начала координат, турбулентность имеет постоянное значение равное ~ 5 %. Полученное значение интенсивности турбулентности является предварительным и, после проведения ряда мероприятий может быть уменьшено.

**Выводы.** На основании полученных результатов можно предложить ряд путей для уменьшения интенсивности турбулентности, например, установку в форкамере ячеистой структуры или замену сетки. Необходимо учитывать, что эти мероприятия приведут к уменьшению диапазона по скорости АДС 200/250.



## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ярин, Л. П. Термоанемометрия газовых потоков / Л. П. Ярин, А. Л. Генкин, В. И. Кулес. – Л.: Машиностроение, 1983. – 198 с.
2. Виноградов, Л. В. Исследование геометрических параметров сопла с контуром Витошинского / Л. В. Виноградов, Ш. Р. Лотфулин // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. – 2004. – № 2. – С. 44-49.
3. Повх, И. Л. Аэродинамический эксперимент в машиностроении / И. Л. Повх. – Л.: Машиностроение, 1974. – 480 с.
4. ГОСТ Р 8.736-2011 Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения. – М.: Стандартинформ, 2013. – 18 с.
5. Кузнецов, Д. Н. Исследование поля скоростей рабочего участка аэродинамической установки для градуировки датчиков. / Д. Н. Кузнецов, А. А. Зори // Научные труды Донецкого национального технического университета. Серия: «Вычислительная техника и автоматизация». – Вып. 74. – 2004. – С. 300-305.
6. Пометун, Е. Д. Разработка автоматизированной системы научных исследований для аэродинамического эксперимента / Е. Д. Пометун, Р. А. Хрипунов, А. В. Васильева // Вестник Донецкого национального университета. Серия Г: Технические науки. – №1. – 2020. – С. 4–8.

*Поступила в редакцию 05.05.2023 г., рекомендована к печати 18.05.2023 г.*

## MEASUREMENT OF TURBULENCE INTENSITY IN THE WORKING PART OF THE ADS 200/250 AERODYNAMIC STAND

*Pometun E.D.*

This paper describes an algorithm for determining the intensity (degree) of turbulence in the working part of the ADS 200/250 aerodynamic test bench. The experimental value and intensity profile of turbulence at the confuser section are given, as well as recommendations for reducing flow reproduction distortions.

**Keywords:** turbulence, intensity (degree) of turbulence, aerodynamic stand, hot-wire anemometer.

### **Пометун Екатерина Дмитриевна**

кандидат технических наук, доцент кафедры физики неравновесных процессов метрологии и экологии им. И.Л. Повха ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет»,  
Российская Федерация, ДНР, г. Донецк.  
E-mail: alternativa19031992@rambler.ru

### **Pometun Ekaterina Dmitrievna**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at Department of Physics of Nonequilibrium Processes, Metrology and Ecology named after I.L. Povkh of Donetsk State University  
Russian Federation, DPR, Donetsk.

## ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ

---



УДК 681.5:519.217

### ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ СКРЫТЫХ МАРКОВСКИХ МОДЕЛЕЙ С ФУНКЦИЕЙ ПЛОТНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАБЛЮДЕНИЙ В АСНИ

© 2023 *Третьяков И.А.*

---

В данной работе приводится обоснование использования специальных типов скрытых марковских моделей, в частности с функцией плотности распределения наблюдений, в автоматизированных системах научных исследований. Рассмотрены модели с непрерывной плотностью распределения наблюдений и авторегрессионной плотностью распределения наблюдений. Описана процедура переоценки для обоих типов скрытых марковских моделей.

**Ключевые слова:** АСНИ, скрытая марковская модель, функция плотности, повторное оценивание, авторегрессия, автокорреляция.

---

**Введение.** Скрытая марковская модель (СММ) — статистическая модель, имитирующая работу процесса с неизвестными параметрами, который считается Марковским. Причем неизвестно текущее состояние системы, однако каждое состояние может с некоторой вероятностью произвести событие, которое можно наблюдать. Задачей такой модели является получение неизвестных параметров на основе наблюдаемых.

СММ были введены и широко изучены в 70-х годах прошлого века [1, 2], однако их актуальность ощутимо возросла в последние годы. Это связано с расширением областей применения как самих СММ [3-5], так и методов машинного обучения в целом, а также развития автоматизированных систем научных исследований (АСНИ) различной направленности [6-10], без которых в настоящее время по многочисленности и разнообразию вычислений невозможны контроль и прогнозирование сложных процессов.

В работе [11] проведен сравнительный анализ и приведена классификация скрытых марковских моделей, однако существуют и другие специальные типы, вариации и комбинации классических типов скрытых марковских моделей. В классических типах СММ принято считать наблюдения дискретными символами из конечного алфавита, а задание текущих значений этих символов выполняется посредством дискретных функций плотности вероятности. Проблема такого подхода заключается в том, что во многих прикладных задачах наблюдения являются непрерывными сигналами или векторами (акустические и речевые сигналы, радиоволны и т.д.). Такие непрерывные сигналы всё же удается квантовать, однако такое квантование зачастую приводит к большим искажениям исходного сигнала. Поэтому актуальной задачей является поиск возможностей применения специальных типов скрытых марковских моделей с непрерывными и авторегрессионными функциями плотности распределения наблюдений в автоматизированных системах научных исследований.

**Модели с непрерывной плотностью распределения наблюдений.** Для реализации такой модели необходимо ввести дополнительные ограничения, чтобы обеспечить состоятельность процедуры повторной оценки функции плотности вероятности наблюдений. Такая функция, для которой определена процедура повторного оценивания имеет вид:

$$b_i(O) = \sum_{m=1}^M c_{j_m} \chi[O, \mu_{j_m}, U_{j_m}], \quad (1)$$

$$1 \leq j \leq N$$

где  $O$  - моделируемый вектор наблюдений;  $M$  - число символов наблюдений;  $N$  - число состояний в модели;  $\chi$  - произвольная логарифмическая-вогнутая или эллиптически-симметричная плотность вероятности (например, гауссовская) с вектором средних значений  $\mu_{j_m}$  и ковариационной матрицей  $U_{j_m}$  для  $m$ -составляющей в состоянии  $j$ ;  $c_{j_m}$  - весовой коэффициент  $m$ -й компоненты в состоянии  $j$ , удовлетворяющий ограничениям:

$$\sum_{m=1}^M c_{j_m} = 1, \quad 1 \leq j \leq N,$$

$$c_{j_m} \geq 0, \quad 1 \leq j \leq N, \quad 1 \leq m \leq M.$$

Функция (1) позволяет с высокой точностью аппроксимировать произвольную непрерывную функцию плотности вероятности, содержащую конечное количество компонент и может быть использована в автоматизированных системах научных исследований непрерывных сигналов, например АСНИ параметров поверхностных акустических волн [9], АСНИ контроля радиообстановки [10] и т.д.

Формулы повторной оценки для весового коэффициента  $c_{j_m}$  и компонент плотности вероятности  $\chi$  имеют вид [12]:

$$\bar{c}_{j_k} = \frac{\sum_{t=1}^T \gamma_t(j, k)}{\sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^M \gamma_t(j, k)}; \quad \bar{\mu}_{j_k} = \frac{\sum_{t=1}^T \gamma_t(j, k) O_t}{\sum_{t=1}^T \gamma_t(j, k)}; \quad \bar{U}_{j_k} = \frac{\sum_{t=1}^T \gamma_t(j, k) (O_t - \mu_{j_k})(O_t - \mu_{j_k})'}{\sum_{t=1}^T \gamma_t(j, k)},$$

где:

$$\gamma_t(j, k) = \left[ \frac{\alpha_t(j) \beta_t(j)}{\sum_{j=1}^N \alpha_t(j) \beta_t(j)} \right] \left[ \frac{c_{j_k} \chi(O_t, \mu_{j_k}, U_{j_k})}{\sum_{m=1}^M c_{j_m} \chi(O_t, \mu_{j_m}, U_{j_m})} \right]. \quad (2)$$

Физический смысл формул повторной оценки заключается в следующем:

- $\bar{c}_{j_k}$  - отношение ожидаемого числа раз нахождения модели в состоянии  $j$  и использования  $k$ -й компоненты плотности для генерации символов наблюдения, к ожидаемому числу раз нахождения модели в состоянии  $j$ ;

- $\bar{\mu}_{j_k}$  - каждый член числителя умножается на вектор соответствующего ему наблюдения, в результате чего вычисляется ожидание той части вектора наблюдений, которая сгенерирована  $k$ -й компонентой функции плотности;
- $\bar{U}_{j_k}$  - аналогично  $\bar{\mu}_{j_k}$ , только каждый член числителя умножается на транспонированный вектор соответствующего ему наблюдения;
- $\gamma_t$  - вероятность того, что при заданной последовательности наблюдений в момент времени  $t$  модель находится в состоянии  $j$ , причем наблюдаемый в этот момент вектор  $O_t$  сгенерирован  $k$ -й компонентой смешанной плотности.

**Модели с авторегрессионной плотностью распределения наблюдений.** Кроме скрытых марковских моделей с непрерывной плотностью распределения наблюдений, которые применимы для решения широкого спектра задач, рассмотрим еще один тип СММ - авторегрессионные, в которых векторы наблюдений генерируются процессом авторегрессии [13]. Такие СММ находят применение в автоматизированных системах научных исследований речевых сигналов [7].

В такой модели вектор наблюдений  $O = \langle x_0, x_1, x_2, \dots, x_{k-1} \rangle$  имеет гауссовскую авторегрессионную функцию распределения плотности вероятности  $p$ -порядка, а его компоненты взаимосвязаны следующим образом:

$$O_k = -\sum_{i=1}^p a_i O_{k-i} + e_k, \quad (3)$$

где  $e_k (k = 0, 1, \dots, K-1)$  - гауссовские, независимые, одинаково распределенные случайные величины с нулевыми средними значениями и дисперсией  $\sigma^2$ ,  $a_i (i = 1, 2, \dots, p)$  - коэффициенты авторегрессии (прогнозирования) [14].

При больших значениях  $K$  в формуле (3) плотность распределения вероятности для  $O$  можно приближенно описать следующим образом:

$$f(O) = (2\pi\sigma^2)^{-K/2} \exp\left\{-\frac{1}{2\sigma^2} \delta(O, a)\right\},$$

где  $\delta(O, a) = r_a(0)r(0) + 2\sum_{i=1}^p r_a(i)r(i)$ ;  $a' = [1, a_1, a_2, \dots, a_p]$ ; автокорреляция

коэффициентов авторегрессии  $r(i) = \sum_{n=0}^{K-i-1} x_n x_{n+i}$ ,  $0 \leq i \leq p$ ; автокорреляция компонент

вектора наблюдений  $O$   $r_a(i) = \sum_{n=0}^{p-i} a_n a_{n+i}$ ,  $a_0 = 1$ ,  $1 \leq i \leq p$ .

Полная ошибка прогнозирования на конкретном участке определяется как:

$$\alpha = E \left[ \sum_{i=1}^K (e_i)^2 \right] = K\sigma^2,$$

где  $\sigma^2$  - дисперсия одного отсчета сигнала ошибки.

Нормализуем вектор наблюдений  $O$ , поделив каждый его компонент  $x_i$  на полную ошибку прогнозирования  $\alpha$ :

$$\hat{O} = \frac{O}{\sqrt{\alpha}} = \frac{O}{\sqrt{K\sigma^2}}.$$

Таким образом, каждая компонента вектора наблюдений  $O$  нормирована так, что её дисперсия равна 1, тогда плотность распределения вероятности наблюдений можно представить в следующем виде:

$$f(\hat{O}) = \left(\frac{2\pi}{K}\right)^{-K/2} \exp\left(-\frac{K}{2}\delta(\hat{O}, a)\right). \quad (4)$$

При практической реализации данной модели целесообразно множитель  $K$  в первой части (4) заменить на величину, характеризующую длину каждого вектора данных  $\hat{K}$  (эффективную длину участка). Например, если последовательные векторы данных перекрываются с отношением 3:1, то с целью учета точно один раз веса вклада каждого отсчета сигнала в результирующую плотность, необходимо применять  $\hat{K} = \frac{K}{3}$ .

Авторегрессия с гауссовской плотностью распределения для компонент наблюдения в данной модели реализуется следующим образом:

- предполагается, что плотность распределения наблюдений представляет собой сумму

$$b_j(O) = \sum_{m=1}^M c_{jm} b_{jm}(O), \quad \text{где} \quad b_{jm}(O) = \left(\frac{2\pi}{K}\right)^{-K/2} \exp\left\{-\frac{K}{2}\delta(O, a_{jm})\right\} - \text{плотность с}$$

вектором коэффициентов авторегрессии  $a_{jm}$  либо автокорреляционным вектором  $r_{a_{jm}}$ , определяемая из (4);

- формула повторной оценки для последовательности автокорреляций  $r_i$   $j$ -го состояния

$$\text{и } k\text{-й компоненты принимает вид } \bar{r}_{jk} = \frac{\sum_{t=1}^T \gamma_t(j, k) r_t}{\sum_{t=1}^T \gamma_t(j, k)}, \quad \text{где } \gamma_t(j, k), \text{ аналогично (2),}$$

определяется как вероятность того, что модель, находясь в момент  $t$  в состоянии  $j$ , использует для генерации символа наблюдения компонент  $k$ :

$$\gamma_t(j, k) = \left[ \frac{\alpha_t(j)\beta_t(j)}{\sum_{j=1}^N \alpha_t(j)\beta_t(j)} \right] \left[ \frac{c_{jk} b_{jk}(O_t)}{\sum_{k=1}^M c_{jk} b_{jk}(O_t)} \right];$$

- так, как  $\bar{r}_{jk}$  является взвешенной суммой нормированных автокорреляций участков последовательности наблюдений, решив систему уравнений вычисляется вектор коэффициентов  $\bar{a}_{jk}$  авторегрессии для  $k$ -й компоненты и состояния  $j$ .

- на основании авторегрессионных коэффициентов  $\bar{a}_{jk}$  вычисляются новые автокорреляционные векторы.

**Выводы.** Модели с непрерывной плотностью распределения наблюдений позволяют с высокой точностью аппроксимировать произвольную непрерывную функцию плотности вероятности и находят применение в автоматизированных системах научных исследований непрерывных сигналов, в частности в АСНИ параметров поверхностных акустических волн и в АСНИ контроля радиообстановки. Модели с авторегрессионной плотностью распределения наблюдений позволяют практически полностью компенсировать ошибки прогнозирования и находят применение в автоматизированных системах научных исследований речевых сигналов, в частности в АСНИ текстонезависимой идентификации диктора.

Таким образом, специальные типы скрытых марковских моделей с функцией плотности распределения наблюдений вполне применимы в автоматизированных системах научных исследований для решения широкого спектра задач.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Baum, L. E. Statistical inference for probabilistic functions of finite start Markov chains / L. E. Baum, T. Petrie // *The annals of mathematical statistics*. – 1966. – V. 3. – № 6. – P. 1554-1563. – DOI 10.1214/aoms/1177699147.
2. Baum, L. E. An inequality and associated maximization technique in statistical estimation for probabilistic functions of Markov processes / L. E. Baum // *Mathematics*. – 1972. – V. 3. – P. 1-8.
3. Анализ производительности и надежности технологических процессов в машиностроении на основе полумарковской модели / Ю. Л. Рапацкий, М. В. Заморенов, В. Я. Копп, Ю. Е. Обжерин // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. – 2019. – № 1(333). – С. 22-33. – EDN JCBPAD.
4. Третьяков, И. А. Обеспечение целостности в базах данных с помощью скрытых марковских моделей / И. А. Третьяков, В. В. Кулибаба // *Донецкие чтения 2022: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности: Материалы VII Международной научной конференции, посвящённой 85-летию Донецкого национального университета (Донецк, 27–28 октября 2022 г.)*. – Том 2: Физические, технические и компьютерные науки / под общей редакцией проф. С.В. Беспаловой. – Донецк: Изд-во ДонНУ, 2022. – С. 206-208. – EDN QYXMKD.
5. Сидоров, С. М. Полумарковская модель участка интеллектуальной распределительной сети / С. М. Сидоров, Ю. Е. Обжерин, С. Н. Федоренко // *Автоматизация и измерения в машиноприборостроении*. – 2022. – № 4(20). – С. 47-64. – EDN YQKKQR.
6. Семенова, И. И. Концепция автоматизированной системы поддержки научных исследований / И. И. Семенова, А. А. Швебель // *Вестник Воронежского государственного технического университета*. – 2010. – № 3. – С. 76-80. – EDN LDEM DL.
7. Третьяков, И. А. Реализация и тестирование автоматизированной системы текстонезависимой идентификации диктора / И. А. Третьяков, Е. Н. Кожекина // *Импортозамещение, научно-техническая и экономическая безопасность: сб. ст. V Междунар. науч.-техн. конф. «Минские научные чтения-2022» в 3 т. (Минск, 07–09 декабря 2022 г.)*. – Т. 2. – Минск: БГТУ, 2022. – С. 338-342. – EDN ENMOZX.
8. Снежко, В. Л. Разработка системы автоматизации экспериментальных исследований / В. Л. Снежко, М. С. Паливец, А. В. Подобный // *Международный журнал гуманитарных и естественных наук*. – 2022. – №10-2. – С. 118-120. – DOI 10.24412/2500-1000-2022-10-2-118-12. – EDN ZUWLLM.
9. Третьяков, И. А. Элементы автоматизированных систем измерения параметров поверхностных акустических волн посредством методов опорных пучков / И. А. Третьяков, А. В. Яновский, В. В. Данилов // *Вестник Донецкого национального университета. Серия Г: Технические науки*. – 2022. – № 4. – С. 18-26. – EDN IXCDGJ.
10. Третьяков, И. А. Элементы устройств вычислительной техники для АСНИ контроля радиообстановки на основе эхо-эффекта / И. А. Третьяков, В. В. Данилов, С. В. Борщевский // *Вестник Донецкого национального университета. Серия Г: Технические науки*. – 2023. – № 1. – С. 34-39. – EDN CADMAM.
11. Третьяков, И. А. Классификация скрытых марковских моделей / И. А. Третьяков // *Донецкие чтения 2022: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности: Материалы VII Международной научной конференции, посвящённой 85-летию Донецкого национального*

университета (Донецк, 27–28 октября 2022 г.). – Том 2: Физические, технические и компьютерные науки / под общей редакцией проф. С.В. Беспаловой. – Донецк: Изд-во ДонНУ, 2022. – С. 203-205. – EDN RSVCWV.

12. Juang, B. H. Maximum likelihood estimation for mixture multivariate stochastic observations of Markov sources / B. H. Juang // AT&T Technical Journal. – 1985. – V. 64. – № 6. – P. 1235-1249. – DOI 10.1002/j.1538-7305.1985.tb00273.x.
13. Juang, B. H. Mixture autoregressive hidden Markov models for speech signals / B. H. Juang, L. R. Rabiner // IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing. – 1985. – V. 33. – № 6. – P. 1404-1413. – DOI 10.1109/TASSP.1985.1164727.
14. Данилов, В. В. Алгоритмы экстраполяции участков экспериментальных кривых / В. В. Данилов, И. А. Третьяков, Я. И. Рушечников, А. В. Шалаев // Сборник научных трудов Донецкого института железнодорожного транспорта. – 2018. – № 50. – С. 10-15. – EDN YTXPZR.

*Поступила в редакцию 07.04.2023 г., рекомендована к печати 25.04.2023 г.*

#### JUSTIFICATION OF THE USE OF HIDDEN MARKOV MODELS WITH THE DISTRIBUTION DENSITY FUNCTION OF OBSERVATIONS IN ASRS

*Tretiakov I.A.*

This paper provides a justification for the use of special types of hidden Markov models, in particular with the density distribution function of observations in automated systems of scientific research. Models with continuous distribution density of observations and autoregressive distribution density of observations are considered. The procedure of revaluation for both types of hidden Markov models is described.

**Keywords:** ASRS, hidden Markov model, density function, re-estimation, autoregression, autocorrelation.

**Третьяков Игорь Александрович**

кандидат технических наук, заместитель декана по научной работе, доцент кафедры радиофизики и инфокоммуникационных технологий ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», Российская Федерация, 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 State University, Russian Federation, DPR, Donetsk.

УДК 81'322.2

## РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ И ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ МУЛЬТИЯЗЫЧНОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО АННОТИРОВАНИЯ ТЕКСТОВ РАЗНЫХ ЖАНРОВ

© 2023 Ермоленко Т.В., Бондаренко В.И., Пикалёв Я.С.

---

В статье приведено описание методов автоматического аннотирования текста: экстрактивного на основе Manifold Ranking и генеративных с использованием языковых моделей на базе архитектуры Transformer. Как показали численные исследования, качество аннотаций текстов художественного жанра, полученных с помощью квазиреферирования, сравнимо с аннотациями, сформированными современными языковыми моделями. По остальным жанрам наилучшее качество имеют аннотации, сгенерированные моделью GPT-3.

**Ключевые слова:** квазиреферат, Manifold Ranking, LSA, Transformer, seq2seq, BERT, GPT, BART.

---

**Введение.** Эффективные методы получения сжатого представления текстовых документов, т.е. реферат (аннотацию) приобретают особую важность в условиях экспоненциального роста объемов текстовой информации на разных языках и различных жанров. Автоматическое получение аннотации текстового документа позволит проводить быстрый поиск необходимых сведений и усовершенствовать процессы обработки данных и знаний в компьютерных системах и сетях.

Несмотря на то, что исследования в области моделирования процессов реферирования и аннотирования текстов продолжаются уже более 65 лет, проблема разработки формальных моделей для автоматического реферирования и аннотирования еще не решена, так как естественный язык характеризуется неоднозначностью, неограниченностью и чрезвычайно сложно поддается формализации.

Большинство разработок систем аннотирования носят экспериментальный характер, не многие существующие системы поддерживают славянские языки, генерируют некачественные рефераты и предполагают опору на знания. Сервисы реферирования ориентированы либо на узкую предметную область, либо требуют участия человека, хотя можно выделить системы, в которых сделана попытка использования знаний на основе онтологического подхода, например, для разрешения проблем омонимии. Таким образом, необходимо отметить, что в настоящее время переход от экспериментальных лабораторных исследований по созданию качественных рефератов к их использованию в решении прикладных задач реального мира до сих пор не произошел.

Данная работа посвящена решению проблем, связанных с автоматизацией процессов реферирования ЕЯ-текстов, повышению эффективности методов и алгоритмов автоматического реферирования текстовой информации, учитывающих нелинейную природу текста и позволяющих получать сжатое представление текстовых документов.

**Постановка задачи.** Целью данной работы является разработка алгоритмов автоматического формирования корректного по содержанию текста реферата и обеспечивающих эффективное решение задач автоматического реферирования текстов на разных языках в системах автоматической обработки текстовой информации.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:



1. Провести системный анализ современных методов автоматического реферирования с целью определения их преимуществ и недостатков, а также возможности использования в задаче генерации корректных рефератов текстов на разных языках.

2. Исходя из проведенного анализа современных технологий автоматического получения аннотации ЕЯ-текстов, выбрать метод представления текста и формирования его реферата.

3. Собрать находящиеся в открытом доступе текстовые данные и создать на их основе размеченные корпуса текстов и их рефератов на разных языках для обучения моделей и проверки эффективности их работы.

4. Реализовать разработанные модели и алгоритмы обработки ЕЯ-текстов и получения их рефератов в системе автоматического реферирования ЕЯ-текстов.

5. Провести экспериментальную проверку эффективности предложенных моделей и реализованных методов аннотирования для текстов разных жанров и на разных языках.

**Обзор методов автоматического реферирования.** Автоматическое реферирование – одна из сложнейших NLP-задач, поскольку методу реферирования необходимо «понимать» важность фрагментов оригинального документа, а при необходимости изменять оригинальные тексты. Даже для людей это нетривиальная задача, особенно когда дело касается реферирования нескольких документов одновременно.

Хорошее представление о состоянии исследований и разработок в области автоматического реферирования дают материалы ежегодных конференций, организованных за рубежом, самая известная из которых до недавнего времени была DUC (Document Understanding Conference) [1]. В рамках этой конференции проводилась сравнительная оценка методов реферирования отдельного документа на стандартном наборе данных. На сегодняшний день последние исследования в области автоматического реферирования обсуждаются на семинарах в рамках ежегодной конференции EMNLP (Empirical Methods in Natural Language Processing) [2].

На сегодняшний день принято выделять два основных подхода к автоматическому реферированию текстов по способу создания текста реферата:

– экстрактивный подход (квазиреферирование, sentence extraction), заключающийся в экстракции ключевых фраз и идей из исходного текста, которые в дальнейшем добавляются в реферат без каких-либо изменений в порядке их появления в тексте;

– абстрактивный (генеративный, summary generation) подход, использующийся для сокращения исходного текста путем его перефразирования, реферат состоит из новых предложений, которые обобщают и передают основную мысль исходного текста.

Недостатком генеративных методов является сложность их реализации, вызванная, до развития ЯМ на основе глубоких сетей, необходимостью синтаксического и семантического анализа, тем самым сильно ограничивая возможности синтеза текста на естественном языке. Экстрактивные методы автоматического реферирования без учителя являются статистическими и состоят из трех взаимосвязанных этапов: предварительная обработка текста, оценивание значимости его предложений, генерация реферата из значимых предложений. Эти методы просты в разработке и не требуют специальных лингвистических знаний, поэтому до недавнего времени вытеснили методы абстрактивного подхода.

**Экстрактивные методы автоматического реферирования.** Несмотря на многообразие задач, решаемых системами автоматического реферирования, общая структура этих систем остается неизменной. Выделяются три взаимосвязанных этапа:

- предварительная обработка текста, в ходе которой удаляются неинформативные слова (редкие, стоп-слова, либо какой-то перцентиль слов по частоте), выделяются термины путем стемминга или лемматизации и определяются границы предложений;
- взвешивание (оценивание) его элементов (слов, словосочетаний, предложений и др.);
- непосредственно генерация реферата.

Многие известные статистические методы реферирования базируются на подходе, предложенном Г. Луном [3] в 50-х годах прошлого века, который заключается в выделении в тексте частотных слов, вычислении весов предложений с помощью суммирования частот (весов) входящих в их состав слов и включения в реферат предложений с наибольшими весами.

Самый распространенный подход к вычислению весов слов – использовать в качестве веса слова в документе частоту или нормализованную частоту его встречаемости в данном документе. В большинстве систем реферирования, имеющих дело с набором документов, базовый вес слова в каждом документе вычисляется по формуле  $TF \cdot IDF$ . Эта метрика характеризует баланс между частотой появления термина в документе и частотой его появления в наборе документов (как правило, используется с другими метриками частоты и средствами нормализации длины), вычисляется следующим образом:

$$tf \cdot \log(D) / n = tf \cdot idf, \quad (1)$$

где  $tf$  – частота употребления слова в текущем документе,  $n$  – число документов, в которых содержится слово (термин),  $D$  общее число документов в наборе. Величина  $idf$  получила название инверсная частота термина (inverse document frequency).

При получении веса термина могут учитываться следующие атрибуты: присутствие слов в заголовке и подзаголовках документа, принадлежность слова к набору ключевых слов запроса и др.

Наиболее эффективным инструментом по ранжированию предложений на основе формального математического аппарата без спецификации конкретных средств по анализу естественно-языковых конструкций представляется метод ранжирования связных структур Manifold Ranking [4, 5], относящийся к статистическим методам. Этот метод может быть использован для ранжирования любых информационных примитивов: текстов, предложений, изображений, звуков. В этом случае любой вид информации должен быть представлен в векторном пространстве. В задачах автоматического аннотирования данный алгоритм может быть применен для ранжирования предложений набора документов и отбора наиболее значимых из них для включения в обзорный реферат.

Принцип автоматического реферирования набора документов на основе алгоритма пространственного ранжирования подробно описан в [6]. Этот метод относится к группе методов, использующих подходы к реферированию на основе предварительно проведенной тематической кластеризации документа.

Каждое предложение (объект) представляется в векторном пространстве следующим образом:  $x_i = (tfo, tf_1, \dots, tf_n)$ , где  $tf_k$  – стандартная  $TF \cdot IDF$  (1) мера веса термина  $t_k$ .

Набор предложений представляет собой взвешенный граф с матрицей весов  $W$ . Для каждой пары предложений  $x_i$  и  $x_j$  вычисляется  $W_{ij}$  – мера их «лексической близости» при помощи стандартной евклидовой меры или скалярного произведения векторов, причем  $W_{ii}=0$ . Евклидовы расстояния между объектами задаются в качестве весов дуг графа. Целью алгоритма является упорядочить объекты с учетом внутренних связей объектов между собой.

Для вычисления ранга каждого предложения вводится два понятия:

1) Информационная значимость, которая определяется как степень близости к полученной в результате кластеризации теме  $T$ . По заданному набору предложений  $X = \{x_i, 1 \leq i \leq n\}$  и теме  $T$  вычисляется вектор  $f = (f_0, \dots, f_n)$  информационной значимости каждого предложения  $x_i$ . Предполагается, что тема  $T$  формулируется одним предложением  $x_0$ , которое наиболее полно отражает содержание набора документов и содержит наиболее полный набор лексики (в задачах информационного поиска  $x_0$  соответствует фразе поискового запроса).

2) Информационная новизна, которая определяется как степень близости предложения с другими предложениями набора.

В итоге суммарный рейтинг, который определяет попадание предложения в обзорный реферат, рассчитывается с учетом, как информационной значимости предложения, так и его информационной новизны. Достигается это с помощью итеративного процесса, в результате которого вычисляется вектор  $f$ .

Наиболее весомые из упорядоченных по важности предложений-кандидатов попадают в реферат. Как правило они идут в том порядке, в котором встречались в тексте. В общем случае, для формирования итогового обзорного реферата документа или набора документов с помощью методов квазиреферирования необходимо выполнить следующее:

1) исключить из рассмотрения предложения, повторяющие по своему смыслу те, что уже попали в обзорный реферат, что особенно актуально для многодокументного аннотирования;

2) выполнить итоговую сортировку предложений с целью получения связного теста.

К нерешенным проблемам автоматического квазиреферирования можно отнести:

– отсутствие высокоточного алгоритма распознавания анафорических связей (при неправильном разрешении анафор добавляется избыточная информация в реферат или нарушается связность изложения);

– некоторую «неестественность» представления информации в реферате в результате неверного упорядочивания предложений при окончательном формировании обзорного реферата (например, когда в разных предложениях повторяется одно и тоже развернутое название объекта, а краткое название зачастую предшествует полному названию);

– низкую степень сжатия, в связи с тем, не выполняется обобщение информации путём замены конкретных слов на более общие понятия.

Альтернативным подходом, идентифицирующим семантически значимые предложения для создания реферата, является латентно-семантический анализ (Latent Semantic Analysis, LSA) [7].

В основе метода LSA лежит гипотеза о том, что между отдельными словами и обобщенным контекстом (предложениями, абзацами и целыми текстами), в которых они встречаются, существуют неявные (латентные) взаимосвязи, обуславливающие совокупность взаимных ограничений, которые в значительной степени позволяют

определить похожесть смысловых значений слов и множеств слов между собой при помощи статистической обработки больших наборов текстовых данных.

В качестве исходной информации LSA для автоматического аннотирования текста использует матрицу термы-на-предложения, описывающую используемый для обучения системы набор данных. Массиву предложений  $S = \{s_i, i=1, \dots, n\}$  ставится в соответствие матрица употребляемости  $A$  размером  $m \times n$ , строки которой соответствуют предложениям, а столбцы – весовым значениям термов (размер словаря термов –  $m$ ), т. е.  $A_{ij}$  представляет собой вес  $i$ -го слова в предложении  $s_j$ .

Предложения, входящие в реферат, получают понижением ранга матрицы  $A$  с помощью сингулярных разложений, в результате которого матрица  $A$  имеет вид:

$$A = U \cdot S \cdot V^T,$$

где  $U$  и  $V$  ортогональные матрицы размерности  $m \times r$  и  $r \times n$  соответственно, а  $S$  – диагональная квадратная матрица размерностью  $r \times r$ , диагональные элементы которой неотрицательны. Диагональные элементы матрицы  $S$  называют сингулярными значениями матрицы  $A$ .

Сингулярный вектор – строка матрицы  $V^T$ , – представляет характерную для документа тему, столбцы представляют предложения документа. Сингулярные вектора с наибольшими сингулярными значениями, будут соответствовать предложениям, входящим в реферат. Эти предложения наилучшим образом описывают темы документа и являются семантически независимыми [7].

Таким образом, каждое слово и текст представляются при помощи векторов в общем пространстве размерности  $r$  – пространстве гипотез. Сходство между любой комбинацией слов и/или текстов легко вычисляется при помощи скалярного произведения векторов. Как правило, выбор  $r$  зависит от поставленной задачи и подбирается эмпирически. Если выбранное значение  $r$  слишком велико, то метод теряет свою эффективность и приближается по характеристикам к стандартным векторным методам. Слишком маленькое значение  $r$  не позволяет улавливать различия между похожими словами или текстами.

С развитием аппарата глубоких нейросетей и языковых моделей (ЯМ) на их основе стало возможным эффективное решение большинства NLP-задач. ЯМ используются как для синтеза текста, поскольку способны генерировать текст, предсказывая текущую языковую единицу на основе предыдущих, так и для кодирования слов. Их применение для кодирования слов расширяет идеи векторного представления текста за счет изучения и получения контекстуальных репрезентаций из больших наборов данных, используя некоторую целевую задачу моделирования языка.

**Использование глубоких нейронных сетей в задачах языкового моделирования.** Задачей языкового моделирования является определение вероятности последовательности слов  $w = (w_1, w_2, \dots, w_m)$ . Методики глубокого обучения и применение рекуррентных нейросетей для обработки текстов существенно улучшают качество ЯМ за счет учета контекста и отсутствия ограничений на использование только  $n$  предыдущих слов.

На вход языковым моделям подаются не слова, а токены – результат разбиения текста на непересекающиеся подстроки.

Одной из проблем токенизаторов – неспособность сегментировать слова на значимые компоненты, что особенно значимо для языков, таких как немецкий, где слова часто составляются путем объединения многих независимых частей.

Другая серьезная проблема заключается в том, что не все языки разделяют слова на пробелы. Китайский и японский являются отличными примерами этого. Таким образом, эти языки требуют гораздо более сложных правил, что сильно увеличивает количество ошибок.

Существует класс алгоритмов, которые пытаются решить эти проблемы, обычно называемые методами токенизации подслов, ярким представителем этого класса является алгоритм Byte Pair Encoding (BPE) [8]. BPE был разработан, чтобы учитывать перечисленные выше недостатки. BPE делит слова на части. Таким образом получается избежать проблемы с тем, что модель не знает слов, которые не находятся в словаре обучающей выборки.

BPE – это восходящий алгоритм токенизации подслов, который изучает словарь подслов определенного размера (размер словаря является гиперпараметром). Основная идея заключается в следующем:

1. Разделяем все слова на символы. Каждый символ Unicode соответствует символу в окончательном словаре. Начиная с этого минимального словарного запаса, постепенно расширяемся.

2. Пока у нас еще есть место в словаре, делаем следующее:

- a. Находим самую распространенную пару символов.

- b. Объединяем эти символы, тем самым создавая новый символ и добавляем его в словарь. Это увеличивает размер словаря на единицу.

Рекуррентные нейронные сети совершили революцию в NLP и являются эффективным решением для большого количества задач анализа текста.

Рекуррентные нейронные сети (Recurrent Neural Networks, RNN) содержат соединения с предыдущими слоями (или другими персептронами того же слоя). Это позволяет использовать итерации для моделирования последовательности входных данных. RNN реализуются путем добавления «блоков памяти»; таким образом, состояния предыдущих циклов (вычисленные значения персептронов) учитываются в более поздних циклах в произвольных положениях. Наличие обратной связи наделяет RNN памятью, благодаря чему появляется возможность моделировать динамические процессы. В RNN [9] скрытый слой хранит всю предыдущую историю, таким образом, размер контекста неограничен.

Однако обучение RNN является сложной задачей из-за проблем, связанных с исчезающими и взрывными градиентами, появляющихся в результате применения стандартного алгоритма обучения нейросетей, алгоритма обратного распространения ошибки. Это приводит к тому, что долгосрочная информация (из предыдущих циклов) растёт экспоненциально, затирая кратковременную информацию, или исчезает. Для разрешения проблемы с исчезающими и взрывными градиентами [10] была предложена новая архитектура RNN, названная нейросетью с долговременно-кратковременной памятью (Long Short-Term-Memory, LSTM), содержащая специальные элементы, называемые блоками памяти. Блоки памяти содержат ячейки, которые хранят временное состояние сети, а также мультипликативные элементы, называемые гейтами (gates), управляющие потоком информации.

Методики глубокого обучения и применение рекуррентных нейросетей для обработки текстов существенно улучшают качество ЯМ за счет учета контекста и отсутствия ограничений на использование только  $n$  предыдущих слов. Дальнейшее развитие нейросетевой подход для решения NLP-задач получил в моделях Sequence-to-sequence (seq2seq).

Seq2seq – это модель, принимающая на вход последовательность элементов (слов, букв, признаков изображения и т.д.) и возвращающая другую последовательность элементов. Впервые эта парадигма была изложена в 2014 в статьях [11, 12].

Базовая seq2seq модель, как было представлено в [11], состоит из RNN: encoder (энкодер), которая обрабатывает входные данные, и decoder (декодер), которая генерирует данные вывода. Базовая архитектура изображена рисунке 1. Кодировщик вычисляет вектор, кодирующий входную последовательность. Далее данный вектор передается декодировщику, который в свою очередь по полученному скрытому представлению восстанавливает целевую последовательность, т.е. начальным скрытым состоянием декодировщика является последнее скрытое состояние кодировщика. При этом каждый посчитанный выход используется для обновления скрытого представления.

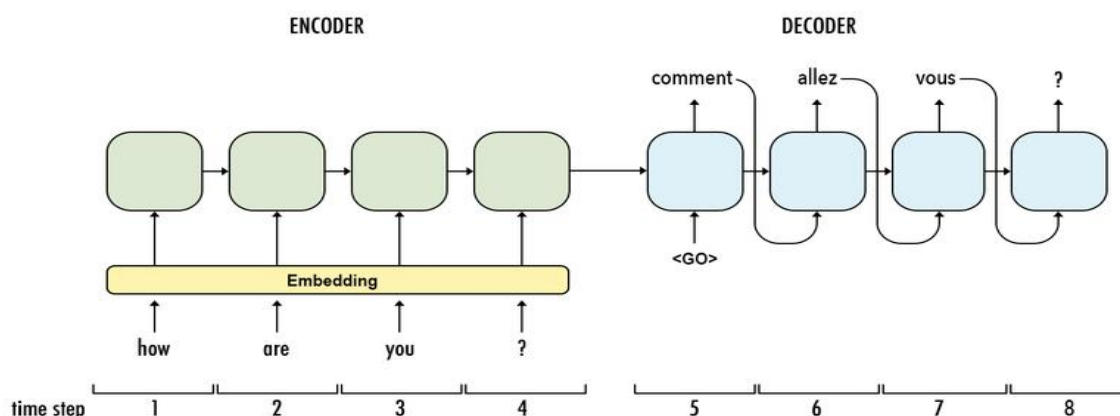


Рис. 1. Схема базовой архитектуры модели seq2seq

При обучении модели можно задать размер контекстного вектора – число скрытых нейронов (hidden units) в энкодере RNN.

По умолчанию в каждый временной отрезок RNN принимает на вход два элемента: непосредственно входной элемент (в случае энкодера, одно слово из исходного предложения) и скрытое состояние (hidden state). Слово представлено вектором с помощью ряда алгоритмов, которые называются «эмбединги слов» (word embeddings). Эти вектора несут семантическую информацию о словах, т.е. слова с одинаковым значением имеют сходное представление.

Начальная модель seq2seq не могла работать с длинными предложениями, поскольку контекстный вектор является «бутылочным горлышком» для такого типа моделей. Кодировщик сжимает все исходное предложение в один вектор, но это может быть очень сложно, поскольку количество возможных исходных предложений (а значит, и их значений) бесконечно. Помимо этого, декодер видит только одно представление источника, извлекая из него соответствующую информацию, хотя на каждом этапе генерации разные части исходного кода могут быть более полезными, чем другие.

Решение было предложено в 2015 году в статье [13], где была представлена техника, получившая название «механизм внимания» (attention). Механизмы внимания могут быть использованы для повышения производительности нейронных сетей, позволяя моделям концентрироваться на релевантных частях входных последовательностей. Его идея в том, чтобы на разных шагах декодировщика по-

разному взвешивать выходы кодировщика. При этом веса для этих выходов считаются на основе предыдущего выхода декодировщика и всех выходов кодировщика.

В модели seq2seq обработка в кодировщике и декодере выполняется с повторением или свертками. В 2017 году появилась новая архитектура, получившая название Transformer, которая работает, используя только внимание. Модель на порядок быстрее обучается и показывает более высокое качество машинного перевода, чем seq2seq с использованием RNN со слоем внимания.

Архитектура Transformer (рисунок 2), в отличие от начальных моделей seq2seq, не использует RNN, в качестве стандартных архитектур для энкодера и декодера Transformer использует полносвязные слои, а также и механизм многослойного обучающего внимания (multi-head attention) в энкодере [14].

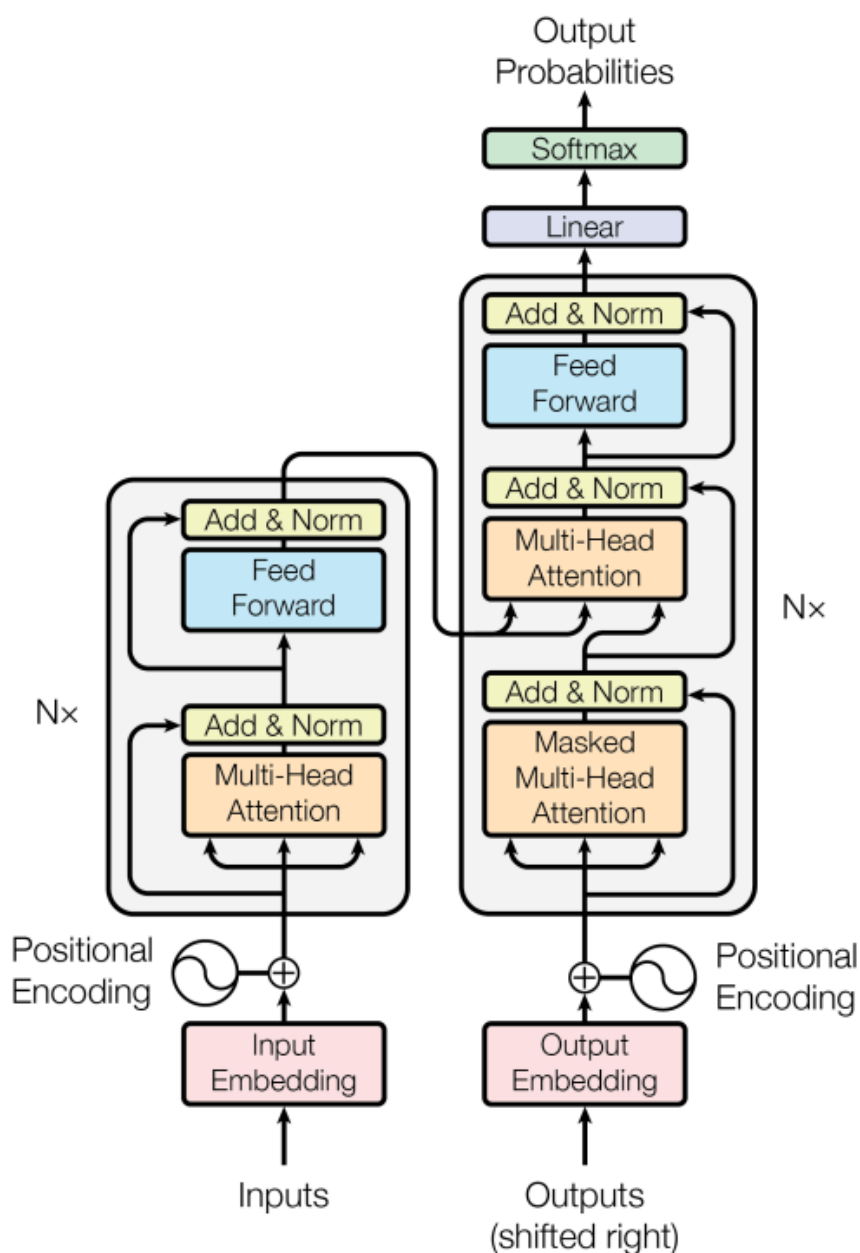


Рис. 2. Архитектура модели Transformer (энкодер – слева, декодер – справа) [14]

Multi-head attention – новый слой, который дает возможность каждому входному вектору взаимодействовать с другими через механизм внимания, вместо передачи скрытого состояния как в RNN.

Основными компонентами кодировщика и декодера являются модули внутреннего внимания и слои прямого распространения (Feed Forward Layers). Входы и выходы (целевые предложения) сначала встраиваются в  $n$ -мерное пространство. При этом важная часть модели – позиционное кодирование разных слов. Поскольку данная модель не использует рекуррентные сети, которые могут запомнить, как последовательности слов используются в модели, возникает необходимость присвоить каждому слову относительное положение, поскольку последовательность зависит от порядка ее элементов. Эти позиции добавляются к встроенному представлению ( $n$ -мерному вектору) каждого слова. Функцию внутреннего внимания при этом можно описать как отображение входа и набора пар ключ-значение на выход, где запрос, ключи, значения и выходные данные являются векторами. Выходные данные вычисляются как взвешенная сумма значений, где вес, присвоенный каждому значению, вычисляется функцией совместимости запроса с соответствующим ключом.

Основные преимущества модели:

- улучшенное моделирование дальних зависимостей слов;
- параллелизация методов в отличие от подходов на основе RNN, которые требуют последовательного вычисления.

Основные недостатки:

- сложность преобучения, присущая всем seq2seq моделям;
- механизм внимания работает с строками фиксированной длины, как следствие требует разбиений, что в некоторых случаях ведет к потере контекстной информации.

В основе парадигмы seq2seq лежит архитектура Encoder-Decoder, которая позволяет преобразовывать одну последовательность в другую, что открывает широкие возможности ее использования для получения абстрактного реферата.

Подход к абстрактной суммаризации на основе seq2seq концептуализирует эту задачу как задачу получения одной последовательности слов из другой, где кодировщик отображает последовательность токенов в исходном документе  $x = [x_1, \dots, x_n]$  в последовательность непрерывных представлений  $z = [z_1, \dots, z_n]$ , и декодер затем генерирует целевую сводку  $y = [y_1, \dots, y_m]$  токен за токеном авторегрессивным способом, таким образом моделируя условную вероятность:  $p(y_1, \dots, y_m | x_1, \dots, x_n)$ . Впервые предложили использовать эту модель для суммаризации текстов авторы [15].

Следует отметить, что для реферирования текстов нельзя остановить выбор на какой-либо одной модели. Суммаризация напрямую зависит от типа реферлируемого текста, различные категории текстов требуют подбора моделей, лучше приспособленных к работе с теми или иными специфическими их ограничениями, к которым относятся мультязычность, большой размер корпусов документов для аннотирования или, наоборот, короткие тексты, различные жанры текстов, для каждого жанра характерны свои особенности и структура текста, что сказывается на ЯМ, а следовательно, на векторном представлении текста.

В данной работе использованы:

- в качестве экстрактивного метода автоматического реферирования без учителя метод ранжирования связных структур, модифицированный с помощью LSA для понижения размерности признакового описания текста;



– ЯМ разных архитектур на базе Transformer для генерации текста реферата. Поскольку ЕЯ-тексты, подлежащие реферированию, могут быть на разных языках и разных жанров, со своими характерными особенностями изложения, то возникает необходимость исследовать применимость разных ЯМ для их суммаризации.

**Описание корпуса текстов и подготовка данных для обучения и тестирования алгоритмов и моделей системы автоматического реферирования текстов.** В рамках данной работы разрабатываются алгоритмы автоматического аннотирования для научного, новостного и художественного жанров. Для обучения системы сформирован текстовый корпус текстов этих жанров вместе с аннотацией, тексты взяты из открытых источников.

**Текстовый корпус научного жанра.** В качестве текстового корпуса для научного жанра используется набор данных STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics), предоставляемый Корнельским университетом [16], который состоит из 1.7 млн статей с соответствующими параметрами, такими как названия статей, авторы, категории, аннотации, полнотекстовые PDF-файлы и др. Данный набор данных представлен в виде файла json.

Для русского языка на настоящий момент еще не создано корпуса с разметкой научных текстов, поэтому для обучения и тестирования моделей была выполнена ручная разметка текстов, взятых из архива научного журнала «Молодой ученый» [17]. «Молодой ученый» – это рецензируемое издание открытого доступа, имеющее разделы, относящиеся к различным областям науки (технические, естественные, юриспруденция, экономические и т.п.).

Для создания корпуса научных текстов с их аннотациями использованы выпуски журнала с 2011 по 2021 гг. По каждой из категорий, приведенной в таблице 1, собрано по 100 текстов, содержащих не менее 50 предложений.

**Текстовый корпус новостного жанра.** В рамках данной работы использовались корпуса на русском и английском языках. Их характеристики приведены в таблице 1.

Таблица 1. Описание текстовых корпусов новостного жанра

Название корпуса	URL	Язык	Объем, Гб
TAIGA	<a href="https://tatianashavrina.github.io/taiga_site/">https://tatianashavrina.github.io/taiga_site/</a>	русский	2 Гб, 800 тыс. статей
Kaggle: All the news	<a href="https://www.kaggle.com/datasets/snapcrack/all-the-news">https://www.kaggle.com/datasets/snapcrack/all-the-news</a>	англ.	670 Мб 143 тыс. статей
Kaggle: CNN-DailyMail News Text Summarization	<a href="https://www.kaggle.com/datasets/gowrishankarp/newspaper-text-summarization-cnn-dailymail">https://www.kaggle.com/datasets/gowrishankarp/newspaper-text-summarization-cnn-dailymail</a>	англ.	1,37 Гб, 312 тыс. статей
GitHub - IlyaGusev/gazeta	<a href="https://github.com/IlyaGusev/gazeta/">https://github.com/IlyaGusev/gazeta/</a>	русский	667 Мб, 6 тыс. статей
Kaggle: Gazeta Summaries	<a href="https://github.com/RossiiaSegodnya/ria_news_dataset">https://github.com/RossiiaSegodnya/ria_news_dataset</a>	русский	4,16 Гб 1,05 млн. статей

**Текстовый корпус художественного жанра.** В качестве набора данных художественной литературы на языках романо-германской группы для обучения моделей используется набор данных из платформы Kaggle - 10k Books [18]. Этот набор состоит из более 10 тыс. книг (полный текст книги), полученных из Project Gutenberg [19], и связанных с ними жанров, извлеченных из GoodReads [20]. Жанры отфильтрованы, чтобы включать только стандартные теги жанров. Объем набора данных – 3.6 Гб.

Для набора данных художественных текстов на русском языке используется текстовый корпус RusLit, использующий формат txt (кодировка UTF-8) [21]. Набор представлен в виде набора папок с наименованиями по фамилии писателя с файлами текстов, чье название представлено в виде названия произведения автора; помимо этого директория каждого автора содержит метаданные, представленные в табличном формате.

Сформированный текстовый корпус имеет общий объем около 13 Гб.

**Разработка алгоритма квазиреферирования.** В разрабатываемой системе автореферирования необходимо реализовать методы экстрактивного и абстрактного подходов. Экстрактивный алгоритм для получения матрицы связей и ранжирования каждого предложения относительно всех тем сразу использует метод Manifold Ranking.

Поскольку явное описание тем и их векторное представление отсутствует, то для его получения используем LSA с помощью специальной библиотеки, которая формирует структуру с главными компонентами и собственными числами  $\lambda_1, \dots, \lambda_m$ . В структуре содержатся:

- вектора главных компонент;
- веса исходных переменных в главных компонентах;
- $\lambda_1, \dots, \lambda_m$  – упорядоченные по убыванию собственные числа матрицы ковариации векторов, описывающих объекты в признаковом пространстве;
- доли дисперсии, которые объясняют главные компоненты.

При сокращении размерности важно определить «правильное» число главных компонент  $N_T$ . Если это число слишком мало, то можно выделить не все информативные предложения, избыточное число главных компонент приводит к переоценке, т.е. к ситуации, когда добавляется несодержательная информация. В рамках данной работы остаются первые  $N_T$  компонент, которые в сумме объясняют более 75% дисперсии. В итоге получаем вектора главных компонент, т.е. описание тем в признаковом пространстве в виде матрицы  $V^T = (T_{-i_j})_{i=1, j=1}^{N_T, m}$ .

**Алгоритм взвешивания предложений.** Каждое предложение  $S_i$  документа и каждая тема  $T_j$  представимы в векторном пространстве размерностью  $m$ , где  $m$  – количество терминов в словаре:

$$\overline{S}_i = \{s_i^k \mid 1 \leq k \leq m\}, \overline{T}_i = \{T_{-j_k} \mid 1 \leq k \leq m\},$$

где  $s_i^k$  – частота встречаемости термина  $t_k$  из словаря термов.

Строится матрица

$$\rho(S_i, T_i) = \text{Sim}(\overline{S}_i, \overline{T}_i) = \frac{\overline{S}_i \cdot \overline{T}_i}{\|\overline{S}_i\| \cdot \|\overline{T}_i\|}.$$

Элемент матрицы  $\rho(S_i, T_j)$  отражает степень близости предложения  $S_i$  к теме  $T_j$ . Такая реализация предполагает нахождение сразу целого вектора ранжирования всех предложений  $S_i$  относительно каждой из тем  $T_j$ , полученных в результате LSA. Структурой предложения  $S_i$  будем считать  $i$ -тую строку матрицы  $\rho$ , которая является вектором размерности  $N\_T$ :

$$\rho(i) = (\rho(S_i, T_1), \rho(S_i, T_2), \dots, \rho(S_i, T_{N\_T}))$$

По аналогии с методом Manifold Ranking для нахождения меры близости предложений  $S_i$  и  $S_j$  введем матрицу связей, определяющую вес их «лексической близости» при помощи стандартной евклидовой меры:

$$W_{i,j} = \text{Sim}(\rho(i), \rho(j)).$$

Матрица  $W$  подвергается симметричной нормализации;

$$S = D^{-1/2} \cdot W \cdot D^{-1/2},$$

где  $D$  – диагональная матрица, причем ее диагональный элемент  $D_{i,i}$  равен сумме элементов  $i$ -ой строки матрицы  $W$ .

**Алгоритм генерации текста реферата.** Алгоритм заключается в усечении схожих предложений и аналогичен тому, что использует метод Manifold Ranking. На каждой его итерации выполняется:

- исключение из рассмотрения предложения, начинающихся с анафоры;
- исключение из рассмотрения предложения, повторяющие по своей структуре те, что уже попали в обзорный реферат;
- пересчет значений рангов предложений.

Для задачи внесения в итоговый ранг фактора «информационной новизны» используется следующий алгоритм:

Шаг 1. Инициализация.

1.1. Множество  $A = \emptyset$ .

1.2. Множество  $B = \{S_i\}$ ,  $i=1, \dots, N\_P$ , где  $N\_P$  – количество всех предложений документа.

1.3. Для каждого предложения из множества  $B$  текущий ранг принимается равным  $\text{RankScore} = \|\rho(i)\|$ .

2. Предложения множества  $B$  сортируются в соответствии с их текущим рангом в порядке убывания.

3. Полагая, что предложение  $S_i$  имеет наивысший ранг, оно перемещается из  $B$  в  $A$ . Ищется максимальная компонента вектора  $\rho(i)$ :  $k = \arg \max_i \rho(i)$

Для оставшихся в  $B$  предложений  $S_j$ , для которых  $\rho_k(j) \neq 0$ , ранг рассчитывается как

$$\text{RankScore}(S_j) = \text{RankScore}(S_j) - \tilde{S}_{ji} \text{RankScore}(S_j), \tilde{S} = D^{-1} \cdot W.$$

4. Шаги 2, 3 повторяются, пока  $B$  не станет пустым.

В итоге во множество  $A$  представляет собой упорядоченную по информативности и уникальности последовательность предложений документа, первые  $N$  предложений этой последовательности войдут в сводный реферат, где  $N$  – параметр, указанный пользователем.

Подобная организация алгоритма отбора предложений в реферат обеспечивает связность полученного реферата, поскольку при отборе каждого последующего предложения учитывается связанность с предыдущим некоторой общей темой. Кроме того, обеспечивается уникальность каждого предложения, поскольку учитывается связанность каждого последующего при отборе предложения с некоторой новой темой, отличной от предыдущей.

Развитие глубоких нейросетей сделало абстрактивную автоматическую суммаризацию намного более лёгкой задачей. Методики глубокого обучения, применение моделей seq2seq с механизмом внимания для обработки текстов существенно улучшают качество ЯМ за счет учета контекста и отсутствия ограничений на использование только  $n$  предыдущих слов. Для реализации методов абстрактивного подхода в рамках данной работы предлагается использовать ЯМ на базе Transformer, а также ВРЕ-токенизацию. В частности, три модели разной архитектуры:

- на основе стека Transformer Decoder Block – BERT;
- на основе стека Transformer Encoder Block – GPT-3;
- полноценная seq2seq модель – BART.

**Языковые модели для генерации текста аннотации на базе Transformer.** Для ВРЕ-токенизации в данной работе использовались следующие индексы для особых меток:

- <MASK> – замаскированный токен,  $id=size\_voc + 1$ ;
- <NUM> – токен для маскирования чисел и цифровых частей цифро-буквенных комплексов;  $id=size\_voc + 2$ ;
- <UNK> –  $id=1$
- <BOS> – начало фразы  $id=2$ ;
- <EOS> – конец фразы,  $id=3$ ;
- <PAD> – токен паддинга, как правило нулевые значения для заполнения вектора до размера  $N$ ,  $id=4$ .

Дополнительно словарь слов дополняется единичными символами нижнего и верхнего регистра русского и латинского алфавита. Полученные словари сохраняются на дисковом пространстве, формируются файлы для конвертации токенов в индексы, а также для конвертации индексов в токены.

Итоговый объем словаря ВРЕ-токенов составляет 30002 токена.

BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers), которая представляет собой нейронную сеть, состоящую из композиции кодировщиков Transformer. BERT является автокодировщиком. В каждом слое кодировщика применяется двустороннее внимание, что позволяет модели учитывать контекст с обеих сторон от рассматриваемого токена, а значит, точнее определять значения токенов [22, 23].

Модель BERT-base состоит из 12 слоёв энкодера, а BERT-large – из 24. Сложность модели растёт экспоненциально с ростом количества слоёв. Они также имеют более крупные слои сети прямого распространения (768 и 1024 скрытых нейронов соответственно) и больше «голов» внимания (12 и 16 соответственно).

BERT принимает на вход последовательность слов, которая затем продвигается вверх по стеку энкодеров. Каждый слой энкодера применяет внутреннее внимание (self-attention) и передает результаты в сеть прямого распространения, после чего направляет его следующему энкодеру.

Алгоритм кодирования последовательности токенов в BERT:

1. В начало первой фразы вставляется токен [CLS]. В конец каждой из фраз вставляется токен [SEP].

2. Представление исходного токена (token embeddings): эмбединги токенов в BERT обучаются непосредственно из представления словаря, например, для словаря размером в  $V = 30$  тыс. и размером векторного представления  $E = 100$  матрица будет иметь размерность  $100 \times 30\,000$ . Для каждого токена его эмбединг представляет собой вектор размерностью  $hidden\_size$  (768 в базовой модели BERT).

3. Позиционное кодирование (position embeddings): к каждому вектору исходного токена добавляется позиционный эмбединг, чтобы указать его положение в последовательности.

4. Сегментное кодирование (segment embeddings): к каждому вектору, полученному в результате выполнения шагов 1-3, добавляется эмбединг фразы, обозначающий Фразу А или Фразу В, эти эмбединги по своей концепции аналогичны эмбедингам токенов со словарем из двух элементов.

В отличие от рекуррентных сетей архитектура Transformer не чувствительна к порядку входных токенов, то есть даже если перемешать слова местами, то выходы будет получаться всё равно одинаковым. Однако в языке порядок слов критически важен, поэтому его нужно учитывать. Механизм positional encoding позволяет трансформерам «видеть» порядок входных токенов, кодируя позиции слова внутри эмбединга.

В качестве декодировщика в BERT используется случайно инициализированный Transformer из 6 слоёв. При этом приходится учить кодировщик и декодировщик с разными оптимизаторами из-за того, что у них разное количество слоёв и разная инициализация. Описанная архитектура представлена на рисунке 3.

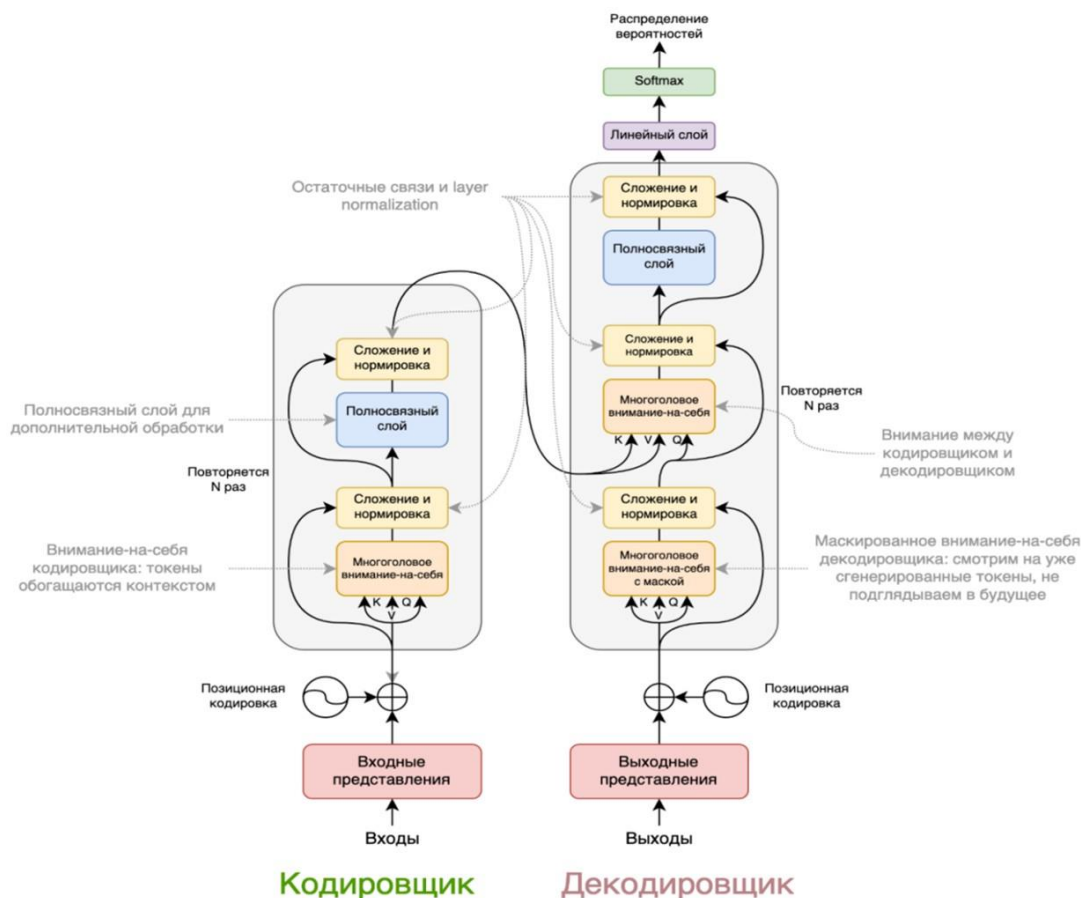


Рис. 3. Архитектура BERT

Общий подход, который использует поколение GPT (Generative Pretrained Transformer), подпадает под категорию полуконтролируемого обучения (semi-supervised) [24, 25] и состоит из компонента без учителя и компонента с учителем. Они следующие:

1. Компонент без учителя – предобучение, pretraining, использует неразмеченный корпус токенизированного текста для инициализации весов, с которой можно начать обучение для конкретной задачи.

2. Компонент с учителем – тонкая настройка, fine tuning, использует размеченный корпус текста, специально предназначенного для конкретной языковой задачи, такой как обобщение, классификация текста или анализ тональности.

Transformer, являясь классической моделью seq2seq, состоит из энкодера и декодера [24]. Модификация этой архитектуры, представляющая собой GPT-1, является стеком 12 одинаковых декодеров (Transformer Decoder Block), схема Transformer Decoder Block представлена на рисунке 4.

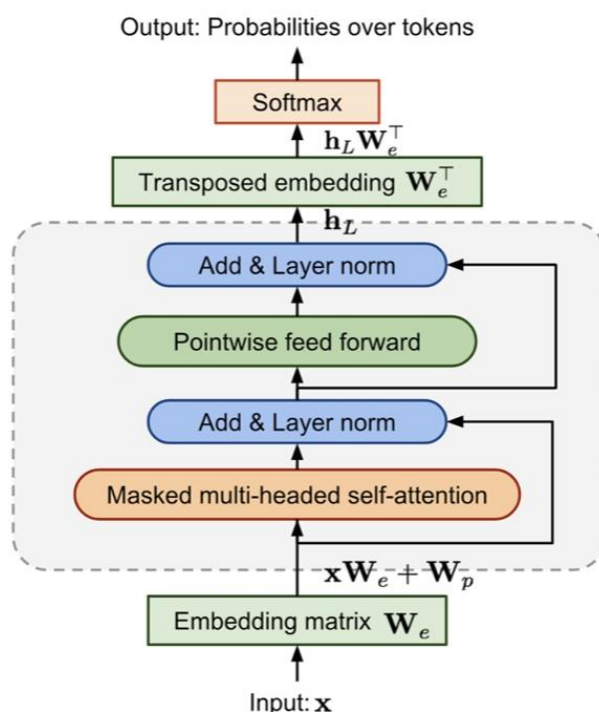


Рис. 4. Схема декодера архитектуры Transformer, используемого в GPT

Схематично, генерация текста с помощью GPT происходит следующим образом.

1. Входной текст токенизируется в последовательность чисел (токенов).
2. Список токенов проходит через Embedding Layer (линейный слой) и превращается в список эмбеддингов.
3. К каждому эмбеддингу прибавляется positional embedding, т.е. по аналогии с BERT, выполняется позиционное кодирование.
4. Далее вектор эмбеддингов проходит через стек одинаковых блоков декодеров (Transformer Decoder Block).
5. После того, как вектор эмбеддингов пройдет через последний блок, эмбеддинг, соответствующий последнему токenu матрично умножается на всё тот же входной, но уже транспонированный Embedding Layer и после применения SoftMax получается распределение вероятностей следующего токена.

6. Из этого распределения выбирается следующий токен (например, с помощью функции `argmax`).

7. Выбранный токен добавляется ко входному тексту и повторяются шаги 1-6.

В качестве `positional encoding` в GPT используется кодирование позиции в виде вектора, который прибавляется к эмбедингу токена.

Первая версия модели GPT, GPT-1, состояла из 12 слоёв и была обучена на 7000 книг. Максимальный размер контекста у GPT-1 – 512 токенов. Дальнейшие поколения GPT архитектурно не сильно отличаются от GPT-1, обновление осуществлялось добавлением Transformer Decoder Block и увеличением объема обучающих данных.

Модель GPT-2 в 10 раз больше, чем GPT-1: 48 слоёв ~ 1.5B параметров, более того, эта модель обучена на огромном объёме данных (к книгам добавили 8 миллионов сайтов), составляющем около 40 Гб текста. Максимальный размер контекста у GPT-2 – 1024 токенов.

В свою очередь, GPT-3 в 10 раз больше, чем GPT-2 и имеет 175B параметров, обучена эта модель на 570 Гб текста, из архитектурных изменений – оптимизация attention-слоя. Максимальный размер контекста у GPT-3 – 2048 токенов.

BART – seq2seq Transformer, который предобучается реконструкции испорченного зашумлённого текста [26]. На входе у модели зашумленный текст, а на выходе модель генерирует его оригинальную версию.

Текст зашумляется следующим образом:

1. Маскировка токенов (аналогично BERT) Случайные токены заменены масками, а документ кодируется двунаправленно. Отсутствующие токены прогнозируются независимо, поэтому BERT не может быть легко использоваться для генерации.

2. Удаление токенов.

3. Маскировка нескольких подряд идущих токенов одной маской.

4. Перемешивание предложений.

5. «Вращение» документа относительно случайного токена: этот токен помещается в начало документа, а всё, что было до него – в конец.

Важно, что в отличие от BERT, эта модель сразу предобучается на генерации текста, и поэтому лучше подходит для автоматического реферирования. Наличие в задачах предобучения перемешиваний предложений и «вращений» документов также помогает при дальнейшем дообучении.

Модель BART выбрана, поскольку ее многоязычная версия mBART [27] предобучалась на многоязычном корпусе, в котором русский язык второй по степени представленности после английского. Это позволяет использовать модель для автоматического реферирования на русском языке.

Важной причиной успеха BERT является большой объем данных и обильные вычислительные ресурсы. В данных обучения используются данные английского корпуса с открытым исходным кодом BooksCorpus и английской Википедии с общим объемом 3,3 миллиарда слов. Многоязычный BERT обучен на сегментах Википедии для 104 языков, включая русский, и размер его словаря составляет примерно 120 тысяч сабтокенов.

Российские разработчики компании SberDevices адаптировали модели GPT-3 (ruGPT3XL, ruGPT3Large, ruGPT3Medium, ruGPT3Small) под русский язык и обучили их на более чем 600 Гб открытых данных, включая корпус русской литературы, новостные сайты и публичные разделы Pikabu, русскую и английскую «Википедию», программный код, корпус Omnia Russica. Поэтому для обработки текстов на русском языке будет использоваться тонкая настройка предобученной ЯМ ruGPT3Small.

Реализация предложенных алгоритмов и ЯМ в единой системе позволит провести численные исследования с целью анализа эффективности каждой из них в задаче автоматического построения аннотации и выявить наиболее перспективные.

**Среда разработки и используемые программные библиотеки.** Для реализации глубоких нейросетевых моделей использован облачный сервис Google Colaboratory [28] для обучения через GPU.

Для реализации ЯМ и алгоритма квазиреферирования использовались следующие библиотеки.

1. Tensorflow 2 – открытая программная библиотека для машинного обучения, разработанная компанией Google для решения задач построения и тренировки нейронной сети с целью автоматического нахождения и классификации образов. В работе используется для реализации архитектур нейронных сетей, а также их обучения и тестирования.

2. Keras (версия 2.3) – надстройка над библиотекой TensorFlow, которая нужна для машинного обучения. TensorFlow выполняет все низкоуровневые вычисления и преобразования и служит своеобразным движком, математическим ядром. Keras же управляет моделями, по которым проходят вычисления.

3. Scikit Learn – библиотека машинного обучения на языке программирования Python с открытым исходным кодом. Содержит реализации практически всех возможных преобразований, в ней реализованы методы разбиения массива данных на тестовый и обучающий, вычисление основных метрик над наборами данных, а также основные алгоритмы машинного обучения, включая LSA. В работе используется для оценки качества моделей и реализации LSA в алгоритме квазиреферирования.

4. Dask DataFrame – фреймворк для параллельных вычислений на основе кластеров; данная библиотека взаимодействует с структурами данных, реализованных в NumPy, Pandas, и Scikit Learn. В работе используется для предварительной обработки, формирования выборки, и ее деления на обучающую и тестовую.

5. Gin Config – библиотека, позволяющая формировать конфигурации для классов и структур данных, помимо этого, содержит интеграцию с Tensorflow 2. В работе используется для хранения и инициализации метаданных, в том числе для формирования токенизатора, нейросетевых архитектур, а также их обучения.

6. Matplotlib – библиотека, предназначенная для визуализации данных. В работе используется для визуализации результатов обучения и тестирования.

7. Natural Language Toolkit (NLTK) – библиотека для обработки текста, необходимой в алгоритме квазиреферирования, позволяющая разделения текста на предложения и отдельные слова, удалит стоп-слова, получить леммы и посчитать вес слов предложения.

**Обучение языковых моделей.** Параметры архитектур используемых моделей (BertSumAbs, GPT-2, BART) следующие:

- Размер входной последовательности: 128;
- Размер словаря токенов: 30002;
- Размер векторного представления: 128;
- Размер скрытого слоя: 256 (для BertSumAbs и BART);
- Количество скрытых слоёв: 3 (для BertSumAbs и BART);
- Количество блоков в многослойном внимании: 3;
- Размер полносвязного слоя: 128;
- Dropout в скрытых слоях: 0;
- Dropout в слоях с вниманием: 0;



- Метод инициализации весовых коэффициентов: усеченное нормальное распределение;

- Коэффициент нормализации:  $1e-12$ .

Отсутствие dropout хоть и ненамного снижает скорость обучения, но значительно повышает точность модели [29].

Гиперпараметры обучения:

- Размер пакета для обучающих данных: 64;
- Размер пакета для тестовых данных: 16;
- Коэффициент изменения весов: 0.01;
- Параметры оптимизатора:  $\beta_1 = 0.9$ ;  $\beta_2 = 0.999$ ;  $\varepsilon = 1e-6$ ;
- Начальный коэффициент скорости обучения: 0.00176;
- Количество кластеров для накопления градиента: 4;
- Коэффициент нормализации градиента: 1.0.

Обучение каждой мультиязычной модели заняло 30 эпох.

Основная метрика, используемая при оценке таких ЯМ, является показатель потерь для маскированных языковых моделей (masked language model loss):

$$L_{mlm} = \frac{\sum_{i=0}^N y_i}{N}, \quad y_i = \text{softmax}(W_v \cdot h_i),$$

где  $W_v \in R^{|V| \times d_h}$  – весовые коэффициенты токенов из словаря,  $h$  значения тензора их последнего слоя ЯМ,  $d_h$  – размерность последнего слоя.

Графики зависимости masked language model loss от количества эпох обучения у всех реализованных моделей практически совпадают. На рисунке 5 приведен график  $L_{mlm}$  для модели GPT-2.

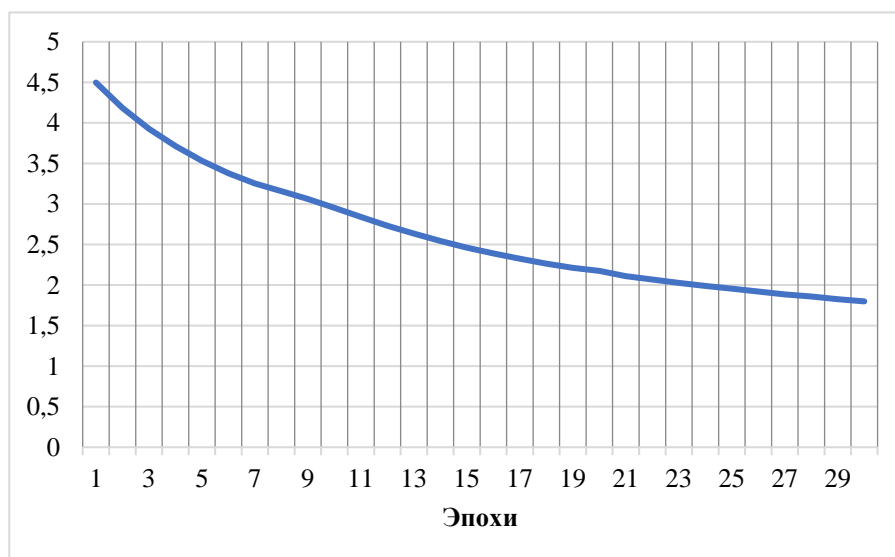


Рис. 5. Зависимость masked language model loss от количества эпох для модели GPT-3

Для настройки скорости обучения (learning rate, LR) в зависимости от количества эпох использовался метод StepLR, реализованный в Tensorflow, который умножает скорость обучения на  $\eta$  через каждые  $step\_size$  эпох. На рисунке 6 показана зависимость LR от количества эпох при  $\eta=0.00001$ ,  $step\_size=5$ .

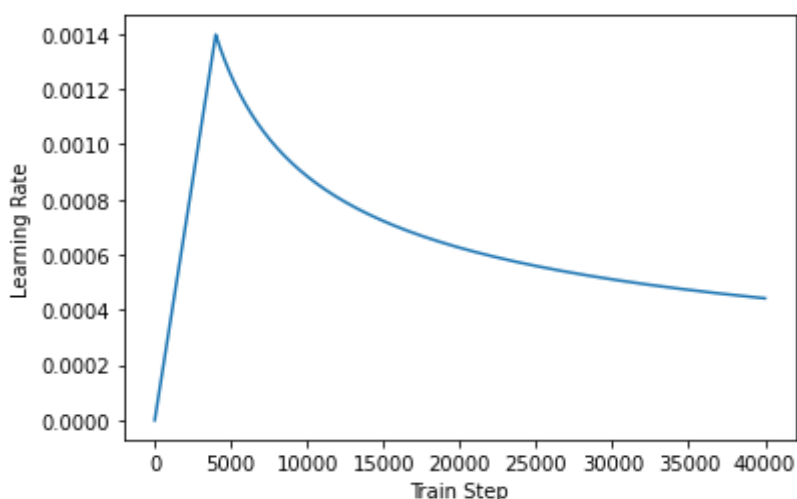


Рис. 6. Зависимость скорости обучения от количества эпох

Как видно из рисунка 6, LR снизился после 5 эпохи, когда показатель перестал улучшаться. Модели часто выигрывают от снижения скорости обучения в 2-10 раз, когда обучение стагнирует.

Оценка эффективности мультязычной системы автоматического аннотирования текста различных жанров. Для оценки эффективности мультязычной системы автоматического реферирования текста необходимо решить задачу автоматического вычисления сходства между аннотацией, составленной человеком и содержащейся в текстовом корпусе, сформированном для обучения и тестирования системы, и аннотацией, полученной методами, реализованными в системе (квазиреферативными или генеративными). Для этого необходимо получить векторное представление аннотаций и выбрать метрику схожести.

В рамках данного исследования для векторизации документа, представляющего собой аннотацию, выбран метод TF-IDF (1), при этом в качестве коллекции документов в случае сравнения двух аннотаций рассматривается множество из этих аннотаций, т.е.  $|D| = 2$ , а в качестве метрики сходства двух векторов – косинусная мера (рис. 7).

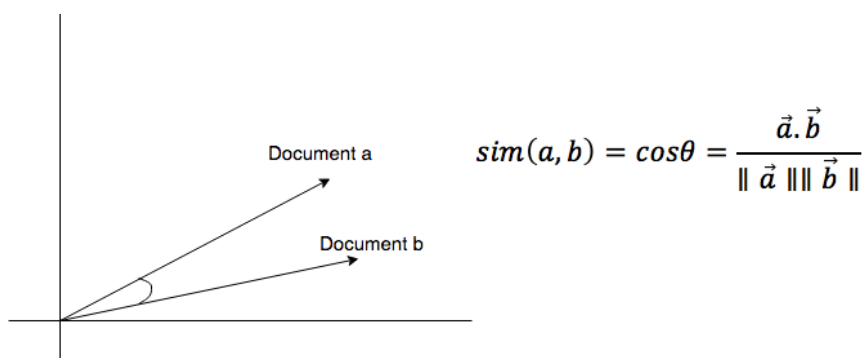


Рис. 7. Оценка сходства текстовых документов по косинусной мере

Для анализа качества аннотаций, полученных с помощью реализованных в системе ЯМ и метода квазиреферирования, оценивались аннотации русских и английских текстов (200 текстов, по 100 на каждом языке), принадлежащих разным жанрам. Результаты сведены в таблицу 2, где приведены усредненные значения меры сходства по каждому из жанров.

Таблица 2. Оценки качества аннотаций, сгенерированных языковыми моделями, а также квазиреферированием, по косинусной мере

Жанр	BERT	GPT-3	BART	Квазиреферат
Научный	0.77	0.86	0.81	0.31
Новостной	0.76	0.83	0.86	0.63
Художественный	0.74	0.80	0.75	0.76

Как видно из таблицы, качество аннотаций текстов художественного жанра, полученных с помощью предложенного метода квазиреферирования, сравнимо с аннотациями, сформированными современными ЯМ. При этом экстрактивный метод требует значительно меньше ресурсов по сравнению с генеративными, использующими глубокие ЯМ, которым для обучения необходимы размеченные текстовые корпуса больших объемов. По остальным жанрам генеративные методы значительно опережают экстрактивные. Наилучшее качество по всем жанрам имеют аннотации, сгенерированные GPT-3.

**Выводы.** В результате проведенных исследований в области автоматического аннотирования текстов можно сделать следующие выводы:

1. Экстрактивные методы автореферирования просты в реализации, не требуют специальных лингвистических знаний, но при их использовании возникает проблема анафорических связей, «неестественность» представления информации в реферате в результате неверного упорядочивания.

2. С развитием аппарата глубоких нейросетей для синтеза текста аннотации получили широкое применение методы абстрактного подхода, использующие ЯМ, генерирующие текст реферата. Однако, для качественного генерирования текста моделям требуется большой размеченный текстовый корпус для обучения, и за рамками предметной области этого корпуса они уже плохо работают.

3. Модели seq2seq с механизмом внимания существенно улучшают качество ЯМ за счет учета контекста и отсутствия ограничений на использование только  $n$  предыдущих слов. Наиболее эффективной современной архитектурой ЯМ является Transformer, моделирующая дальние зависимости слов за счет многослойного внимания.

4. Для обучения и тестирования моделей мультязычной системы автоматического реферирования текста разных жанров собран датасет из открытых источников на разных языках объемом около 13 Гб. Тексты принадлежат трем широким классам жанров: новостной; художественный и научный.

5. В мультязычной системе автоматического реферирования текстов реализованы методы как экстрактивного, так и абстрактного подходов. Экстрактивный алгоритм использует метод Manifold Ranking, абстрактные методы – VPE-токенизацию и ЯМ на базе архитектуры Transformer (на основе стека Transformer Decoder Block – BERT; на основе стека Transformer Encoder Block – GPT-3; полноценная seq2seq модель – BART).

6. Предложенный алгоритм квазиреферирования формирует связный текст реферата за счет представления структуры предложения, отражающей не одну тему, а набор тем, неявное описание которых извлекается с помощью LSA. Такое представление позволяет осуществлять последовательный отбор предложений, наиболее полно отражающих этот набор тем, для включения их в реферат и улучшать:

- связность полученного реферата, поскольку при отборе каждого последующего предложения учитывается связность с предыдущим предложением некоторой общей темой;

- уникальность каждого предложения, поскольку учитывается связанность каждого последующего при отборе предложения с некоторой новой темой, отличной от предыдущей.

7. Для оценки качества полученных системой аннотаций использована косинусная мера сходства TF-IDF-векторов текстов рефератов. Как показали экспериментальные исследования, качество аннотаций текстов художественного жанра, полученных с помощью квазиреферирования, сравнимо с аннотациями, сформированными современными ЯМ. По остальным жанрам генеративные методы значительно опережают экстрактивные. Наилучшее качество имеют аннотации, сгенерированные GPT-3, более 0.8.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Document Understanding Conferences [Электронный ресурс]. – URL: <http://duc.nist.gov> (дата обращения: 30.03.2023).
2. The 2022 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing [Электронный ресурс]. – URL: <https://2022.emnlp.org/> (дата обращения: 30.03.2023).
3. Luhn, H. The automatic creation of literature abstracts / H. Luhn // IBM Journal of Research and Development. – V. 2(2). – 1958. – P. 159–165.
4. Ranking on data manifolds [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Ranking-on-Data-Manifolds-Zhou-Weston/429eb35f06a90892a9595545d18e46ddfe981152> (дата обращения: 30.03.2023).
5. Manifold-Ranking Based Topic-Focused Multi-Document Summarization [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Manifold-Ranking-Based-Topic-Focused-Multi-Document-Wan-Yang/8049c72cba1403d8c6297aea71493e1d8efd2758> (дата обращения: 30.03.2023).
6. Тарасов, С. Д. Автоматическое составление обзорных рефератов новостных сюжетов / С. Д. Тарасов // Труды 10-й Всероссийской научной конференции «Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции». – RCDL'2008, Дубна, Россия, 2008. – С.171-176.
7. Generic text summarization using relevance measure and latent semantic analysis [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Generic-text-summarization-using-relevance-measure-Gong-Liu/118605693bb5c1846915e967fdb8383ecac13c70> (дата обращения: 30.03.2023).
8. Neural Machine Translation of RareWords with Subword Units [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.aclweb.org/anthology/P16-1162> (дата обращения: 30.03.2023).
9. Recurrent neural network based language model [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Recurrent-neural-network-based-language-model-Mikolov-Karafi%3%A1t/9819b600a828a57e1cde047bbe710d3446b30da5> (дата обращения: 30.03.2023).
10. LSTM neural networks for language modeling [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/LSTM-Neural-Networks-for-Language-Modeling-Sundermeyer-Schl%3BCter/f9a1b3850dfd837793743565a8af95973d395a4e> (дата обращения: 30.03.2023).
11. Sequence to Sequence Learning with Neural Networks [Электронный ресурс]. – URL: [http://proceedings.neurips.cc/paper\\_files/paper/2014/file/a14ac55a4f27472c5d894ec1c3c743d2-Paper.pdf](http://proceedings.neurips.cc/paper_files/paper/2014/file/a14ac55a4f27472c5d894ec1c3c743d2-Paper.pdf) (дата обращения: 30.03.2023).
12. Learning Phrase Representations using RNN Encoder–Decoder for Statistical Machine Translation [Электронный ресурс]. – URL: <http://emnlp2014.org/papers/pdf/EMNLP2014179.pdf> (дата обращения: 30.03.2023).
13. Neural Machine Translation by Jointly Learning to Align and Translate [Электронный ресурс]. – URL: <https://arxiv.org/abs/1409.0473> (дата обращения: 30.03.2023).
14. Attention is all you need [Электронный ресурс]. – URL: <https://arxiv.org/abs/1706.03762> (дата обращения: 30.03.2023).
15. Abstractive Text Summarization Using Sequence-to-Sequence RNNs and Beyond [Электронный ресурс]. – URL: <https://arxiv.org/abs/1602.06023> (дата обращения: 30.03.2023).
16. arXiv Dataset [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.kaggle.com/Cornell-University/arxiv> (дата обращения: 30.03.2023).
17. Архив журнала «Молодой учёный» [Электронный ресурс]. – URL: <https://moluch.ru/archive/> (дата обращения: 30.03.2023).

18. 10,000 Books and Their Genres [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.kaggle.com/datasets/michaelrussell4/10000-books-and-their-genres-standardized> (дата обращения: 30.03.2023)
19. Project Gutenberg [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.gutenberg.org/> (дата обращения: 30.03.2023).
20. Goodreads [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.goodreads.com/> (дата обращения: 30.03.2023).
21. GitHub: A small collection of Russian literature [Электронный ресурс]. – URL: <https://github.com/d0rj/ruslit> (дата обращения: 30.03.2023).
22. Bert: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding [Электронный ресурс]. – URL: <https://arxiv.org/abs/1810.04805> (дата обращения: 30.03.2023).
23. A lite bert for self-supervised learning of language representations [Электронный ресурс]. – URL: <https://arxiv.org/abs/1909.11942> (дата обращения: 30.03.2023).
24. Improving Language Understanding by Generative Pre-Training [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.cs.ubc.ca/~amuham01/LING530/papers/radford2018improving.pdf> (дата обращения: 30.03.2023).
25. Language Models are Unsupervised Multitask Learners [Электронный ресурс]. – URL: [http://d4mucfpksyv.cloudfront.net/better-language-models/language\\_models\\_are\\_unsupervised\\_multitask\\_learners.pdf](http://d4mucfpksyv.cloudfront.net/better-language-models/language_models_are_unsupervised_multitask_learners.pdf) (дата обращения: 30.03.2023).
26. BART: Denoising Sequence-to-Sequence Pre-training for Natural Language Generation, Translation, and Comprehension [Электронный ресурс]. – URL: <https://arxiv.org/abs/1910.13461> (дата обращения: 30.03.2023).
27. Multilingual Denoising Pre-training for Neural Machine Translation [Электронный ресурс]. – URL: <https://arxiv.org/abs/2001.08210> (дата обращения: 30.03.2023).
28. Colaboratory [Электронный ресурс]. – URL: <https://colab.research.google.com/> (дата обращения: 30.03.2023).
29. DistilBERT, a distilled version of BERT: smaller, faster, cheaper and lighter [Электронный ресурс]. – URL: <https://arxiv.org/abs/1910.01108> (дата обращения: 30.03.2023).

*Поступила в редакцию 20.04.2023 г., рекомендована к печати 15.05.2023 г.*

#### DEVELOPMENT OF ALGORITHMS AND LANGUAGE MODELS FOR A MULTI-LANGUAGE SYSTEM OF AUTOMATIC SUMMARY OF TEXTS OF DIFFERENT GENRES

*Ermolenko T.V., Bondarenko V.I., Pikalev I.A.S.*

The article describes methods for automatic text annotation: extractive based on Manifold Ranking and generative using language models based on the Transformer architecture. Numerical studies have shown that the quality of annotations of fiction texts obtained with the help of quasiabstract is comparable to annotations formed by state of the art language models. For other genres, annotations generated by the GPT-3 model have the best quality.

**Keywords:** quasiabstract, Manifold Ranking, LSA, Transformer, seq2seq, BERT, GPT, BART.

**Ермоленко Татьяна Владимировна**

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры компьютерных технологий ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», Российская Федерация, ДНР, г. Донецк.  
E-mail: t.ermolenko@donnu.ru

**Ermolenko Tatiana Vladimirovna**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at Department of Computer Technologies of Donetsk State University, Russian Federation, DPR, Donetsk.

**Бондаренко Виталий Иванович**

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры компьютерных технологий ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», Российская Федерация, ДНР, г. Донецк.  
E-mail: bondarenko@donnu.ru

**Bondarenko Vitalii Ivanovich**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at Department of Computer Technologies of Donetsk State University, Russian Federation, DPR, Donetsk.

**Пикалёв Ярослав Сергеевич**

кандидат технических наук, старший научный сотрудник отдела интеллектуальных робототехнических систем ФГБНУ «Институт проблем искусственного интеллекта», Российская Федерация, ДНР, г. Донецк.  
E-mail: pikaliov@gmail.com

**Pikalev I Aroslav Sergeevich**

Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher of the Department of Intelligent Robotic Systems of Institute for Problems of Artificial Intelligence, Russian Federation, DPR, Donetsk.

УДК 656.13

**ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ ЗАДЕРЖКИ АВТОТРАНСПОРТА  
НА ПЕРЕКРЕСТКАХ М. ДЖ. БЭКМАННА И Ф. ВЕБСТЕРА  
ДЛЯ УСЛОВИЙ МЕГАПОЛИСА**

© 2023 *Стрижко М.А., Червинский В.В.*

---

В статье проведен анализ двух наиболее известных моделей задержки транспортных средств на перекрестке: модели М. Дж. Бэкманна из класса наиболее точных моделей и модели Ф. Вебстера, относящейся к классу приближенных. Сделаны выводы об адекватности результатов моделирования экспериментальным данным. Сформулировано предположение о влиянии степени неравномерности транспортного потока на точность модельных данных. Описаны факторы, вносящие данную неравномерность. Предложено аналитическое выражение критерия применимости модели задержки М. Дж. Бэкманна, учитывающего неравномерность транспортного потока.

**Ключевые слова:** транспортное средство, дорожное движение, перекресток, модель, мегаполис, неравномерность транспортного потока, средняя задержка.

---

**Введение.** Объём дорожного трафика в мегаполисах в мире продолжает расти, что приводит к усугублению проблемы управления транспортными потоками. Частными случаями этой проблемы являются несогласованность управления на соседних перекрестках, а также скопление очереди на перекрестке в одном направлении при отсутствии трафика в конфликтующем направлении [1]. Современные технологии управления открывают новые возможности для эффективного регулирования в условиях быстро изменяющейся интенсивности движения, а технологии «умного города» и Интернета вещей позволяют реализовать координированное управление транспортными потоками с учетом изменяющихся дорожных условий. При разработке систем управления транспортными потоками и повышении точности управления актуальным является вопрос моделирования движения транспортных средств (ТС) с целью оценки качества и выявления недостатков существующих и разрабатываемых методов дорожного регулирования в условиях мегаполиса.

**Анализ моделей транспортных потоков.** Для моделирования процессов движения автотранспортных потоков обычно используются три уровня их описания: макроскопический, мезоскопический и микроскопический. Макроскопический уровень предназначен для описания потоков автомобилей на уровне города, области (края) или целой страны, для этого разрабатываются математические модели потоков транспортных средств, в основном, с применением законов гидродинамики. Микроскопический уровень используется для моделирования движения отдельных ТС – автомобилей различного типоразмера, при этом создаются модели конкретных перекрестков и развязок районов населённого пункта. Мезоскопический уровень занимает промежуточное место между макроскопическим и микроскопическим, поблочно объединяет в общее взаимодействие математическое описание отдельных перекрестков, оперирует также отдельными очередями или группами ТС [2].

Модели микроскопического уровня, которые учитывают поведение каждого отдельного ТС, как участника дорожного движения, обеспечивают наиболее достоверные результаты моделирования конкретных перекрестков. При условии их достаточного внедрения (т. е. их производительности) модели этого уровня с

наибольшим эффектом используются в режиме реального времени для реализации адаптивного управления потоками ТС на городских перекрёстках.

Математические модели, которые предназначены для описания временной задержки ТС на пересечении дорог при регулировании движения посредством светофоров, делятся на две категории. Так называемые «точные» модели в реальном времени описывают динамическую ситуацию на подъездных дорогах перекрёстка в данный момент времени. Они представлены моделями М. Дж. Бэкманна, В. Р. МакНейла, Дж. Н. Дарроча и др. Так называемые «приближённые» модели учитывают стационарные, сложившиеся условия движения и аппроксимируются к действительной ситуации на дороге. Характерными моделями этой группы являются модели Ф. В. Вебстера, А. Дж. Миллера, Дж. Ф. Ньюелла [3].

Получившая наибольшее распространение «точная» модель (1) была создана М. Дж. Бекманном. Она использует биномиальный закон распределения прибытия автотранспорта на перекрёсток, позволяет делать оценки средней задержки  $d$  одного ТС за цикл регулирования, в ходе светофорного регулирования при «жестком» переключении его сигналов. В ней принят детерминированный закон изменения сигналов светофора:

$$d = \frac{c-g}{c\left(1-\frac{q}{s}\right)} \left( \frac{q_0}{q} + \frac{c-g+1}{2} \right), \quad (1)$$

где  $d$  – среднее время ожидания одного ТС за цикл, с;

$c$  – длительность цикла регулирования, с;

$g$  – время горения зеленого сигнала светофора, с;

$q$  – интенсивность прибытия ТС, авт./с;

$s$  – интенсивность разъезда ТС, авт./с;

$q_0$  – величина оставшейся очереди, авт.

Распространённая приближённая модель задержки Ф. В. Вебстера (2) принята в качестве нормативной. Она основана на сочетании теоретического анализа и численного моделирования, однако на практике может давать недостоверные результаты [4].

$$d = \frac{c\left(1-\frac{g}{c}\right)^2}{2\left(1-\frac{g}{c}x\right)} + \frac{x^2}{2q(1-x)} - 0,65\left(\frac{c}{q^2}\right)^{\frac{1}{3}} x^{2+5\left(\frac{g}{c}\right)}, \quad (2)$$

где  $d$  – среднее время ожидания одного ТС за цикл, с;

$c$  – длительность цикла регулирования, с;

$g$  – время горения зеленого сигнала светофора, с;

$q$  – интенсивность прибытия ТС, авт./с;

$s$  – интенсивность разъезда ТС, авт./с;

$x$  – степень загрузки подъезда, авт.

Таким образом, как в модели Бэкманна, так и в модели Вебстера значимыми факторами задержки транспортного потока на перекрёстке являются:

- длительность цикла регулирования;
- время горения зеленого сигнала светофора;
- интенсивность прибытия ТС;

- интенсивность разезда ТС;
- величина оставшейся очереди (степень загрузки подъезда).

Среди факторов, не отраженных в рассматриваемых моделях, а, следовательно, принятых незначимыми, можно выделить плотность и неравномерность транспортного потока.

Для оценки адекватности рассматриваемых моделей были проведены экспериментальные измерения задержки транспортных средств на перекрестке. Для проведения эксперимента выбраны 20 перекрестков с различными характеристиками регулирования и движения транспортного потока, изменяющиеся в следующем диапазоне:

- длительность цикла регулирования от 51 до 65 с;
- время горения зеленого сигнала светофора от 15 до 47 с;
- интенсивность прибытия ТС от 0,12 до 0,30 авт./с;
- интенсивность разезда ТС равна 0,40 авт./с;
- величина оставшейся очереди от 0 до 3 авт.

Для исследования выбраны временные отметки в 13:00, 15:00, 18:00, 20:00, которые отражают как часы пик, так и периоды спада интенсивности движения, что позволяет произвести измерения при различных значениях интенсивности прибытия ТС на одном перекрестке при равных прочих характеристиках.

Исследуемые перекрестки различаются также по характеристикам транспортных потоков, не учитываемым в рассматриваемых моделях. Одной из таких характеристик является неравномерность потока. Данная величина отражает, в первую очередь, взаимосвязь перекрестка с соседними светофорными объектами и зависит от факторов:

- расстояния до вышестоящего (предыдущего по ходу движения) перекрестка;
- доли ТС, осуществляющих поворот с конфликтующих направлений на вышестоящем перекрестке;
- режима светофорного регулирования на вышестоящем перекрестке;
- степени загруженности дорожной сети (плотность потока).

По результатам эксперимента и моделирования с использованием моделей Бэкманна и Вебстера построены графики зависимости средней задержки ТС от интенсивности движения. На рис. 1–3 представлены данные для перекрестков с различной неравномерностью транспортного потока в порядке возрастания.

Модель Вебстера во всех случаях оказалась нечувствительной к изменениям интенсивности движения в указанном диапазоне. Это связано с тем, что данная модель относится к категории приближенных моделей и предназначена для оперирования величинами большего порядка. Дальнейшее рассмотрение данной модели решено прекратить.

Что касается модели Бэкманна, то расхождение расчетных и экспериментальных данных оказалось различным. Так, на одном из исследуемых перекрестков (рис. 1) средняя погрешность модели составляет 6,68% по отношению к экспериментальным данным, что является достаточно хорошим результатом. В других же случаях задержка ТС, полученная экспериментально, существенно ниже расчетных данных на всём диапазоне изменения интенсивности движения (рис. 2, 3).

Таким образом, модель задержки ТС на перекрестках М. Дж. Бэкманна не всегда даёт результаты, адекватные экспериментальным данным. В этом случае надо полагать, что существуют значимые факторы, влияющие на задержку ТС на перекрестках, не учтенные в рассматриваемой модели.



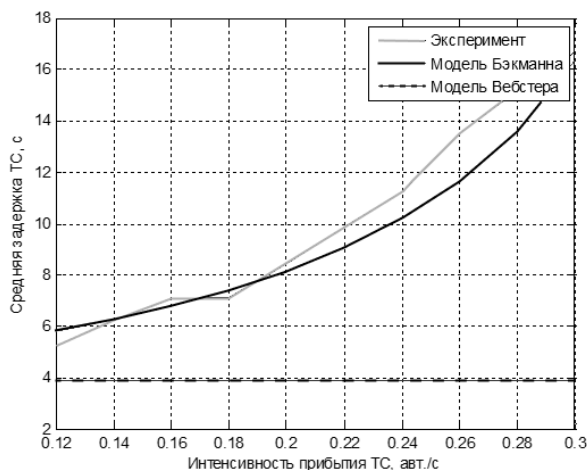


Рис. 1. График зависимости средней задержки ТС от интенсивности прибытия на перекрёстке с равномерным транспортным потоком

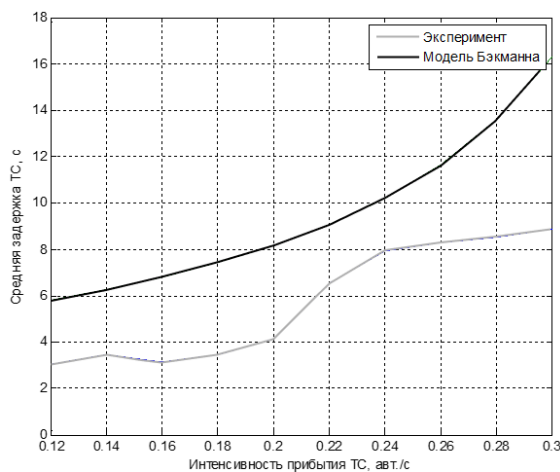


Рис. 2. График зависимости средней задержки ТС от интенсивности прибытия на перекрёстке с неравномерным транспортным потоком

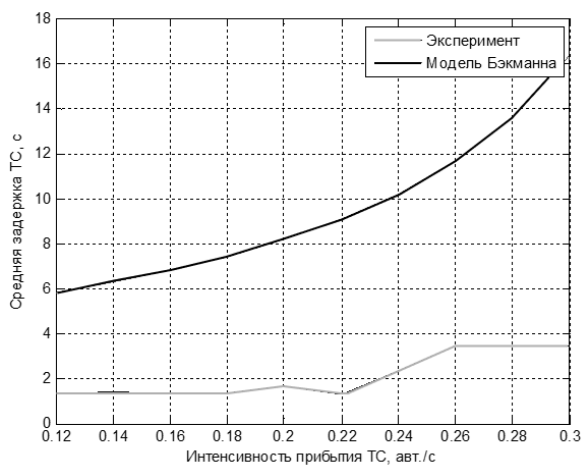


Рис. 3. График зависимости средней задержки ТС от интенсивности прибытия на перекрёстке с ярко выраженной неравномерностью транспортного потока

Стоит отметить, что на тех перекрёстках, где расхождение модельных и экспериментальных данных наименьшее, вышестоящий перекрёсток располагается на значительно большем расстоянии до рассматриваемого перекрёстка, нежели в случаях, где расхождение оказалось наибольшим. И наоборот – расстояние до вышестоящего перекрёстка существенно меньше при максимальном расхождении модельных и экспериментальных данных.

Такую закономерность нетрудно объяснить: наличие вышестоящего светофорного объекта оказывает существенное влияние на характер транспортного потока. В условиях города входной поток перекрёстка улично-дорожной сети в значительной степени повторяет выходной поток с вышестоящего перекрёстка, за исключением ТС, выполнивших поворот с конфликтующих направлений на вышестоящем перекрёстке.

В течение запрещающей фазы регулирования транспортный поток накапливается на перекрёстке, а затем, при переходе к разрешающей фазе регулирования, осуществляется пропуск скопившихся за время горения красного сигнала светофора транспортных средств. Количество ТС, способных покинуть перекрёсток в течение разрешающей фазы определяется её длительностью и интенсивностью разъезда ТС. Затем снова следует запрещающая фаза, в течение которой транспортный поток накапливается на подъезде к светофорному объекту. Таким образом, изначально равномерный транспортный поток делится светофорным объектом на группы (рис. 4).

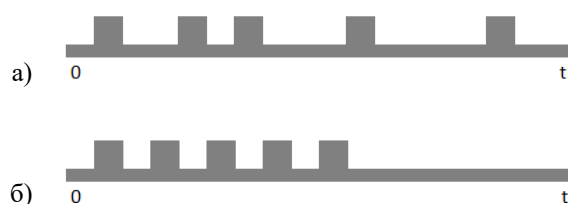


Рис. 4. Степень неравномерности транспортного потока:  
а) равномерный поток; б) неравномерный поток, сформированный в группы

Если такая группа достигнет следующего по ходу движения перекрёстка в течение разрешающей фазы регулирования, высока вероятность того, что большая часть ТС, прибывающих на перекрёсток за цикл, пересекут его на зеленый свет без остановок, а, следовательно, средняя задержка ТС будет существенно ниже, чем при движении равномерного транспортного потока [5]. В случае же, если группа ТС прибудет на перекрёсток в начале запрещающей фазы регулирования, значение средней задержки ТС за цикл может быть выше, чем для равномерного транспортного потока.

Однако, группы ТС, сформированные на вышестоящем перекрёстке, по мере приближения к следующему перекрестку, имеют свойство распадаться. Учитывая различные характеристики транспортных средств и стиль вождения водителей, будет справедливо отметить, что с увеличением расстояния между соседними перекрёстками сформированный в группы транспортный поток стремится снова стать равномерным, так как у водителей появляется больше возможностей для разгона и маневрирования.

Математически степень неравномерности транспортного потока, вносимую светофорным регулированием, можно представить следующим образом. Цикл регулирования  $c$  состоит из разрешающей фазы  $g$  и запрещающей фазы  $r$ . При условии, если интенсивность подъезда ТС не превышает пропускную способность перекрёстка, все транспортные средства, прибывшие на перекрёсток за время цикла  $c$ , покинут его за время разрешающей фазы  $g$ . Таким образом, неравномерность потока на каждом перекрёстке может быть вычислена как отношение  $c/g$ .

Для определения влияния расстояния, преодоленного транспортными средствами, на их группирование проведен эксперимент, в ходе которого установлено, что разница в скорости движения ТС составляет порядка 10 % от средней скорости транспортного потока. Необходимо учесть также плотность рассматриваемого потока. Так, чем ниже плотность потока, тем больше возможностей для разгона и маневрирования у водителей. Плотность потока в 100 авт./км принята в литературе максимальной плотностью движущегося потока [6]. С учетом вышесказанного можно составить критерий применимости модели М. Дж. Бэкманна с учетом неравномерности транспортного потока:

$$K_H = \frac{c}{g + \frac{nx}{9V} \cdot \left(1 - \frac{p}{100}\right)}, \quad (3)$$

где  $c$  – длительность цикла регулирования, с;  
 $g$  – длительность разрешающей фазы регулирования, с;  
 $n$  – интенсивность движения ТС, авт./с;  
 $x$  – расстояние между перекрестками, м;  
 $V$  – средняя скорость транспортного потока, м/с;  
 $p$  – плотность потока, авт./км.

Для формулы (3) составляющая  $\frac{nx}{9 \cdot V}$  добавляет к составляющей  $g$  одну секунду на каждые  $9 \cdot V$  метров. При этом уменьшается отношение между величинами  $c$  и  $g$ . Значение  $9 \cdot V$  подобрано эмпирически, исходя из того, что пройденное расстояние, за которое интервал движения ТС будет увеличен на одну секунду, в таких условиях можно рассчитать, как  $\frac{0,9 \cdot V}{0,1} = 9 \cdot V$ . Составляющая плотности потока  $\left(1 - \frac{p}{100}\right)$  практически не оказывает влияния на составляющую расстояния при низких значениях  $p$ , но уменьшает её при высоких значениях плотности потока.

Таким образом, представленный критерий применимости модели М. Дж. Бэкманна, учитывающий неравномерность транспортных потоков, может использоваться для оценки точности данной модели для конкретных перекрестков. При значениях  $K_H \leq 1$ , модель дает незначительное расхождение с экспериментальными данными. При значениях  $K_H > 1$  модельные данные не адекватны экспериментальным. Для этого случая необходима корректировка модели М. Дж. Бэкманна, учитывающая неравномерность транспортного потока, а также влияющие на неё факторы: расстояние до вышестоящего перекрестка; долю ТС, осуществляющих поворот с конфликтующих направлений на вышестоящем перекрестке; режим светофорного регулирования на вышестоящем перекрестке; степень загруженности дорожной сети.

**Выводы.** В статье проведен анализ двух наиболее известных существующих моделей задержки транспортных средств на перекрестке: модели М. Дж. Бэкманна из класса наиболее точных и модели Ф. Вебстера, относящейся к классу приближенных моделей. По результатам эксперимента и сравнения модельных и экспериментальных данных установлено, что модель Ф. Вебстера нечувствительна к типичным для городских условий изменениям параметров транспортного потока, а, следовательно, непригодна для моделирования движения ТС в мегаполисе. Анализ модели М. Дж. Бэкманна дал неоднозначные результаты относительно адекватности модели в зависимости от исследуемого перекрестка.

Сформулировано предположение о влиянии степени неравномерности транспортного потока на адекватность модельных данных. Описаны факторы, вносящие данную неравномерность. Предложено аналитическое выражение критерия применимости модели задержки М. Дж. Бэкманна, учитывающего неравномерность транспортного потока.

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Белов, Ю. В. Интеллектуальные средства и технологии инфраструктуры городского дорожного движения / Ю. В. Белов, А. Н. Полетаikin // Автомобильный транспорт. – Харьков: Изд-во ХНАДУ, 2014. – Вып. 35. – С. 13-21.
2. Антониади, Г. Д. Интеллектуальная система адаптивного управления работой перекрёстка автомобильных дорог / Г. Д. Антониади, В. О. Архипов, А. А. Цуприков // Транспорт: наука, техника, управление. – М.: ВИНТИ, НТС, 2019. – №6. – С. 210-215.
3. Шинкарев, А. А. Управление движением транспорта в крупных городах / А. А. Шинкарев // Управление в социальных и экономических системах: сборник научных трудов / под ред. О.В. Логиновского. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2015. – Вып. 3. – С. 117-125.
4. Ваксман, С. А. Некоторые закономерности изменения интенсивности движения в транспортных узлах крупных городов / С. А. Ваксман // Социально-экономические проблемы развития транспортных систем городов. Материалы третьей международной научно-практической конференции. – Екатеринбург, 1996. – С. 43–47.
5. Дрю, Д. Теория транспортных потоков и управление ими / Д. Дрю. – М. : Транспорт, 1972. – 424 с.
6. Кашталинский, А. С. Учет внутрисетевой неравномерности транспортных потоков на регулируемых пересечениях / А. С. Кашталинский // Перспективы развития и безопасность автотранспортного комплекса: материалы V междунар. заочной науч.-практ. конф. – Новокузнецк, 2016. – С. 38–43.

*Поступила в редакцию 02.05.2023 г., рекомендована к печати 14.05.2023 г.*

#### RESEARCH OF VEHICLE DELAY MODELS AT INTERSECTIONS BY M. J. BECKMANN AND F. WEBSTER FOR MEGALOPOLIS CONDITIONS

*Strizhko M.A., CHervinskii V.V.*

The article analyzes two of the most well-known models of vehicle delays at the intersection: M. J. Beckmann model from the class of the most accurate models and F. Webster model, which belongs to the class of approximants. Conclusions are drawn about the adequacy of the simulation results to experimental data. The assumption about the influence of the degree of unevenness of the traffic flow on the accuracy of the model data is formulated. The factors contributing to this unevenness are described. An analytical expression of the criterion of applicability of the M. J. Beckman delay model is proposed.

**Keywords:** vehicle, traffic, intersection, model, megapolis, irregularity, average delay.

#### **Стрижко Михаил Александрович**

ассистент кафедры автоматизации и телекоммуникаций ФГБОУ ВО «Донецкий национальный технический университет»,  
Российская Федерация, ДНР, г. Донецк.  
Email: strizhko.mihail@yandex.ru

#### **Strizhko Mikhail Aleksandrovich**

Assistant of the Department of Automation and Telecommunications of Donetsk National Technical University,  
Russian Federation, DPR, Donetsk.

#### **Червинский Владимир Владимирович**

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры автоматизации и телекоммуникаций ФГБОУ ВО «Донецкий национальный технический университет»,  
Российская Федерация, ДНР, г. Донецк.  
Email: tscherwi@mail.ru

#### **CHervinskii Vladimir Vladimirovich**

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

УДК 65.011.56:681.5.08

## РАЗРАБОТКА АВТОНОМНОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ НЕПРЕРЫВНОГО КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ СТРОИТЕЛЬНОГО ОБЪЕКТА

© 2023 Подлесный В.Ю., Тимченко В.И., Третьяков И.А., Данилов В.В.

---

В данной работе предложен макетный образец стационарной автоматизированной станции мониторинга несущих конструкций высотных зданий и сооружений, построенный на базе Arduino. Разработанная система контроля деформации зданий и сооружений является эффективным инструментом для мониторинга и предотвращения аварийных ситуаций, связанных с деформацией конструкций.

**Ключевые слова:** автоматизированная система, Arduino, мониторинг объекта, деформация конструкций.

---

**Введение.** Строительные объекты являются неотъемлемой частью современной городской инфраструктуры и играют важную роль в обеспечении комфортных условий для жизни людей. Однако, как любые другие конструкции, строительные объекты подвержены воздействию различных факторов, таких как временные изменения, нагрузки, окружающая среда и технические неисправности. Поэтому важно обеспечить непрерывный контроль и мониторинг их состояния для предотвращения потенциальных проблем и обеспечения их безопасности и долговечности.

В связи с быстрым развитием информационных технологий [1, 2], средств автоматизации [3-5] и автоматизированных систем [6-11], разработка автономной автоматизированной системы непрерывного контроля состояния строительных объектов становится все более актуальной научно-технической задачей. Такая система объединит в себе передовые технологии и инструменты, такие как сенсоры, мониторы, сетевые соединения и алгоритмы анализа данных, для обеспечения непрерывного мониторинга и оценки состояния строительных объектов.

Основная цель разрабатываемой системы - предоставить операторам и инженерам актуальную информацию о состоянии объекта в реальном времени, а также предупреждать о возможных проблемах и рекомендовать оптимальные решения для их устранения. Это позволяет оперативно реагировать на потенциальные угрозы безопасности и предотвращать возможные повреждения, аварии и простои объекта.

В данной статье будут рассмотрены преимущества использования такой автономной автоматизированной системы, ее основные компоненты и примеры ее применения на строительных объектах.

Одним из основных преимуществ системы контроля строительных объектов является возможность оперативной реакции на проблемы. Благодаря постоянному мониторингу и анализу данных, система может обнаружить даже незначительные отклонения и предупредить операторов о потенциальных проблемах. Это позволяет своевременно принять меры по исправлению проблем и предотвратить возможные повреждения или аварии. Кроме того, автономная автоматизированная система также способствует оптимизации процесса обслуживания строительных объектов. Операторы могут получать информацию о состоянии объекта в реальном времени и планировать обслуживание и ремонтные работы на основе актуальных данных. Это позволяет снизить время простоя объекта, улучшить его производительность и сократить затраты на ремонт и обслуживание.

**Постановка задачи.** Для эффективного контроля состояния строительных объектов необходимо иметь информацию о различных параметрах, таких как вибрации, температура, уровень влажности, давление и другие. Такая информация позволяет оперативно реагировать на возможные проблемы и предотвращать повреждения или аварии. Применение автономной автоматизированной системы предоставляет ряд преимуществ:

1. Непрерывный контроль: система способна осуществлять постоянный мониторинг состояния объекта без необходимости постоянного присутствия оператора.

2. Раннее обнаружение проблем: автоматизированная система способна обнаруживать отклонения в параметрах состояния объекта на ранних стадиях, что позволяет предпринять меры по исправлению проблем до того, как они приведут к серьезным повреждениям.

3. Снижение рисков и затрат: благодаря постоянному контролю и раннему обнаружению проблем, система помогает снизить риски возникновения аварийных ситуаций и необходимость в крупных ремонтных работах, что в свою очередь снижает затраты на обслуживание объекта.

Основной частью системы для непрерывного контроля строительного объекта является несколько ключевых компонентов:

1. Сенсоры и измерительные устройства: эти устройства устанавливаются на строительном объекте и собирают информацию о различных параметрах состояния, таких как вибрации, температура, влажность, давление и другие. Сенсоры могут быть расположены на разных уровнях и разных частях объекта для более полного покрытия и точности данных.

2. Система сбора и передачи данных: собранные сенсорами данные передаются на центральный сервер или облачную платформу через беспроводные или проводные сети связи. Это позволяет операторам удаленно получать доступ к информации о состоянии объекта и анализировать ее в реальном времени.

3. Алгоритмы анализа данных: полученные данные обрабатываются специальными алгоритмами для выявления отклонений и предсказания возможных проблем. Это может включать использование методов машинного обучения и искусственного интеллекта для более точного анализа и прогнозирования состояния объекта.

4. Система уведомлений и оповещений: в случае обнаружения отклонений или потенциальных проблем, система может генерировать автоматические уведомления и оповещения операторам или ответственным лицам. Это позволяет принять меры по предотвращению серьезных повреждений или аварийных ситуаций.

**Система контроля балки.** Для создания макета используется датчик изгиба [12]. Когда структура, к которой приклеен датчик изгиба, деформируется, то сопротивление датчика изменяется, что приводит к изменению выходного напряжения. Датчик изгиба 2.2" используются для измерения смещения объектов оборудования и инструментов. Сопротивление датчика изгиба изменяется в определенном диапазоне в зависимости от степени изгиба (деформации) детали. Схема включения датчика изгиба приведена на рисунке 1.

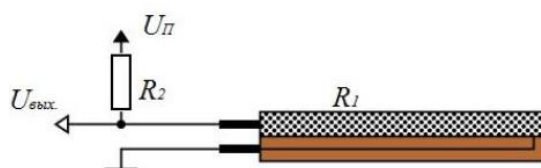


Рис. 1. Схема подключения балки

Принципиальная схема макетного образца системы показана в рисунке 2. Датчик изгиба [13] приклеивается к контролируемому компоненту. Один вывод датчика изгиба подключен к питанию 5В и заземлен через резистор 2, а второй вывод датчика находится на плате Arduino [14]. Выход датчика подключен к входу А0 платы Arduino 3 и посылает сигнал на ПК 4.

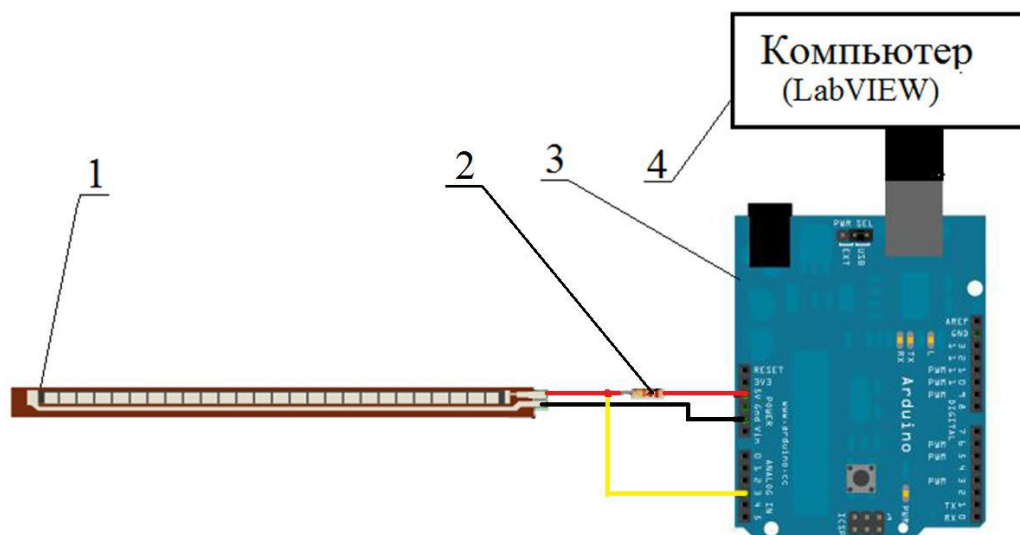


Рис. 2. Принципиальная схема системы контроля деформаций:  
1 - датчик изгиба; 2 - резистор; 3 - Arduino Uno R3; 4 - ПК

Тензодатчик 1 приклеивается к поверхности балки 2, которая закреплена на конструкции 3. Один вывод тензодатчика подключен к источнику питания 5В, а второй вывод тензодатчика подключен к "земле" платы Arduino 5 через резистор 4. Выход тензодатчика подключен к входу А0 (или любому аналоговому входу) платы Arduino 5, который посылает сигнал на портативный компьютер 6. ПК обрабатывает программу LabVIEW. Принципиальная схема системы контроля деформаций наблюдается в рисунке 3.

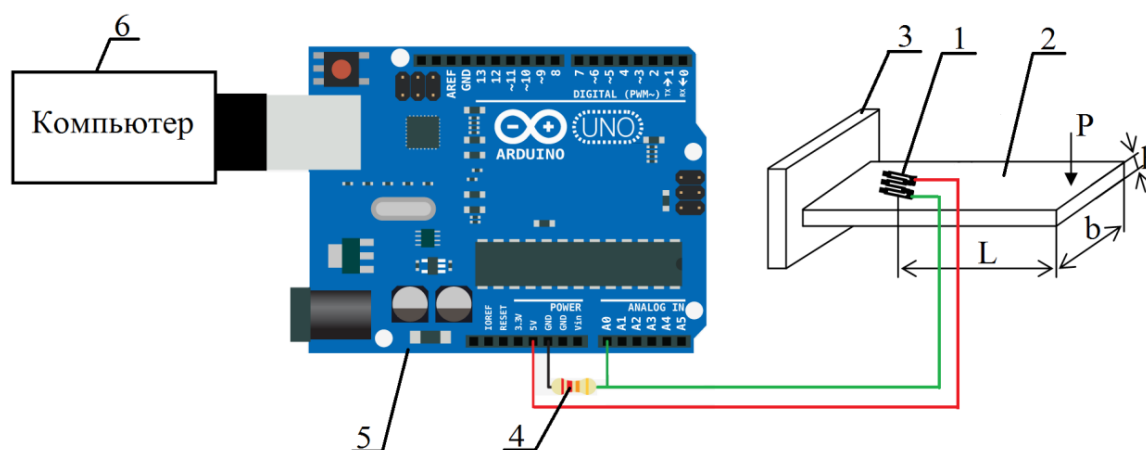


Рис. 3. Принципиальная схема системы контроля деформаций:  
1 - тензодатчик; 2 - балка; 3 - настройка; 4 - резистор; 5 - Arduino Uno R3; 6 - компьютер

Для экспериментальной проверки работы данной системы контроля применен макет на стальной балке, размером 120x18.6x0.53 мм. Общий вид макетного образца системы указан на рисунке 4.

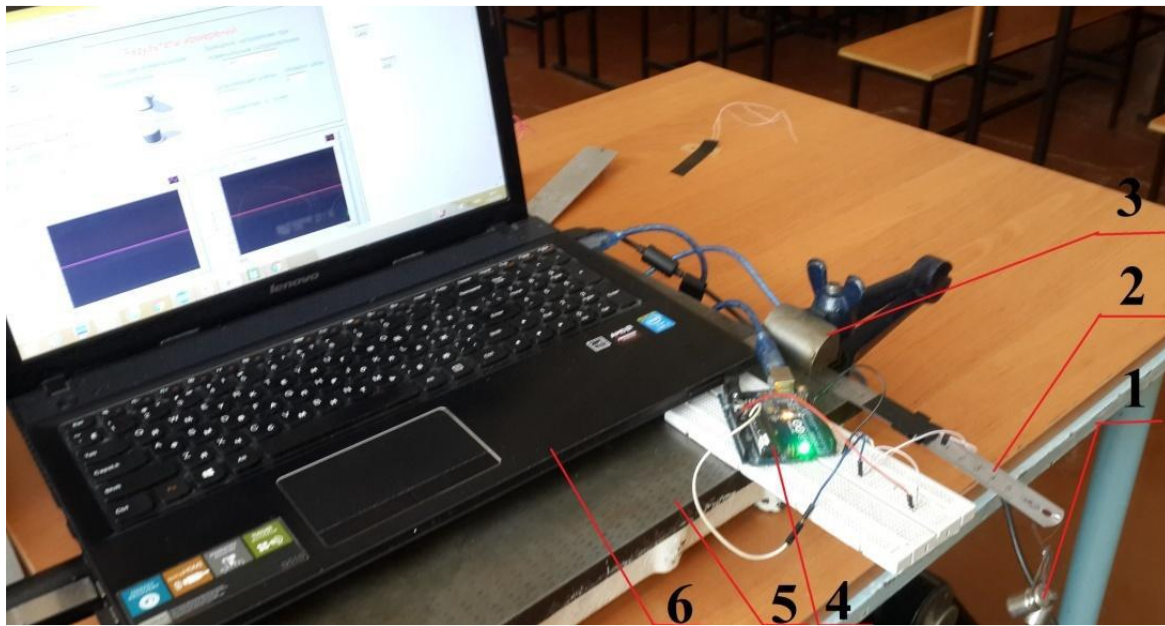


Рис. 4. Общий вид макетного образца системы контроля: 1 - нагрузка, 2 - стальная балка с тензорезистором, 3 - зажим, 4 - плата Arduino, 5 - плита чугунная, 6 – компьютер

Зависимость деформации стальной балки от нагрузки приведена на рисунке 5.

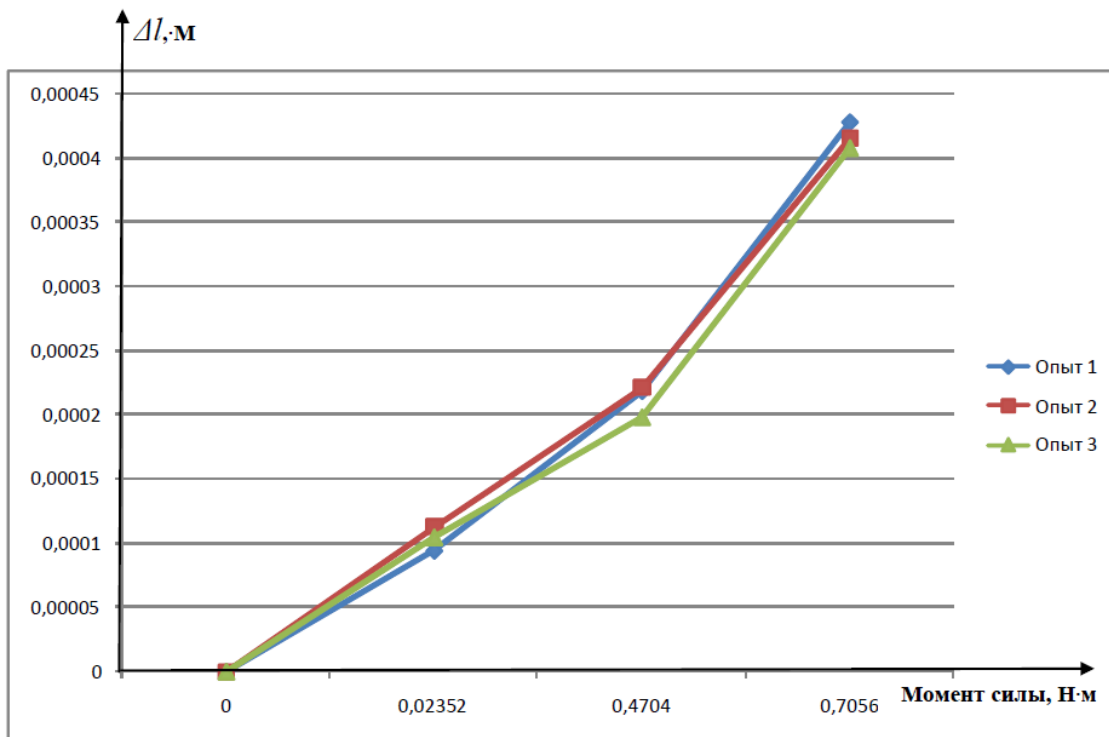


Рис. 5. Зависимость стрелы прогиба консольной балки от нагрузки

Для того, чтобы уменьшить количество ошибок, необходима калибровка датчика и фильтрация измерительного сигнала. Экспериментальный образец инерциальной системы ориентации (ИСО) (рис. 6) построен на базе модуля MPU- 6050 - 1, модуля HMC5883L - 2 и Arduino Uno R3 - 3.



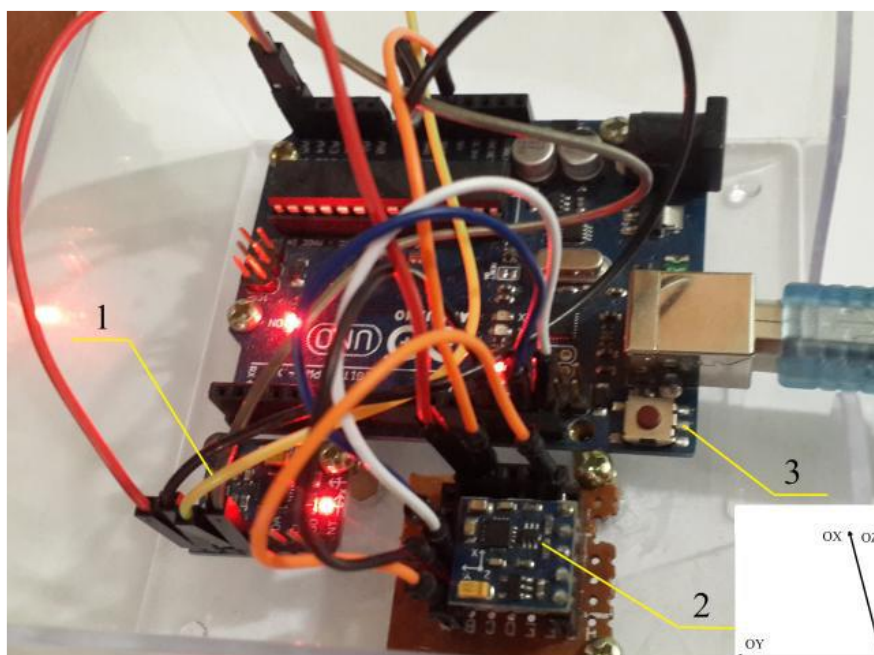


Рис. 6. Экспериментальный образец инерциальной системы ориентации:  
1 - модуль MPU- 6050, 2 - модуль HMC5883L, 3 - Arduino Uno R3

В ходе экспериментального исследования инерциальная система ориентации была выровнена в горизонтальной плоскости: сигналы акселерометра и гироскопа с датчика MPU-6050 снимаются в общей сложности 100 раз за определенный период времени, и получены среднее значение измеренных сигналов с этих датчиков. Вычитая среднее значение измерительного сигнала из фактического значения, можно получить значение смещения нуля характеристики. Это значение является смещением нуля сигналов гироскопа и акселерометра модуля MPU. Для уменьшения шумов можно использовать фильтр низких частот. Результаты экспериментальных исследований датчиков модуля MPU- 6050 показаны на рисунках 7-8.

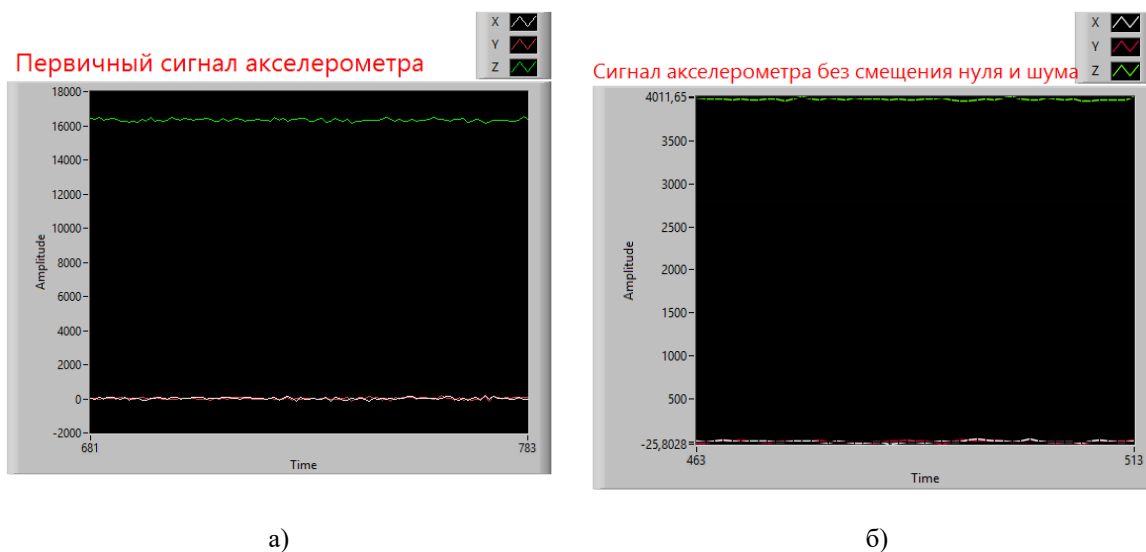


Рис. 7. Сигнал акселерометра модуля MPU – 6050:  
а – первичный, б – без смещения нуля и шума

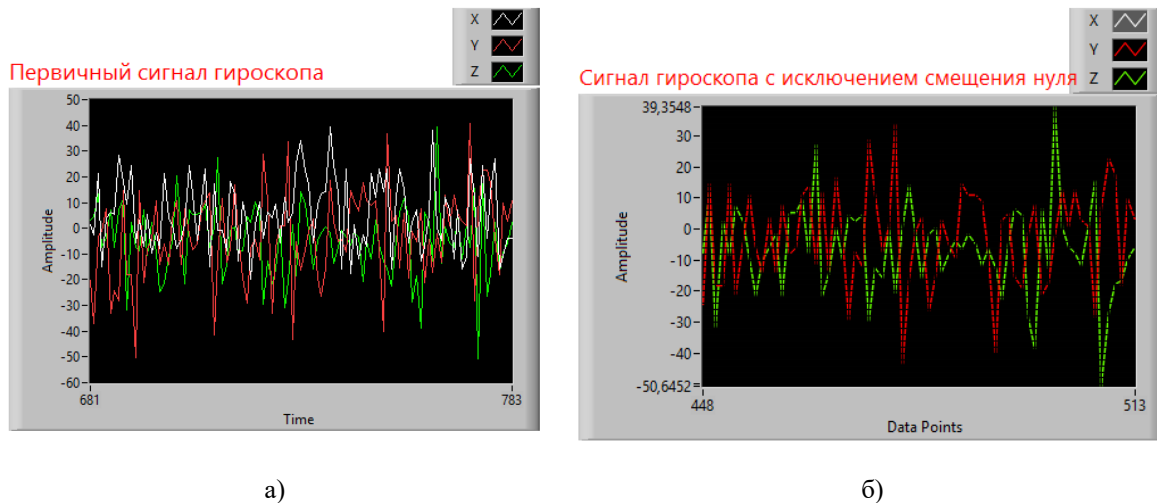


Рис. 8. Сигнал гироскопа модуля MPU – 6050:  
а – первичный, б – с исключением нуля и шума

Для калибровки магнитометра применена программа мастера. Магнитометр закрепит на грани куба. Грань куба с магнитометром должна быть установлена перпендикулярно к каждой оси трехгранника OXYZ. (рис. 9). После установки магнитометра на определенную точку необходимо нажать кнопку, соответствующую этому направлению на экране (рис. 10). Прделав данный процесс для остальных позиций вплоть до 12 включительно. Заполнив все данные в таблицу и нажав кнопку «Рассчитать преобразования», получаем требуемую матрицу.

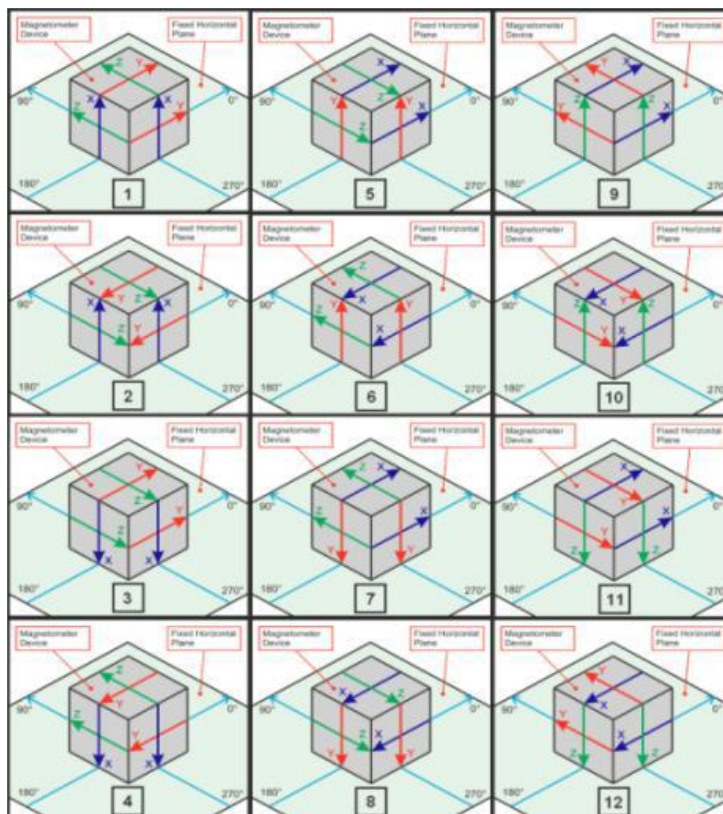


Рис. 9. Ориентация магнитометра: 1,2,3...12 позиции ориентации

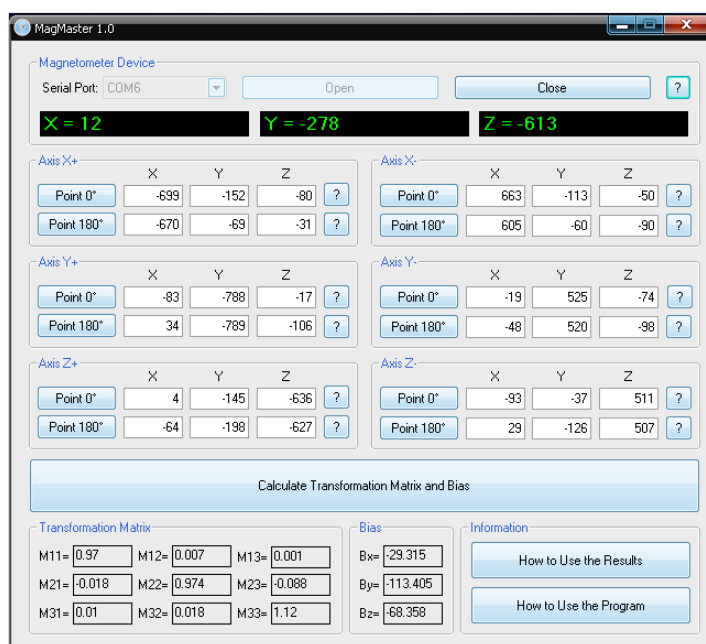


Рис. 10. Таблица для определения значений матрицы и смещения нуля магнитометра  
Обработка результатов измерений магнитометра осуществляется по формуле:

$$\begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} & M_{13} \\ M_{21} & M_{22} & M_{23} \\ M_{31} & M_{32} & M_{33} \end{bmatrix} \times \left( \begin{bmatrix} X_{nc} \\ Y_{nc} \\ Z_{nc} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} B_x \\ B_y \\ B_z \end{bmatrix} \right),$$

где:  $X_c, Y_c, Z_c$  - значения сигналов магнитометра по осям X, Y, Z после калибровки;  
 $M_{11} \dots M_{33}$  – значения элементов матрицы;  
 $X_{nc}, Y_{nc}, Z_{nc}$  – значения сигналов магнитометра без калибровки;  
 $B_x, B_y, B_z$  – значение смещения сигнала магнитометра.  
 Результаты расчета сигнала магнитометра показаны на рисунке 11.

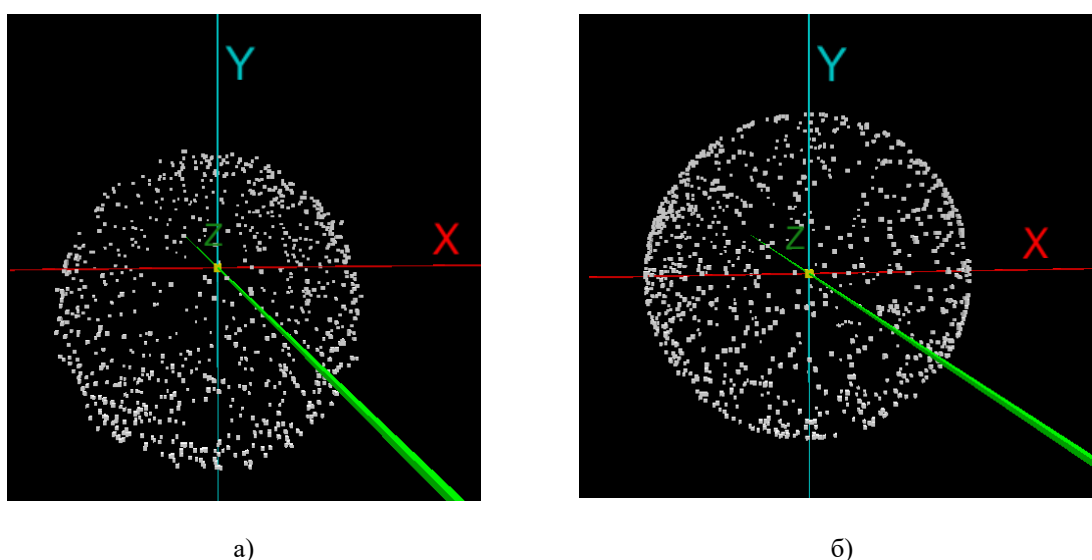


Рис. 11. Результаты значения магнитометра: а - до калибровки, б – после калибровки

**Выводы.** Результаты экспериментальных исследований макетного образца автоматизированной системы контроля деформаций показывают, что разработанная система обеспечивает измерение деформаций элементов конструкции, передачу и хранение информации на компьютере. Для создания полномасштабной системы мониторинга напряженно-деформированного состояния особо нагруженных элементов конструкций зданий и сооружений необходим подбор и монтаж соответствующих тензодатчиков.

Разработанная система контроля деформации зданий и сооружений является эффективным инструментом для мониторинга и предотвращения аварийных ситуаций, связанных с деформацией конструкций. Она позволяет своевременно выявлять проблемные участки и принимать меры по их устранению, что способствует повышению безопасности и долговечности зданий и сооружений. Кроме того, система может быть использована для анализа и прогнозирования деформаций на основе исторических данных и моделирования поведения конструкций в различных условиях эксплуатации. В целом, разработка системы контроля деформации зданий и сооружений представляет собой важный шаг в обеспечении безопасности и надежности зданий и сооружений в современном мире.

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Особенности становления информационных технологий / И. А. Третьяков, М. Л. Павлов, Т. С. Тебенева, В. В. Данилов // Донецкие чтения 2016. Образование, наука и вызовы современности: Материалы I Международной научной конференции (Донецк, 16-18 мая 2016 г.). – Том 1. Физико-математические, технические науки и экология / под общей редакцией проф. С.В. Беспаловой. – Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2016. – С. 222-224. – EDN YUAONU.
2. Онищенко, А. В. Развитие отрасли информационных технологий / А. В. Онищенко // Вестник науки. – 2022. – №7 (52). – С. 138-141.
3. Снежко, В. Л. Разработка системы автоматизации экспериментальных исследований / В. Л. Снежко, М. С. Паливец, А. В. Подобный // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2022. – №10-2. – С. 118-120. – DOI 10.24412/2500-1000-2022-10-2-118-12. – EDN ZUWLLM.
4. Третьяков, И. А. Автоматизация метода лингвистического анализа спектрограмм радиочастот / И. А. Третьяков // 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. 170-173. – EDN JZWPZZ.
5. Автоматизация визуально-измерительного контроля / А. Д. Тулегулов, Д. С. Ергалиев, Д. В. Зуев [и др.] // Надежность и качество сложных систем. – 2021. – № 4(36). – С. 119-126. – DOI 10.21685/2307-4205-2021-4-13. – EDN CFJDNY.
6. Семенова, И. И. Концепция автоматизированной системы поддержки научных исследований / И. И. Семенова, А. А. Швобель // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2010. – № 3. – С. 76-80. – EDN LDEMDL.
7. Шалаев, А. В. Спектральное уплотнение–разуплотнение потоков данных автоматизированных систем / А. В. Шалаев, И. А. Третьяков // Донецкие чтения 2019: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности: Материалы IV Международной научной конференции (Донецк, 31 октября 2019 г.). – Том 1: Физико-математические и технические науки. Часть 2 / под общей редакцией проф. С.В. Беспаловой. – Донецк: Изд-во ДонНУ, 2019. – С. 184-186. – EDN OHKYGG.
8. Филиппенко, Н. Г. Автоматизированная система контроля агрегатных и фазовых изменений в полимерных материалах / Н. Г. Филиппенко, Д. В. Баканин, В. С. Бычковский // Crede Experto: транспорт, общество, образование, язык. – 2022. – № 2. – С. 19-33. – DOI 10.51955/23121327\_2022\_2\_19. – EDN XGNRJH.
9. Данилов, В. В. Исследование параметров поверхностных акустических волн посредством АСНИ / В. В. Данилов, И. А. Третьяков // Донецкие чтения 2022: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности: Материалы VII Международной научной конференции, посвящённой 85-летию Донецкого национального университета (Донецк, 27–28 октября 2022 г.). – Том 2: Физические,

- технические и компьютерные науки / под общей редакцией проф. С.В. Беспаловой. – Донецк: Изд-во ДонНУ, 2022. – С. 182-184. – EDN MMODGO.
10. Валеев, А. Ф. Информационно-программное обеспечение автоматизированной системы научных исследований живучести объектов добычи газа / А. Ф. Валеев // Программные продукты и системы. – 2023. – №2. – С. 263-271. – DOI: 10.15827/0236-235X.142.263-271.
  11. Третьяков, И. А. Элементы устройств вычислительной техники для АСНИ контроля радиообстановки на основе эхо-эффекта / И. А. Третьяков, В. В. Данилов, С. В. Борщевский // Вестник Донецкого национального университета. Серия Г: Технические науки. – 2023. – № 1. – С. 34-39. – EDN CADMAM.
  12. Ашкенази, Е. К. Анизотропия конструкционных материалов: справочник / Е. К. Ашкенази, Э. В. Ганов. – Л.: Машиностроение, 1980. – 247 с.
  13. Тарнопольский, Ю. М. Методы статических испытаний армированных пластиков / Ю. М. Тарнопольский, Т. Я. Кинцис. – М.: Химия, 1975. – 264 с.
  14. Баранов, В. Н. Применение микроконтроллеров AVR: схемы, алгоритмы, программы / В. Н. Баранов / 2-е изд. испр. – М.: Издательский дом «Додэка – XXI», 2006. – 288 с.

*Поступила в редакцию 04.05.2023 г., рекомендована к печати 18.05.2023 г.*

## DEVELOPMENT OF AN AUTONOMOUS AUTOMATED SYSTEM FOR CONTINUOUS MONITORING OF THE CONDITION OF A CONSTRUCTION OBJECT

*Podlesnyi V.IU., Timchenko V.I., Tretiakov I.A., Danilov V.V.*

In this paper, a mock-up sample of a stationary automated monitoring station for load-bearing structures of high-rise buildings and structures built on the basis of Arduino is proposed. The developed system for monitoring the deformation of buildings and structures is an effective tool for monitoring and preventing emergency situations associated with the deformation of structures

**Keywords:** automated system, Arduino, object monitoring, structural deformation.

### **Подлесный Владимир Юрьевич**

студент кафедры радиофизики и инфокоммуникационных технологий ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», Российская Федерация, ДНР, г. Донецк.  
E-mail: PikaAyzek@yandex.ru

### **Podlesnyi Vladimir IUrevich**

Student at Department of Radiophysics and Infocommunication Technologies of Donetsk State University,  
Russian Federation, DPR, Donetsk.

### **Тимченко Владимир Иванович**

кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры радиофизики и инфокоммуникационных технологий ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», Российская Федерация, ДНР, г. Донецк.  
E-mail: vlitim@mail.ru

### **Timchenko Vladimir Ivanovich**

Candidate Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at Department of Radiophysics and Infocommunication Technologies of Donetsk State University,  
Russian Federation, DPR, Donetsk.

### **Третьяков Игорь Александрович**

кандидат технических наук, заместитель декана по научной работе, доцент кафедры радиофизики и инфокоммуникационных технологий ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», Российская Федерация, 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 State University,  
Russian Federation, DPR, Donetsk.

### **Данилов Владимир Васильевич**

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой радиофизики и инфокоммуникационных технологий ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», Российская Федерация, 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 State University,  
Russian Federation, DPR, Donetsk.

## Э Н Е Р Г Е Т И К А   И   Э Л Е К Т Р О Т Е Х Н И К А

УДК 621.182

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМЫ КРИТЕРИЕВ ДЛЯ  
АНАЛИЗА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ИСТОЧНИКОВ ТЕПЛОТЫ В  
СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ**

© 2023 Бирюков А.Б., Гнитиёв П.А.

В данной работе предложена методика для анализа энергоэффективности источников теплоты в системах теплоснабжения, которая позволяет объективно оценивать уровень энергоэффективности отдельных котельных агрегатов или групп агрегатов в течение их эксплуатации на основе использования величин к.п.д. нетто и к.п.д. брутто. Обоснована необходимость использования исключительно реальной тепловой мощности котельного агрегата при определении этих величин. Предложено производить анализ величин к.п.д. нетто и к.п.д. брутто с использованием концепции базовой линии энергоэффективности котельного агрегата. Предложены зависимости для определения к.п.д. нетто котельной в целом и влияния каждого котельного агрегата в формировании общего к.п.д.

**Ключевые слова:** энергоэффективности источников теплоты, к.п.д. нетто, к.п.д. брутто, котельный агрегат, тепловая мощность.

**Введение.** Вопросам анализа энергетической эффективности работы систем теплоснабжения уделено много внимания [1, 2]. Традиционно для оценки эффективности работы котельных агрегатов, в частности используемых в системе теплоснабжения, используются к.п.д. нетто и брутто [3]. Величина к.п.д. характеризует уровень энергоэффективности котельного агрегата (КА). Паспортное значение к.п.д. КА позволяет оценить степень технического совершенства конструкции. Реальное значение к.п.д. агрегата отражает его текущее техническое состояние, степень рациональности технологических параметров эксплуатации. Для определения к.п.д. брутто и к.п.д. нетто КА используются следующие зависимости:

$$\eta_{\text{БРУТТО}} = \frac{Q_{\text{КА}}}{Q_{\text{ХТ}}} = \frac{Q_{\text{КА}}}{V_{\text{T}} \cdot Q_{\text{НР}}},$$

$$\eta_{\text{НЕТТО}} = \frac{Q_{\text{КА}} - Q_{\text{В.СН}}}{Q_{\text{ХТ}} + Q_{\text{Э}}} = \frac{Q_{\text{КА}} - Q_{\text{СН}}}{V_{\text{T}} \cdot Q_{\text{НР}} + Q_{\text{Э}}},$$

где  $Q_{\text{КА}}$  – тепловая мощность, передаваемая теплоносителю (воде) в котельном агрегате, Вт;

$Q_{\text{ХТ}}$  – тепловая мощность, выделяющаяся в котельном агрегате при полном сжигании подаваемого топлива, Вт;

$V_{\text{T}}$  – расход топлива (газообразного), м<sup>3</sup>/с;

$Q_{\text{НР}}$  – теплота сгорания топлива, Дж/м<sup>3</sup>;

$Q_{\text{СН}}$  – тепловая мощность, расходуемая на собственные нужды котельной, Вт;

$Q_{\text{Э}}$  – электрическая мощность, расходуемая на обеспечение работы котельного агрегата и другого оборудования, Вт.

*Исследование выполнено в рамках научной темы «Повышение энергоэффективности выработки, транспортировки и потребления тепловой энергии» код (шифр) научной темы, присвоенной учредителем (организацией): FRRF-2023-0003 регистрационный номер: 1023031000013-2-2.2.3.*

Определенные по данным зависимостям значения к.п.д. используются для оценки уровня энергоэффективности процесса выработки теплоты:

- к.п.д. брутто характеризует уровень технического совершенства и реальное состояние КА;

- к.п.д. нетто дополнительно к эффективности КА учитывает уровень энергоэффективности вспомогательного электрооборудования, задействованного в процессах подготовки и нагрева теплоносителя в КА, а также степень рациональности расходования теплоты на собственные нужды котельной.

Однако существует ряд моментов, которые затрудняют использование определенных значений к.п.д. для объективного определения уровня энергоэффективности КА и управления им.

**Постановка задачи.** При сравнении к.п.д. брутто одинаковых агрегатов, работающих в разных условиях или одного и того же агрегата за различные периоды времени зачастую не учитывается, что эти значения получены в различных условиях. Общеизвестно, что к.п.д. КА зависит от тепловой нагрузки котла. Как правило, значение к.п.д. максимально при умеренных нагрузках КА и далее с ростом тепловой нагрузки плавно уменьшается по закону близкому к линейному. Таким образом, возможен случай, когда для агрегата, имеющего лучшее техническое состояние будет получено значение к.п.д., меньшее, чем у другого агрегата, работающего в более благоприятных условиях. Также существует неоднозначность при представлении зависимости к.п.д. КА от тепловой нагрузки. В ряде случаев вместо величины тепловой мощности, реально передаваемой воде в КА используется величина, определенная исходя из текущих погодных условий и закона регулирования и номинального значения температуры воды на входе в котел. Еще одним важным вопросом является тот факт, что на величину к.п.д. нетто влияет как совершенство использования электрооборудования, так и степень рациональности использования теплоты на собственные нужды.

Целью данной работы является разработка методики, позволяющей выполнять объективные оценки уровня энергоэффективности отдельных котельных агрегатов или групп агрегатов в течение их эксплуатации на основе использования величин к.п.д. нетто и к.п.д. брутто во исполнение [4].

**Основная часть.** Система централизованного теплоснабжения состоит из трех элементов: источник теплоты, тепловая сеть, потребители теплоты. Показатели эффективности каждого из элементов оказывают взаимное влияние друг на друга и определяют общую эффективность всей системы. Но для анализа энергоэффективности каждого из элементов необходимо объективно оценить степень совершенства процессов, протекающих именно в нем. Так, например, при ухудшении свойств теплоизоляции элементов тепловой сети увеличиваются теплотопотери в прямой линии, что приводит к необходимости некоторого перегрева теплоносителя и понижается температура обратной воды, поступающей в КА. Все это приводит к повышению расхода топлива. Однако эти факторы сами по себе характеризуют снижение энергетической эффективности тепловой сети, но не дают информации о техническом состоянии КА. Для решения этого вопроса применительно к КА предлагается при определении к.п.д. брутто и к.п.д. нетто в качестве  $Q_{КА}$  использовать исключительно значение, определенное как:

$$Q_{КА} = G_B \cdot C_B \cdot \Delta t,$$

где  $G_v$  – расход воды, циркулирующий через котельный агрегат, кг/с;

$C_v$  – теплоемкость воды, Дж/(кг·К);

$\Delta t$  – повышение температуры теплоносителя в КА, °С.

Величина  $\eta_{\text{брутто}}$  позволяет оценить техническое состояние КА. Причиной снижения  $\eta_{\text{брутто}}$  могут быть неполнота сгорания топлива, избыточная мощность насосов и тягодутьевых устройств, нагар на поверхностях топочных экранов, увеличение присосов воздуха, образование накипи внутри проточной части трубной системы, увеличение потерь через ограждающую конструкцию. Однако следует понимать, что величина  $\eta_{\text{брутто}}$  зависит от нагрузки КА и в диапазоне ее возможного изменения может варьироваться от долей до нескольких единиц процентов (кривая на рис. 1). Хотя для ряда используемых водогрейных КА в паспорте указываются практически одинаковые значения к.п.д. практически во всем диапазоне регулирования тепловой нагрузки.

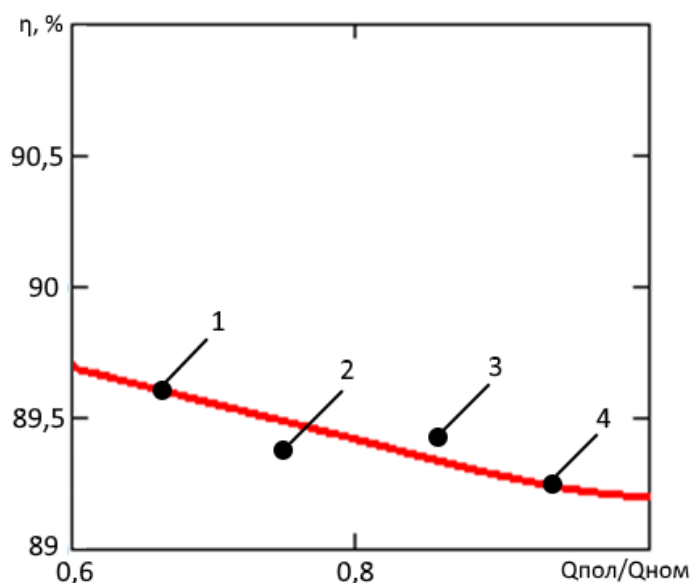


Рис. 1. Иллюстрация использования предложенного понятия линии энергоэффективности КА для анализа  $\eta_{\text{брутто}}$

Для обеспечения возможности объективного сравнения показателей как различных одноименных агрегатов, так и одного и того же КА за разные периоды времени предлагается по аналогии с концепцией линии энергоэффективности [5] для теплопотребляющего оборудования представить к.п.д. брутто КА как линию энергоэффективности (в упрощенном варианте как функцию только лишь реальной тепловой нагрузки КА, а в уточненном варианте как функцию ряда факторов).

Тогда, если речь идет о сравнении энергоэффективности одного и того же КА за разные периоды времени, используется следующий алгоритм:

- на основании паспортных данных или практических данных, полученных за сезон, строится базовая линия энергоэффективности КА (например, кривая на рис. 1);
- для текущих условий в анализируемый момент времени на основании практических данных определяется  $\eta_{\text{брутто}}(Q_{\text{КА}})$ ;
- производится графическое сравнение (взаимного расположения кривой энергоэффективности и точки данных) или количественное сравнение значения  $\eta_{\text{брутто}}(Q_{\text{КА}})$  с соответствующим значением, взятым с кривой энергопотребления.



Точки 1 и 4, несмотря на различное значение к.п.д. соответствуют базовой линии энергопотребления. Точка 3 указывает на достижение более высокой эффективности, а точка 2 на понижение эффективности, которое в случае статистической достоверности указывает на ухудшение технического состояния КА.

Значение  $\eta_{\text{НЕТТО}}$  позволяет помимо технического совершенства КА оценить рациональность функционирования электрооборудования и потребления теплоты на вспомогательные нужды КА.

При этом для анализа и определения направлений повышения уровня энергоэффективности целесообразно преобразовать выражения для определения  $\eta_{\text{НЕТТО}}$  таким образом, чтобы иметь возможность отдельно рассмотреть степень эффективности электрооборудования и потребления теплоты на вспомогательные нужды.

Для этого сначала предлагается ввести понятие коэффициент эффективности использования электрического оборудования КА ( $\chi_{\text{ЭЛ}}$ ):

$$\chi_{\text{ЭЛ}} = \frac{V_T \cdot Q_{\text{НР}}}{V_T \cdot Q_{\text{НР}} + Q_{\text{ЭЛ}}}.$$

Тогда выражение для определения к.п.д. нетто запишется как:

$$\eta_{\text{НЕТТО}} = \chi_{\text{ЭЛ}} \cdot (\eta_{\text{БРУТТО}} - \chi_{\text{ВСП}}),$$

где  $\chi_{\text{ВСП}}$  – удельные затраты энергии на вспомогательные процессы.

$$\chi_{\text{ВСП}} = \frac{Q_{\text{СН}}}{V_T \cdot Q_{\text{НР}}}.$$

Таким образом, определяя и анализируя значения не только к.п.д. нетто, но и комплекс величин  $\chi_{\text{ЭЛ}}$  и  $\chi_{\text{ВСП}}$  получаем возможность более глубоко вскрывать причины снижения энергетической эффективности.

Предложенные в работе зависимости пригодны для описания работы одного КА. Однако в случае одновременной работы нескольких КА на котельной возникают трудности с установлением того какая доля итоговых для котельной значений  $Q_{\text{В.СН}}$  и  $Q_{\text{Э}}$  должна быть отнесена каждому КА [1]. В работе авторы привели расчет для учета совместной генерации тепловой энергии котельной и ТЭЦ [6]. Причина этого заключается в том, что котельную обслуживает один участок водоподготовки, общий сетевой насос или насосная группа, возможен случай, когда один дымосос работает на несколько КА.

В этом случае предлагается определение к.п.д. нетто котельной:

$$\eta_{\text{НЕТТО}}^{\text{КОТЕЛЬНОЙ}} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_{\text{КА}}^i - Q_{\text{СН}}^{\text{К}}}{\sum_{i=1}^n V_T^i \cdot Q_{\text{НР}} + Q_{\text{Э}}^{\text{К}}},$$

где  $Q_{\text{СН}}^{\text{К}}$  – общие затраты теплоты на собственные нужды в рамках котельной, Вт;

$Q_{\text{Э}}^{\text{К}}$  – общие затраты электроэнергии в рамках котельной, Вт.

Преобразовывая выражение (получаем):

$$\eta_{\text{НЕТТО}}^{\text{КОТЕЛЬНОЙ}} = \sum_{i=1}^n \eta_{\text{БРУТТО}}^i \cdot \mu_i - \chi_{\text{ВСП}}^{\text{К}},$$

где  $\mu_i$  – доля  $i$ -го КА в общем энергопотреблении котельной;

$\chi_{ВСП}^K$  – доля удельных затрат энергии на вспомогательные процессы в рамках котельной.

$$\mu_i = \frac{\sum_{i=1}^n Q_{КА}^i}{\sum_{i=1}^n V_T^i \cdot Q_{HP} + Q_{Э}^K};$$

$$\chi_{ВСП}^K = \frac{Q_{СН}^K}{\sum_{i=1}^n V_T^i \cdot Q_{HP} + Q_{Э}^K}.$$

**Выводы.** В работе предложена методика, позволяющая выполнять объективные оценки уровня энергоэффективности отдельных котельных агрегатов или групп агрегатов в течение их эксплуатации на основе использования величин к.п.д. нетто и к.п.д. брутто. Обоснована необходимость использования исключительно реальной тепловой мощности КА при определении этих величин. Предложено производить анализ величин к.п.д. нетто и к.п.д. брутто с использованием концепции базовой линии энергоэффективности КА. Для повышения глубины анализа энергоэффективности КА предложено помимо к.п.д. нетто КА определять вспомогательные величины, характеризующие эффективность использования электрической энергии и теплоты на собственные нужды. Предложены зависимости для определения к.п.д. нетто котельной в целом и влияние каждого КА в формирование общего к.п.д.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Буланин, В. А. Алгоритм анализа энергоэффективности источника теплоснабжения / В. А. Буланин // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2019. – № 9. – С. 54-62. – DOI 10.34031/article\_5da452a45dbf30.07663447. – EDN VZACTJ.
2. Четвериков, Д. С. оптимизация работы котельного оборудования / Д. С. Четвериков // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова: Материалы конференции, Белгород, 30 апреля – 20 2021 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2021. – С. 4299-4303. – EDN LРХМWT.
3. Буланин, В. А. Надёжность и эффективность источников энергии в системах теплоснабжения / В. А. Буланин // Сантехника, Отопление, Кондиционирование. – 2020. – № 10(226). – С. 30-34. – EDN ОСVULC.
4. Российская Федерация. Законы. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации: Федеральный закон от № 261-ФЗ [принят Государственной думой 11 ноября 2009 года : одобрен Советом Федерации 18 ноября 2009 года]. – Москва: Кремль; 2009. – 47 с.
5. Методика определения энергоэффективности промышленных предприятий и построения линий энергопотребления: учебное пособие / С. М. Сафьянц, А. Б. Бирюков, А. С. Сафьянц [и др.] – Донецк: ДНТУ, 2014. – 48 с.
6. Звонарева, Ю. Н. Энергосбережение в системах теплоснабжения крупных муниципальных объединений, запитанных от нескольких источников тепла / Ю. Н. Звонарева, Ю. В. Ваньков // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2015. – Т. 326, № 11. – С. 75-82. – EDN VQWBYP.

*Поступила в редакцию 03.05.2023 г., рекомендована к печати 17.05.2023 г.*

**IMPROVING THE USE OF THE CRITERIA SYSTEM FOR ANALYZING THE ENERGY EFFICIENCY OF HEAT SOURCES IN HEAT SUPPLY SYSTEMS**

**Biriukov A.B., Gnitiev P.A.**

This paper proposes a methodology for analyzing the energy efficiency of heat sources in heat supply systems, which makes it possible to objectively assess the level of energy efficiency of individual boiler units or unit's groups during their operation, which is based on the use of efficiency net values and efficiency gross. The necessity of using exclusively the real thermal power of the boiler unit in determining these values is substantiated. It is proposed to analyze the efficiency values. net and efficiency gross using the concept of the baseline energy efficiency of the boiler unit. Dependences for determining the efficiency net values are proposed for boiler room as a whole and for the influence of each boiler unit in the formation of the overall efficiency.

**Keywords:** energy efficiency of heat sources, efficiency net values, efficiency gross, boiler unit, heat output.

**Бирюков Алексей Борисович**

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технической теплофизики, проректор ФГБОУ ВО «Донецкий национальный технический университет»,

Российская Федерация, 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, Russian Federation, DPR, Donetsk.

**Гнитиёв Павел Александрович**

кандидат технических наук, заместитель декана факультета металлургии и теплоэнергетики, доцент кафедры технической теплофизики ФГБОУ ВО «Донецкий национальный технический университет»,

Российская Федерация, ДНР, г. Донецк.

E-mail: gnitiev.pavel@gmail.com

**Gnitiev Pavel Aleksandrovich**

Candidate of Technical Sciences, Deputy Dean of the Faculty of Metallurgy and Thermal Power Engineering, Associate Professor of the Department of Technical Thermal Physics, Donetsk National Technical University,

Russian Federation, DPR, Donetsk.

ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

---



УДК 628.35

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛУВОДНЫХ ВЫСШИХ ВОДНЫХ РАСТЕНИЙ В  
ДООЧИСТКЕ НЕДОСТАТОЧНО ОЧИЩЕННЫХ СТОКОВ

© 2023 Хуррамова Д.М., Хуррамов М.Г.

---

В статье рассмотрен способ использования полуводных высших водных растений для доочистки недоочищенных стоков текстильного производства. Способ основан на практически неограниченной способности растения в процессах своей жизнедеятельности использовать многообразие веществ, содержащихся в стоке. Применение в биоколлекторах фитозаградительных барьеров из таких видов полуводных растений для доочистки является перспективным путем минимизации экологического ущерба.

**Ключевые слова:** недоочищенные сточные воды, полуводные высшие водные растения, биоколлектор, фитозаградительный барьер.

---

**Введение.** Основным источником экологической опасности текстильного производства является сброс неочищенных или недостаточно очищенных сточных вод. Большинство текстильных предприятий, испытывают дефицит средств для эксплуатации, модернизации, а тем более для строительства новых высокотехнологичных современных очистных сооружений. Существующие очистные сооружения предприятия работают неудовлетворительно по ряду причин.

Проблема очистки сточных вод текстильных производств имеет ряд особенностей, что, прежде всего, связано с большим объемом сбрасываемых сточных вод и сброс технологических стоков от разных операций в одну сеть внутри площадочной канализации приводит к перемешиванию стоков и образованию многокомпонентной смеси. Важнейшим направлением по ликвидации имеющихся недостатков является применение наиболее эффективных методов очистки, позволяющих очищать сточные воды от содержащихся в них загрязнений до допустимых концентраций, что является актуальной проблемой [1-5].

Проблемы предотвращения загрязнения водных источников текстильными производствами, могут быть решены созданием стадии глубокой доочистки в системе очистки. Одним из основных направлений применения полуводных высших водных растений (ПВВР) для глубокой доочистки промышленных стоков в фитозаградительных барьерах является наиболее эффективным и относительно дешевым методом очистки. Эффективность очистки ПВВР заключается во взаимосвязи между процессами фотосинтеза и химизма воды, и является выше, чем у других высших водных растений. Основными параметрами, определяющими эффективность очистки вод в данном способе являются их геометрические размеры, мощность, подбор макрофитов, высота слоя воды, а также комплекс самоочищения и самовосстановление. К комплексу процессов самоочищения относят физические, физико-химические, химические и биологические (биохимические) процессы. При этом биологические процессы в комплексе процессов самоочищения являются основными, остальные действуют как подготовительные, сопутствующие стадии, способствующие воздействию микроорганизмов на загрязняющие вещества [6-8].

Целью данной работы является разработка эффективного способа использования местных ПВВР, для глубокой доочистки недостаточно неочищенных стоков текстильного производства.

**Материалы и методы** исследований включали: аналитическое обобщение известных научных и технических результатов, лабораторные исследования с использованием физико-химических методов анализа сточных вод и полевые опыты. Измерения проведены в соответствии с нормативно-технической документацией.

**Результаты и их обсуждение.** В качестве базового объекта были выбраны недостаточно очищенные сточные воды красильно-отделочного производства «Садо» и ЛТД «Оксарай» и шелкомотальная фабрика «Кумуш тола», которые находятся в промплощадке предприятий г. Шахрисабза.

Анализ качества очищенных вод в общезаводских очистных сооружениях предприятия представлен в таблице 1.

Таблица 1. Показатели качества общезаводских очистных сооружений сбрасываемой воды в коллектор

Определяемые показатели	Результаты исследований	Величина допустимого уровня	Превышение в <i>n</i> раз
Водородный показатель	9,0±0,5 единиц рН		
Взвешенные вещества	125±15 мг/дм <sup>3</sup>	19,0 мг/дм <sup>3</sup>	7
Интенсивность окраски по разбавление	1:360±50		
СПАВ	5±0,3 мг/дм <sup>3</sup>	0,5 мг/дм <sup>3</sup>	10
БПК <sub>полн</sub>	28±5 мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	2,0 мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	15
ХПК	360±35 мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	15 мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	24
Азот аммонийной	25±1,5 мг/дм <sup>3</sup>	2 мг/дм <sup>3</sup>	13
Сульфат-ион	168±30 мг/дм <sup>3</sup>	100 мг/дм <sup>3</sup>	1,7
Нефтепродукты	0,067±0,016 мг/дм <sup>3</sup>	0,05 мг/дм <sup>3</sup>	
Запах (при 20 <sup>0</sup> С)	4±1 балл	2 балл	2

Результаты проведённого исследования (табл. 1) свидетельствуют о том, что основные показатели качества воды не соответствуют нормативным значениям ПДК. По отдельным показателям химического загрязнения находится в пределах критических значений [9, 10].

Из вышеизложенного следует, что особенно страдают от сброса недостаточно очищенных сточных вод этой отрасли малые водные ресурсы, не имеющие высокой разбавляющей и самоочищающей способности. Существующие очистные сооружения не могут обеспечить доведение остаточных концентраций заявленных ПДК по загрязнителям.

Исходя из суточного расхода недостаточно очищенных сточных вод  $Q=2000$  м<sup>3</sup>/сут, в ложе мелководной реки «Кара-сув», построили фитозаградительных барьер из ПВВР типа биоколлектор. После очистки в общезаводских очистных сооружениях, транспортировка осуществляется, на расстояние 2,5 км сточные воды по самотечному трубопроводу поступают в биоколлектор конструкция выпуски затопленные (рис. 1).



Рис. 1. Выпуск сточных вод предприятий в коллекторе

На основании литературного анализа и полевого опыта при выборе особое внимание уделяли условиям, в которых находятся ПВВР. Поэтому применяемые ПВВР должны быть приспособлены к климатическим особенностям территории, чередованию влажных периодов, а также быть устойчивыми к токсичным веществам, присутствующим в стоке текстильного производства. В соответствии с поставленными задачами в качестве в фитозаградительных барьеров был выбран многолетний ПВВР: семейство (*Brassicales*), род (*Nasturtium*), порядка (*Brassicaceae*), которые доминируют в данной местности.

Наши наблюдения показали, что растения растут в водно-болотных условиях близко горным районам, южной части Узбекистана (Кашкадарьинской области). Стоит особо отметить, что рост и развитие растений протекает активнее, вегетативные процессы на открытых площадях продолжаются, до 12 месяцев в год и благодаря круглогодичной жизнедеятельности этих ПВВР очистка сточных вод продолжается и зимой в условиях республики [8].

Следующий этап — это подготовка и планирование биоколлектора. Конструктивно биоколлектор представляет собой открытый тип длиной 120 м; шириной 4 м; глубиной 0,6 м; самотечный, безнапорный и с уклоном 0,003, для того чтобы сток протекал с необходимой скоростью неполным заполнением.

Для посадки на биоколлектор молодые растения отбирали из естественных популяций примыкающей мелководной реки «Кара-сув». Технология культивирования используемых ПВВР в биоколлекторе осуществляется с помощью корневищ вместе с материнским грунтом. Характер грунта илистый. Плотность посадки 90-110 шт, на 1м<sup>2</sup> (рис. 2).

Скорость течения потока 0,007-0,01 м/с; при слое 0,08-0,10 м. Оптимальную скорость течения установили простым способом - методом поплавков. Прямо в потоке отмеряется определенное расстояние, затем запускаются специально подготовленные поплавки, и измеряется время, за которое они пройдут выбранный отрезок и потом вычисляется скорость течения. Слой стоков определяется мерной линейкой.



Рис. 2. Общий вид биоколлектора

Сточные воды текстильного производства в качестве основных загрязнителей содержат красители, характерной особенностью которых является их интенсивная окраска.

Для обесцвечивания очищаемых вод под воздействием энергии солнечной радиации и кислорода воздуха, при сочетании деятельности микроорганизмов после 50 метров промежуточных два буферных участка с длиной 20 м без ПВВР с глубиной 0,4 м (рис. 3).



Рис. 3. Вид промежуточного участка без ПВВР

На предприятиях текстильной промышленности главным образом используются органические низкомолекулярные красители. В ходе исследований установлено, что при одновременном воздействии на участке энергии солнечной радиации, кислорода воздуха и сообщества микроорганизмов красители, присутствующие в ионной форме удаляются полностью.

**Выводы.** Оптимальная нагрузка на 0,9-1,0 м<sup>2</sup> площади биоколлектора составляет 1,0-1,2 м<sup>3</sup>/сутки очищаемых вод, при этом плотность растений на площадке составляет 90-110 шт/м<sup>2</sup> и степень покрытия всей площади ПВВР 95-100%. Эффективность процессов самоочищения зависит от величины площади, занятой растениями. Продолжительность пребывания очищаемых вод 28-30 ч.

Анализ качества очищенных вод на биоколлектора показал, что в результате очистки бактериальная загрязненность снижается до 99,6%; по микробному числу и колич. индексу до 99,9%; ХПК = до 85%; БПК<sub>полн.</sub> = до 98%. На выходе биоколлектора количество растворенного кислорода составляет 4,5-5,0 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> и взвешенного вещества-0,24 мг/дм<sup>3</sup>.

Как показал наш опыт, практическое применение ПВВР в качестве фитозаградительных барьеров имеет ряд преимуществ, в первую очередь — это экологическая чистота и безопасность, а также доступность, простота эксплуатации, экономичность в строительстве, не требует затрат энергии на эксплуатацию, надежность работы в благоприятных климатических условиях. Срок их эксплуатации не ограничены и обеспечивает высокую степень глубокой доочистки стоков по сравнению с традиционными методами.

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Киселёв, А. М. Экологические аспекты процессов отделки текстильных материалов /А. М. Киселёв // Журнал Всесоюзного химического общества им. Д. И. Менделеева. – 2002. – Т. XLVI. – № 1. – С. 20–30.
2. Краснобородько, И. Г. Деструктивная очистка сточных вод от красителей / И. Г. Краснобородько. – Л.: Химия, 1988. – 192 с.
3. Ласков, Ю. М. Очистка сточных вод красильно-отделочных предприятий хлопчатобумажной промышленности физико-химическими методами / Ю. М. Ласков, Н. А. Ефимова // В кн.: Вопросы очистки сточных вод. – М., 2010. – С. 102-108.
4. Хуррамов, М. Г. Комбинированная технология очистки сточных вод текстильного производства с использованием местного сырья: монография / М. Г. Хуррамов. – Изд. КарДУ.: Карши. – 2016. – 113 с.
5. Соломонова, Е. А. Изучение устойчивости макрофитов к анионным ПАВ и ПАВ - содержащим смесевым препаратам в целях разработки научных основ фитотехнологий / Е. А. Соломонова. – М.: МАКС Пресс, 2007. – 38 с.
6. Садов, С. Ф. Экологические проблемы отделочного производства: учеб. для вузов. / С. Ф. Садов, Г. Е. Кривцова, М. В. Коновалова / Под редак. С.Ф. Садовой. – М.: РИО МГТУ, 2002. – 284 с.
7. Ласков, Ю. М. Отраслевой сборник методик проведения химического анализа веществ, применяемых в легкой промышленности, содержащихся в сточных водах / Ю. М. Ласков, Н. В. Степанова, Н. Ю. Акимцева. – М.: ЦНИИТЭИ, 1988. – 193 с.
8. Шинибаев, А. Д. Оценка современного состояния проблем очистки производственных сточных вод от ПАВ и красителей / А. Д. Шинибаев, Ш. Жакыпбекова // Вестник КазНТУ. – 2014. – № 4. – С. 234–238.
9. СП 32.13330.2012. Канализация наружные сети и сооружения. – М.: ФАУ «ФЦС», 2012. – 92 с.
10. Пестриков, С. В. Обоснование эффективности эколого-геохимического барьера с высшими водными растениями для доочистки сточных вод от ионов тяжелых металлов / С. В. Пестриков // Журнал инженерная экология. – 2007. – №2. – С.21-28.

*Поступила в редакцию 03.04.2023 г, рекомендована к печати 27.04.2023 г.*



**STUDY SEMI-AQUATIC HIGHER AQUATIC PLANTS IN THE POST-TREATMENT OF  
INSUFFICIENTLY TREATED WASTEWATER**

*KHurramova D.M., KHurramov M.G.*

The article considers the method of using semi-aquatic higher aquatic plants for the post-treatment of untreated drains of textile production. The method is based on the almost unlimited ability of the plant in the processes of its vital activity to use the variety of substances contained in the drain. The use of phyto barrier barriers from such types of semi-aquatic plants for post-treatment in bib collectors is a promising way to minimize environmental damage.

**Keywords:** untreated wastewater, semi-aquatic higher water plants, biocollector, phytoprotective barrier.

**Хуррамова Дилобар Мухторовна**

ассистент кафедры экологии Международного  
инновационного университета,  
Узбекистан, г. Карши.  
E-mail: xurramova-2011@mail.ru

**KHurramova Dilobar Mukhtorovna**

Assistant of the Department of Ecology of the  
International Innovation University,  
Uzbekistan, Karshi.

**Хуррамов Мухтор Гулович**

кандидат технических наук, доцент, доцент  
кафедры технологического образования  
Каршинского государственного университета,  
Узбекистан, г. Карши.  
E-mail: xurramova-2011@mail.ru

**KHurramov Mukhtor Gulovich**

Candidate of Technical Sciences, Associate  
Professor, Associate Professor at Department of  
Technological education of Karshi State University,  
Uzbekistan, Karshi.

## ПОЗДРАВЛЕНИЕ С УСПЕШНОЙ ЗАЩИТОЙ ДИССЕРТАЦИИ

Физико-технический факультет поздравляет старшего преподавателя кафедры радиофизики и инфокоммуникационных технологий Бабичеву Маргариту Вадимовну с успешной защитой диссертационной работы «Автоматизированные системы научных исследований угроз безопасности личности» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.3 Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (технические науки) в диссертационном совете 02.2.006.02.



С 2015 года Бабичева М.В. работает старшим преподавателем кафедры радиофизики и инфокоммуникационных технологий Донецкого национального университета, а в общей сложности имеет более семи лет педагогического стажа.

Кроме того, Бабичева М. В. автор более 50 научных работ и учебных пособий, а также победитель университетских конкурсов «Лучший научный руководитель студентов 2019 года» и «Лучший научный руководитель студентов 2022 года».

Желаем Маргарите Вадимовне новых творческих и научных достижений!

Коллектив Физико-технического факультета ДонГУ

## 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 источников, сведения об авторах. Вместе с рукописью на адрес электронной почты [vestnik.donnu.g@donnu.ru](mailto: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 источников, 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 ИСТОЧНИКОВ** 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 источников общим списком в порядке упоминания в тексте на языке оригинала в соответствии с ГОСТ Р 7.0.100–2018 «Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления». Ссылка на источник приводится в квадратных скобках. Разрешается ссылаться только на опубликованные работы. Необходимо наличие источников последних 5-10 лет по исследуемому вопросу.
- **Через строку:** надпись «*Поступила в редакцию xx.xx.20xx г., рекомендована к печати xx.xx.20xx 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 65.011.56:681.5.08

## ЭЛЕМЕНТЫ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ИЗМЕРЕНИЯ ПАВ ПОСРЕДСТВОМ МЕТОДОВ ОПТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

© 2023 Третьяков И.А., Данилов В.В.

---

В данной работе продолжено описание элементов специализированных автоматизированных систем научных исследований параметров поверхностных акустических волн, на основе оптического зондирования, в частности, метода стационарной опорной решетки и метода «ножевой диафрагмы».

**Ключевые слова:** автоматизированная система, поверхностные акустические волны, дифракция.

---

**Введение.** Оптические методы измерения параметров ПАВ [1-3] ...

**Постановка задачи.** По многочисленности обрабатываемой информации [4] ...

**Метод оптического зондирования.** При зондировании поверхностных ...

**Выводы.** Таким образом, показаны элементы автоматизированных ...

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Яновский, А. В. Структуры автоматизированных систем научных исследований параметров поверхностных акустических волн / А. В. Яновский, И. А. Третьяков, В. В. Данилов // Вестник Донецкого национального университета. Серия Г: Технические науки. – 2021. – № 4. – С. 46-53. – EDN FOBKIO.
2. Автоматизированные системы научных исследований. – URL: [https://studbooks.net/1386372/avtomatizirovannye\\_sistemy\\_upravleniya](https://studbooks.net/1386372/avtomatizirovannye_sistemy_upravleniya) (дата обращения: 20.02.2023).

*Поступила в редакцию xx.xx.2023 г., рекомендована к печати xx.xx.2023 г.*

### ELEMENTS OF AUTOMATED PSAW MEASUREMENT SYSTEMS BY MEANS OF OPTICAL SENSING METHODS

*Tretiakov I.A., Danilov V.V.*

In this paper, the description of the elements of specialized automated systems for scientific research of the parameters of surface acoustic waves, based on optical sensing, in particular, the method of stationary support grating and the method of "knife diaphragm", is continued.

**Keywords:** automated system, surface acoustic waves, diffraction.

#### **Третьяков Игорь Александрович**

кандидат технических наук, заместитель декана по научной работе, доцент кафедры радиофизики и инфокоммуникационных технологий ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», Российская Федерация, 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 State University, Russian Federation, DPR, Donetsk.

#### **Данилов Владимир Васильевич**

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой радиофизики и инфокоммуникационных технологий ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет», Российская Федерация, 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 State University, Russian Federation, 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:

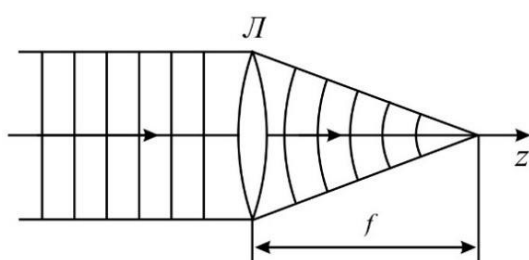


Рис. 1. Действие линзы на плоскую волну

Таблица 1. Номиналы элементов схемы УМ класса F<sub>3</sub>

Элемент	Номинал	Единица измерения
C <sub>out</sub>	25	пФ
C <sub>1</sub>	10	нФ
C <sub>2</sub>	100	мкФ
L <sub>1</sub>	150	мкГн
L <sub>2</sub>	460	нГн
L <sub>3</sub>	765	нГн
R <sub>1</sub>	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, Российская Федерация, Донецкая Народная Республика, г. Донецк, пр. Театральный, д. 13, Физико-технический факультет.

**Главный редактор:** Данилов Владимир Васильевич, каб. 203.

**Зам. главного редактора:** Третьяков Игорь Александрович, каб. 210.

**Ответственный секретарь:** Пометун Екатерина Дмитриевна, каб. 001.

**Контактный тел.:** +7 (856) 302 07 81

**Е-mail:** [vestnik.donnu.g@donnu.ru](mailto:vestnik.donnu.g@donnu.ru)

*Научное издание*

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

**– 2023. – № 2.**

Научное и техническое редактирование: И.А. Третьяков, Е.Д. Пометун

---

Адрес редакции:

ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет»,  
283001, Российская Федерация, ДНР, г. Донецк, пр. Театральный, д. 13.

Тел.: +7 (856) 302 07 81.

E-mail: [vestnik.donnu.g@donnu.ru](mailto:vestnik.donnu.g@donnu.ru)

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

---

Подписано в печать 31.05.2023 г.  
Формат 60×84/8. Бумага офсетная.  
Печать – цифровая. Усл. печ. л. 8,84.  
Тираж 100 экз. Заказ. №  
Бесплатно.

Издательство ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет»  
283001, Российская Федерация, ДНР, г. Донецк, ул. Университетская, д. 24.  
Тел.: +7 (856) 302 92 27.

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