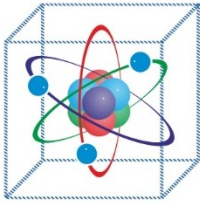


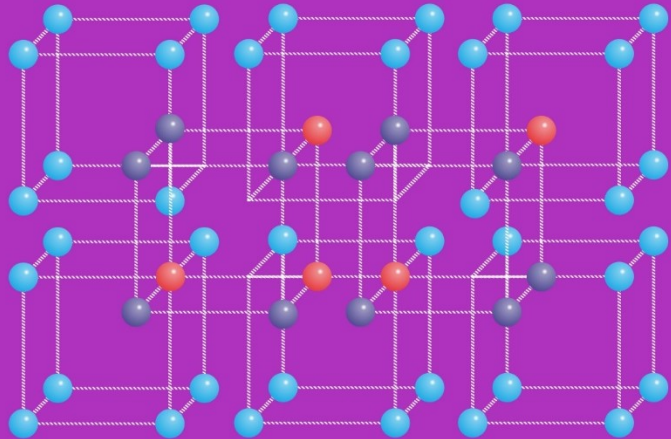
ISSN 2713-0010



НАУЧНО-ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР  
**ВЕСТНИК  
НАУКИ**

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ**

**ИННОВАЦИОННЫЕ НАУЧНЫЕ  
ИССЛЕДОВАНИЯ**



**ИННОВАЦИОННЫЕ НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Сетевое издание

Научный журнал

Издание основано в 2020 г.

Периодичность: 6-12 номеров в год.

Регистрационный номер СМИ Эл № ФС 77-80419 от 09.02.2021, выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.

Учредитель: Научно-издательский центр «Вестник науки»

**Редакционная коллегия**

*Халиков Альберт Рашитович* (главный редактор), к.ф.-м.н., доцент каф. ЭИ, Уфимский университет науки и технологий; *Ефременко Евгений Сергеевич*, к.мед.н., доцент, зав. кафедрой биохимии, Омский государственный медицинский университет; *Старшкова Маргарита Валерьевна*, к.с.н., доцент, каф. социализации и развития личности, КАУ ДПО Алтайский институт развития образования им. А.М. Топорова; *Волков Александр Ильич*, к.с.-х.н., доцент, каф. Агроинженерии и технологии производства, переработки сельскохозяйственной продукции, Марийский государственный университет; *Маслова Жанна Николаевна*, д.филол.н., доцент, каф. Русский и иностранные языки, Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I; *Царегородцев Евгений Леонидович*, к.т.н., доцент, каф. Технологические машины и оборудование, филиал «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске; *Симонова Светлана Сергеевна*, к.ю.н., каф. уголовного права, уголовного процесса и криминалистики, Волгоградский институт управления-филиал РАНХиГС; *Мальшиенко Константин Анатольевич*, к. э. н., доцент, каф. Экономики и финансов, Гуманитарно-педагогическая академия (филиал) КФУ имени В. И. Вернадского в г. Ялте; *Светлана Глебова Горбовская*, д.ф.н., доцент, доцент, каф. Французского языка, Санкт-Петербургский государственный университет; *Мишина Наталья Николаевна*, к.б.н., доцент, каф. Биологии, экологии и химии, Башкирский государственный университет; *Смятская Юлия Александровна*, к.т.н., доцент, Высшая школа биотехнологий и пищевых производств, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого; *Андрюшина Анна Сергеевна*, к.п.н., доцент, каф. педагогики и психологии детства, Уральский государственный педагогический университет; *Таваров Саиджон Ширалиевич*, к.т.н., доцент, каф. Безопасность жизнедеятельности, Южно-Уральский государственный университет; *Гриненко Светлана Викторовна*, д.э.н., профессор, факультет туризма и сервиса, Сочинский государственный университет; *Шевчук Вячеслав Владимирович*, к.м.н., доцент, каф. факультетской терапии №2, профессиональной патологии и клинической лабораторной диагностики, Пермский государственный медицинский университет им. академика Е.А. Вагнера Министерства здравоохранения РФ; *Преликова Елена Анатольевна*, к.соц.н., доцент, каф. охраны труда и окружающей среды, Юго-Западный государственный университет; *Белая Марина Николаевна*, к.т.н., доцент, каф. Техногенной безопасности и метрологии, Севастопольский государственный университет; *Еналдиева Мадина Анатольевна*, к.т.н., доцент, каф. Начертательной геометрии и геодезии, Северо-Кавк осударственный технологический университетазский горно-металлургический институт; *Федор Алексеевич Попов*, д.т.н., профессор, главный научный сотрудник, отделение вычислительной техники и автоматики (ОВТИА), каф. методов и средств измерений и автоматизации (МСИА), АО ФНПЦ Алтай, Бийский технологический институт АлтГТУ; *Юлия Ивановна Минина*, к.э.н., доцент, каф. менеджмента и цифрового маркетинга, Международный институт рынка; *Куликов Сергей Николаевич*, к.б.н., в.н.с., лаборатория иммунологии и разработки аллергенов, Казанский НИИ эпидемиологии и микробиологии Роспотребнадзора; *Лыгин Сергей Александрович*, к.х.н., доцент, каф. биологии экологии и химии, Бирский филиал Уфимского университета науки и технологий; *Ильин Игорь Михайлович*, к.ю.н., доцент, каф. государственно-правовых дисциплин, НовГУ им. Ярослава Мудрого; *Решетняк Сергей Николаевич*, к.т.н., доцент, каф. Энергетика и энергоэффективность горной промышленности, НИТУ МИСиС; *Етхин Алексей Иванович*, к.т.н. доцент, Зав. каф. Эксплуатация судовых механических установок ФГБОУ ВО "ГМУ имени адмирала Ф.Ф.Ушакова".

**Тип лицензии СС поддерживаемый журналом: Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)**

Адрес редакции:

450092, г. Уфа, ул. С. Кувыкина, 18/1-47. Тел.: +7 (347) 262-82-35

Официальный сайт: <https://ip-journal.ru/>E-mail: [redactor.vestnic@gmail.com](mailto:redactor.vestnic@gmail.com)

© Корректурa и верстка ООО «Научно-издательский центр «Вестник науки», 2024

© Коллектив авторов, 2024

---

**INNOVATIVE SCIENTIFIC RESEARCH**Online edition  
Science Journal

---

The publication was founded in 2020.

Frequency: 6-12 issues per year.

Media registration number EL No. FS 77-80419 dated February 9, 2021, issued by the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology and Mass Media.

Founder: Research and publishing center "Vestnik nauki"

---

**Editorial team**

*Khalikov Albert Rashitovich (Editor-in-Chief), Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department Eli, Ufa University of Science and Technology; Efremenko Evgeniy Sergeevich, Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Head, Department of Biochemistry, Omsk State Medical University; Starchikova Margarita Valerievna, Ph.D., Associate Professor, Dept. socialization and personality development, KAU DPO Altai Institute for the Development of Education. A.M. Toporova; Volkov Alexander Ilyich, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Dept. Agroengineering and production technologies, processing of agricultural products, Mari State University; Maslova Zhanna Nikolaevna, Doctor of Philology, Associate Professor, Dept. Russian and Foreign Languages, Emperor Alexander I St. Petersburg State University of Communications; Tsaregorodtsev Evgeny Leonidovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Dept. Technological machines and equipment, a branch of NRU MPEI in Smolensk; Simonova Svetlana Sergeevna, Ph.D. criminal law, criminal procedure and criminalistics, Volgograd Institute of Management, a branch of the RANEPa; Malyschenko Konstantin Anatolievich, Ph.D. Ph.D., Associate Professor, Dept. Economics and Finance, Humanitarian and Pedagogical Academy (branch) of KFU named after V. I. Vernadsky in Yalta; Svetlana Glebovna Gorbovskaya, Doctor of Philological Sciences, Associate Professor, Associate Professor, Dept. French, St. Petersburg State University; Minina Natalya Nikolaevna, Ph.D., Associate Professor, Dept. Biology, Ecology and Chemistry, Bashkir State University; Snyatskaya Yuliya Aleksandrovna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Higher School of Biotechnology and Food Production, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University; Andryanina Anna Sergeevna, Ph.D., Associate Professor, Dept. pedagogy and psychology of childhood, Ural State Pedagogical University; Tavarov Saijon Shiralievich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Dept. Life Safety, South Ural State University; Grinenko Svetlana Viktorovna, Doctor of Economics, Professor, Faculty of Tourism and Service, Sochi State University; Shevchuk Vyacheslav Vladimirovich, Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Dept. Faculty Therapy No. 2, Occupational Pathology and Clinical Laboratory Diagnostics, Perm State Medical University. Academician E.A. Wagner of the Ministry of Health of the Russian Federation; Prelikova Elena Anatolyevna, Candidate of Social Sciences, Associate Professor, Dept. health and safety, Southwestern State University; Belaya Marina Nikolaevna, Ph.D., Associate Professor, Dept. Technogenic Safety and Metrology, Sevastopol State University; Enaldieva Madina Anatolyevna, Ph.D., Associate Professor, Dept. Descriptive Geometry and Geodesy, North Caucasus State Technological University Mining and Metallurgical Institute; Fedor Alekseevich Popov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher, Department of Computer Science and Automation (OVTIA), Dept. methods and means of measurement and automation (MSIA), JSC FNPC Altai, Biysk Technological Institute of AltSTU; Yulia Ivanovna Minina, Candidate of Economics, Associate Professor, Dept. Management and Digital Marketing, International Market Institute; Kulikov Sergey Nikolaevich, Ph.D., Leading Researcher, Laboratory of Immunology and Allergen Development, Kazan Research Institute of Epidemiology and Microbiology of Rospotrebnadzor; Lygin Sergey Alexandrovich, Ph.D., Associate Professor, Dept. biology, ecology and chemistry, Birk branch of the Ufa University of Science and Technology; Ilyin Igor Mikhailovich, PhD in Law, Associate Professor, Dept. state-legal disciplines, NovSU named after Yaroslav the Wise; Reshetnyak Sergey Nikolaevich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Dept. Energy and energy efficiency of the mining industry, NUST MISiS; Epikhin Alexey Ivanovich, Ph.D. Associate Professor, Head cafe Operation of ship mechanical installations FGBOU VO "GMU named after Admiral F.F. Ushakov".*

---

**CC license type supported by the journal: Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)**

Editorial office address:

450092, Ufa, st. S. Kuvykina, 18/1-47. Tel. : +7 (347) 262-82-35

Official site: <https://ip-journal.ru/>E-mail: [redactor.vestnic@gmail.com](mailto:redactor.vestnic@gmail.com)© Proofreading and layout Scientific Publishing Center Vestnik Nauki LLC, 2024  
© Team of authors, 2024

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>РАЗДЕЛ. ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ</b> .....	<b>4</b>
ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ПАКЕТА MATHCAD ПРИ РЕШЕНИИ УРАВНЕНИЙ <i>С.В. Сухонина</i> .....	4
РЕДКИЕ СЛУЧАИ ЖЕЛУДОЧНО-КИШЕЧНОГО КРОВОТЕЧЕНИЯ ПО САРАТОВСКОЙ ОБЛАСТИ <i>О.И. Ананьева, П.И. Спирын, А.В. Беликов</i> .....	10
<b>РАЗДЕЛ. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ</b> .....	<b>20</b>
АДСОРБЕНТЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В СИСТЕМАХ АДСОРБИРОВАННОГО АККУМУЛИРОВАНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА <i>А.А. Курилкин, П.В. Сохатюк, А.В. Школин</i> .....	20
ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ТОПЛИВА В ДВИГАТЕЛЯХ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ <i>С.В. Михайлов, В.А. Седнин</i> .....	31
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ УСЛОВИЙ МАКРОТРАВЛЕНИЯ <i>И.В. Панкратова, М.В. Хаустов</i> .....	38
ВОЗДЕЙСТВИЕ ХИМИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ И ПЫЛИ, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКЕ, НА ЗДОРОВЬЕ РАБОТНИКОВ <i>Н.А. Поповский</i> .....	48
INVESTIGATIONS OF DEEP LEARNING ALGORITHMS IN THE PROBLEMS OF CLASSIFICATION, FORECASTING, IMAGES PROCESSING AND RECOGNITION <i>G.I. Hamidov</i> .....	56

**РАЗДЕЛ. ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ**

<https://doi.org/10.5281/zenodo.12606820>

УДК 371.3:51

**ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ПАКЕТА  
MATHCAD ПРИ РЕШЕНИИ УРАВНЕНИЙ**

**С.В. Сухонина,**

студентка 4 курса, напр. «Педагогическое образование», профиль  
спец. «Математика и Экономика»

**Аннотация:** В статье рассматривается возможность использования программного пакета MathCad. Цель – ознакомить учащихся старших классов с решением алгебраических уравнений и их систем. В рамках статьи рассмотрен алгоритм использования программы MathCad с целью графического решения уравнений. Определены основные функции, используемые в программе MathCad для решения алгебраических уравнений или систем уравнений. Mathcad представляет собой удобное в использовании приложение.

**Ключевые слова:** уравнение, система уравнений, система MathCad, учащиеся

---

**USING THE MATHCAD PACKAGE IN SOLVING EQUATIONS**

**S.V. Sukhonina,**

4th year student, direction "Pedagogical Education", specialization profile  
"Mathematics and Economics"

**Annotation:** The article discusses the possibility of using the MathCad software package. The purpose is to familiarize high school students with the solution of algebraic equations and their systems. The article considers an algorithm for using the MathCad program to graphically solve equations. The main functions used in the MathCad program for solving algebraic equations or systems of equations are defined. Mathcad is an easy-to-use application.

**Keywords:** equation, system of equations, MathCad system, students

---

Актуальность изучения данной темы определяется ее практической значимостью, в частности, возможностью использования ее результатов в ходе подготовки занятий по алгебре в старших классах при изучении темы «Уравнения». При этом использование на уроках пакета MathCad возможно как с целью ознакомления учащихся с новым материалом, так и для проверки и контроля знаний учащихся в области решения алгебраических уравнений и их систем.

Система MathCad представляет собой пакет для выполнения математических вычислений, включающий текстовый редактор, вычислитель и графический процессор. Поля текстового редактора позволяют писать отдельные комментарии под расчетами, записывать числовые выражения и математические символы. Изначально программа позволяла писать комментарии только на английском языке, современная версия программы содержит русскоязычный пакет.

Вычислитель позволяет проводить расчеты согласно заданным математическим формулам. Программа содержит большое количество уже встроенных математических выражений и функций, благодаря которым можно производить как простые математические расчеты, так и вычисления интегралов, производных, осуществлять действия с матрицами и др. Для произведения вычислений необходима команда от пользователя или ввод формулы в соответствующую строку.

Первая версия программного пакета MathCad была выпущена в 1986 году компанией MathSoft Inc (США). Ключевая особенность системы MathCad – язык ввода, максимально приближенный к естественному математическому языку [1-4].

MathCad от других подобных продуктов отличает ее направленность на создание высококачественных документов (отчетов, статей, докладов) в режиме WYSIWYG (What You See Is What You Get). При внесении изменений пользователь сразу же видит результаты и в любой момент может распечатать полученный

документ. Преимущество MathCad в том, что данное программное обеспечение не только позволяет выполнять необходимые расчеты, но и позволяет включить в работу графики, рисунки, таблицы, математические формулы. Тем самым уникальность MathCad заключается в том, что пользователь может не только произвести необходимые расчеты, но и проявить творческий подход в оформлении работы [5].

Вычисление отдельных выражений и работа с дискретными переменными являются первым этапом проведения расчетов по основным математическим операциям [6]. Полученные результаты программа MathCad может представить не только в числовой и символьной форме, но и графически. При этом символы являются необходимой частью представления данных вычислений, так как служат определением таких математических функций, как предел, производная, интеграл.

В Mathcad для решения алгебраических уравнений и систем уравнений используются следующие команды: «root (корень)», polyroots («корень полинома»), Given – Find (задано – найти)».

С помощью функций root и polyroots в программе выполняется возвращение нулей функции. В случае если необходимо рассчитать несколько корней уравнения, то математическое уравнение должно быть преобразовано в функцию (рис. 1):

До преобразования	После преобра
$a \cdot x = b$	$f(x) = a \cdot x - b$

Рисунок 1 – Преобразование функции

Данное преобразование заключается в переносе части уравнения в противоположную сторону с изменением знака перед переменной  $b$ .

Основные функции, используемые в программе MathCad для решения алгебраических уравнений или систем уравнений, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные функции, используемые в программе MathCad для решения алгебраических уравнений

№	Наименование функции	Общая характеристика функции
1	<u>Find</u> (x,y,...)	Возвращение значений $x, y, \dots$ , которые удовлетворяют заданным ограничениям: определенным в блоке решений равенствам и неравенствам
2	<u>Maximize</u> (f, var1, var2,...)	Возвращение значений var1 и var2, обеспечивающих максимальное значение функции
3	<u>Given</u>	Заданное начальное приближение для каждого значения
4	<u>Minerr</u> (x,y,...)	Возвращение значений $x, y, \dots$ , которые наиболее точно удовлетворяют системе уравнений

Для решения системы нелинейных уравнений в программе MathCad используются следующие операторы: `given...find` и `given...minerr`. При этом важно правильно ввести известные переменные, так как именно от правильности ввода данных зависит дальнейшее решение системы нелинейных уравнений. В программе MathCad можно произвести не только расчет решений системы уравнения, но и последующую проверку с целью контроля правильности полученных расчетов. Важно помнить, что программа MathCad предполагает, что количество переменных должно быть равно количеству уравнений, что не всегда встречается в математических задачах [7].

MathCad содержит в себе возможность проведения расчетов с использованием метода Гаусса для решения системы уравнений. Метод Гаусса бывает прямым (расширенная матрица посредством математических операций преобразуется в шахматный вид) и обратным (преобразование шахматной матрицы). С помощью функции `rref(A)` в MathCad можно выполнить расчет прямым и обратным методом Гаусса [8].

Также решение может быть осуществлено символьным методом и путем построения графика. Графическое решение предполагает, что уравнение  $f(x) = 0$  в программе представлено в виде графика функции  $f(x)$ . Пересечения графика с осью абсцисс – это и есть решения заданного уравнения.

Таким образом, Mathcad представляет собой удобное в использовании и информативное по результатам математических расчетов приложение, которое по сравнению с аналогичными



программами, позволяет быстро решать математические задачи и оформлять их с использованием графического материала. Язык программы Mathcad является простым и схожим с общепринятым математическим языком.

Достоинствами использования возможностей Mathcad являются: универсальность данного инструмента; общепринятый математический язык, понятные для пользователей; комплексный характер решения: совмещение возможностей текстового редактора, графического процессора и визуального представления результатов.

### Список литературы

[1] Мякишев Д.О. Использование программного пакета Mathcad при решении система алгебраических уравнений // Международный школьный научный вестник. – 2020. № 1. [Электронный ресурс] – URL: <https://school-herald.ru/ru/article/view?id=1261> (дата обращения: 10.05.2024).

[2] Козлов В.В. Решение математических задач в среде MathCAD: метод. указания к лабораторным работам / В.В. Козлов, В.В. Регада, О.Н. Регада. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2019. 84 с.

[3] Далингер В.А. Решение уравнений в математических средах mathcad и maple / В.А. Далингер // Научное обозрение. Педагогические науки. – 2018. № 1. 10-22 с.

[4] Гибадуллин А.А. Mathcad и графическое решение уравнений / А.А. Гибадуллин // Современные инновации. – 2016. №11 (13).

[5] Мякишев Д.О. Использование программного пакета mathcad при решения систем алгебраических уравнений / Д.О. Мякишев // Международный школьный научный вестник. – 2020.

[6] Медведева Н.В. Применение системы mathcad для решения задач по линейной алгебре / Н.В. Медведева // Международный журнал экспериментального образования. – 2016. № 9-1. 52-54 с.

[7] Леонтьев А.Л. Методика использования пакета Mathcad при рассмотрении уравнения колебаний / А.Л. Леонтьев // Вестник Таганрогского института имени А. П. Чехова. – 2019.

[8] Диков А.В. Mathcad в обучении решению нелинейных уравнений / А.В. Диков // Вестник МГПУ. Серия: Информатика и информатизация образования. – 2005. №4.

## Bibliography (Transliterated)

[1] Myakishev D.O. Using the Mathcad software package when solving a system of algebraic equations // International School Scientific Bulletin. – 2020. No. 1. [Electronic resource] – URL: <https://school-herald.ru/ru/article/view?id=1261> (access date: 05/10/2024).

[2] Kozlov V.V. Solving mathematical problems in the MathCAD environment: method. instructions for laboratory work / V.V. Kozlov, V.V. Regeda, O.N. Regeda. – Penza: PSU Publishing House, 2019. 84 p.

[3] Dalinger V.A. Solving equations in the mathematical environments mathcad and maple / V.A. Dahlinger // Scientific review. Pedagogical sciences. – 2018. No. 1. 10-22 p.

[4] Gibadullin A.A. Mathcad and graphical solution of equations / A.A. Gibadullin // Modern innovations. – 2016. No. 11 (13).

[5] Myakishev D.O. Using the mathcad software package for solving systems of algebraic equations / D.O. Myakishev // International school scientific bulletin. – 2020.

[6] Medvedeva N.V. Application of the mathcad system for solving problems in linear algebra / N.V. Medvedeva // International Journal of Experimental Education. – 2016. No. 9-1. 52-54 pp.

[7] Leontiev A.L. Methodology for using the Mathcad package when considering the vibration equation / A.L. Leontyev // Bulletin of the Taganrog Institute named after A.P. Chekhov. – 2019.

[8] Dikov A.V. Mathcad in teaching solving nonlinear equations / A.V. Dikov // Bulletin of Moscow State Pedagogical University. Series: Computer science and informatization of education. – 2005. No. 4.

© С.В. Сухонина, 2024

Поступила в редакцию 4.05.2024  
Принята к публикации 06.06.2024

---

### Для цитирования:

Сухонина С.В. Применение математического пакета mathcad при решении уравнений // Инновационные научные исследования. 2024. № 6-1(43). С. 4-9. URL: <https://ip-journal.ru/>

<https://doi.org/10.5281/zenodo.12606856>  
УДК 616.34-005.1

## РЕДКИЕ СЛУЧАИ ЖЕЛУДОЧНО-КИШЕЧНОГО КРОВОТЕЧЕНИЯ ПО САРАТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

**О.И. Ананьева, П.И. Спирин,**  
студенты 3 курса, напр. «Лечебное дело»

**А.В. Беликов,**  
доц.,  
СГМУ им. В.И.Разумовского,  
г. Саратова

**Аннотация:** В статье рассматриваются редкие случаи желудочно-кишечного кровотечения. При поступлении пациента с желудочно-кишечным кровотечением (ЖКК) врач ожидает выявления наиболее частых причин его возникновения. Редкие причины ЖКК могут вызывать затруднения в выявлении, определении тактики обследования и лечения таких больных. В статье освещается частота встречаемости и клинические примеры. Изучение подобных случаев позволяет расширить профессиональных кругозор хирургов, избежать тактических ошибок в ведении больных с редкими причинами желудочно-кишечного кровотечения.

**Ключевые слова:** лимфангиоматоз, кровотечение, болезнь Рандю-Ослера, желудок, большой сальник, лечение

---

## RARE CASES OF GASTROINTESTINAL BLEEDING IN THE SARATOV REGION

**O.I. Ananyeva, P.I. Spirin,**  
3rd year students, direction "General Medicine"

**A.V. Belikov,**  
Associate Professor,  
SSMU named after. V.I. Razumovsky,  
Saratov

**Annotation:** The article discusses rare cases of gastrointestinal bleeding. When a patient is admitted with gastrointestinal bleeding (GIB), the doctor expects to identify the most common causes of its occurrence. Rare causes of gastrointestinal bleeding can cause difficulties in identifying, determining the tactics of examination and treatment of such patients. The article highlights the frequency of occurrence and clinical examples. The study of such cases allows one to expand the professional horizons of surgeons and avoid tactical errors in the management of patients with rare causes of gastrointestinal bleeding.

**Keywords:** lymphangiomatosis, bleeding, Randu-Osler disease, stomach, greater omentum, treatment

---

В ходе нашего исследования проанализированы причины ЖКК в 4823 историй болезней из различных лечебных учреждений Саратовской области за период 2014-24гг. Выявлено 3 случая, в которых в качестве причины ЖКК являлись лимфангиоматоз брюшной полости, синдром Дъелафуа и болезнь Рандю-Ослера.

Лимфангиоматоз – это редкое заболевание, при котором происходит образование опухолей из лимфатических сосудов, характеризующееся наличием кист, которые возникают в результате увеличения размера и количества тонкостенных лимфатических каналов, которые аномально взаимосвязаны и расширены. В 75% случаев поражаются несколько органов. Обычно он проявляется к 20 годам, и хотя исходно это процесс доброкачественный, но измененные лимфатические сосуды имеют тенденцию проникать в окружающие ткани и вызывать проблемы из-за инвазии и/или сдавливания соседних структур. Считается, что в основе заболевания лежит первичный лимфатический дисгенез с лимфопролиферативным процессом. Стандартного подхода к лечению лимфангиоматоза не существует [1].

Клинические проявления варьируются от отсутствия жалоб или минимального дискомфорта до острого абдоминального синдрома. В малосимптомных случаях больных беспокоят периодические необъяснимые абдоминальные боли, вздутие живота, которые купируются спазмолитиками средствами против метеоризма. Некоторые пациенты обращают внимание на асимметричное

увеличение живота. Иногда лимфангиома развивается бессимптомно и случайно обнаруживается при обследовании (УЗИ, пальпации живота) как безболезненное объемное образование в брюшной полости.

Осложненные варианты лимфангиомы протекают по типу «острого живота». Возникает сильная коликообразная боль, напряжение мышц передней брюшной стенки, лихорадка. Если киста вызывает кишечную непроходимость, присоединяется рвота, вздутие живота, интоксикация, обезвоживание. Такие пациенты поступают в хирургические отделения и оперируются в экстренном порядке.

Лечение лимфангиомы сальника часто требует комплексного подхода и может включать в себя различные методы.

1. Хирургическое вмешательство: В случаях, когда лимфангиома сальника вызывает симптомы или угрожает жизни пациента из-за обструкции органов или кровотечений, может потребоваться хирургическое удаление опухоли. Хирургия может быть сложной из-за близости опухоли к важным структурам в брюшной полости, и может потребоваться опытный хирург.

2. Склеротерапия: Это процедура, при которой в опухоль вводится специальный раствор, который вызывает затвердевание лимфатических сосудов, что приводит к уменьшению размера опухоли. Склеротерапия может использоваться в качестве самостоятельного метода лечения или в сочетании с хирургическим удалением для уменьшения размера опухоли и снижения риска осложнений.

3. Лазерная терапия: Лазерная терапия может быть эффективной для лечения поверхностных лимфангиом сальника, которые расположены близко к коже. Лазерные лучи могут использоваться для разрушения лимфатических сосудов и уменьшения размера опухоли без необходимости хирургического вмешательства.

4. Лекарственное лечение: В некоторых случаях могут быть применены лекарственные препараты, такие как гормональные препараты или препараты, направленные на блокирование ангиогенеза (образование новых сосудов), для уменьшения размера опухоли и снижения симптомов.

Пациент П., 27 лет, поступил через 1 сутки от начала заболевания с жалобами на слабость, рвоту кровью, мелену. В 4-х месячном возрасте оперирован в Польше по поводу лимфангиомы сальника, в 2022г – рецидив, лапаротомия, адгезиолизис, биопсия (лимфангиома). С 2023 г неоднократное лечение по поводу рецидивирующего ЖКК, геморрагического бульбита.

Локальный статус: Язык сухой, обложен белым налетом. Живот симметричный, участвует в акте дыхания, при пальпации мягкий, незначительно болезненный в мезогастрии, где пальпируется опухолевидное образование, плотной консистенции, не смещаемое, размерами 30\*30 см

При ФГДС: Слизистая пищевода: розовая. В н/3 на 4 и 6 часах в просвет выступают 2 ствола варикозно-расширенных вен диаметром 0,6см, спадаются при инсуффляции не полностью. Далее переходят на кардиальный жом и на субкардию Кардиальный жом: смыкается на уровне «Z» линии.

Просвет желудка: нормальный. В в\3 по задней стенке сдавление извне л\узлами.

Содержимое: желудочный сок, в антральный отдел через привратник пропотевает алая кровь.

Складки слизистой: извитые, гипертрофированные, воздухом расправляются не полностью

Слизистая: блестящая, зернистая, гиперемированная и отечная во всех отделах. По всем стенкам, во всех отделах с подслизистыми кровоизлияниями и темными тромбами.

Слизистая луковицы ДПК: ярко-розовая, тусклая, резко гиперемирована. В ЛДПК на протяжении 10 см, стенка циркулярно изменена – крупно-ячеистой структуры (стенкам белесые скопления лимфоидных фолликулов.), с выраженной сосудистой сетью и выраженной диффузной кровоточивостью. При инсуффляции и контакте с прибором кровотоцит

Заключение:

Лимфофолликулярная гиперплазия луковицы ДПК и тракта ДПК. Сдавление извне луковицы ДПК л\у. Эритематозная дуоденопатия. Коагулопатия луковицы ДПК. Состоявшееся кровотечение. Сдавление извне в\3 тела желудка л\у. Варикозное расширение вен н\3 пищевода, с переходом на субкардию 1- 2ст.

При КТ: На сериях томограмм в верхнем этаже брюшной полости сохраняется обширное многоузловое гиповаскулярное образование с бугристыми контурами, размером 180\*152 мм. Неоднородной структуры за счет участков обызвествлений прежней плотности. Интимно прилежит к задне-медиальному контуру селезенки и печени(S2,3,1), без признаков инвазии. Субтотально обхватывает желудок, тотально поджелудочную железу, луковицу и дугу 12пк., печень расположена обычно, корень брыжейки (прослойка не дифференцируется, вероятнее всего инвазия). Сохраняется утолщение стенки желудка до 23мм по малой кривизне и до 12мм в антральном отделе. Распространяется в заднее средостение, стенки пищевода утолщены до 10 мм (до уровня бифуркации трахеи, прослойка отчетливо не прослеживается).

Отмечаются множественные увеличенные л/у средостения, до 12мм по четкой границе с образованием заднего средостения. Очаговой патологии и деструктивных изменений костной структуры не выявлено.

Заключение:

КТ ОГК – картина образования верхнего этажа брюшной полости с поражением желудка, ПЖ, заднего средостения, пищевода. Спленомегалия. В динамике нарастания поражения средостения и появление признаков лимфогенного карциноматоза. Малый двусторонний плевральный выпот.

Кровотечение удавалось остановить консервативными мероприятиями.

Вторая редкая причина ЖКК, встретившаяся нам, – Синдром Дъелафуа – это профузное артериальное кровотечение, обусловленное разрывом аневризмы артерии подслизистого слоя желудочно-кишечного тракта. Как правило, болезнь Дъелафуа относится к разряду кровотечений неясного генеза, частота по данным центров экстренной хирургической помощи, составляет в среднем 1-2%. В большинстве случаев (до 80%) источник кровотечения локализуется в 1/3 тела желудка по малой кривизне [2]. Однако в литературе описаны случаи, когда источник кровотечения располагался в пищеводе, тонкой и толстой кишке и даже в желчном пузыре. При гистологическом исследовании в стенке аррозированной сосуда обнаруживается пролиферация и склероз интимы, дегенерация

среднего слоя, исчезновение эластических волокон. При этом слизистая оболочка вокруг эрозии мало изменена, на дне последней обнаруживается фибриноидный некроз, умеренная лимфо- грануло- и плазмоцитарная инфильтрация стенки желудка [3]. В качестве диагностики чаще прибегают к гастроскопии или интраоперационному поиску источника. Если при выполнении эндоскопического исследования удастся обнаружить «острую язву» Дъелафуа, то ее помечают красителем, вводя раствор метиленового синего подслизистую оболочку желудка. Таким образом, удастся визуализировать место острого кровотечения для дальнейшего проведения контрольной диагностической/лечебной гастроскопии или оперативного вмешательства в случае невозможности остановки или рецидива кровотечения. Если же не удалось выявить источник эндоскопически, и встал вопрос об экстренном оперативном вмешательстве, то интраоперационно используют следующий прием: после эвакуации содержимого желудка производится пережатие аорты, ниже чревного ствола. В результате чего в последнем происходит резкий подъем давления и возникает рецидив кровотечения, что и определяет место операции, которая включает в себя лапаротомию с гастротомией, иссечение «острой язвы» и прошивание аррозированного аневризматически измененного сосуда, либо резекцию желудка, эндоскопическую коагуляцию или эмболизацию сосуда [4].

Пациент Т. 35 лет, поступил с жалобами на общую слабость, рвоту темной кровью, мелену. При ФГДС эндокартина трактована как синдром Меллори-Вейса, проведена гастротомия, прошивание разрыва желудка. Через неделю – рецидив кровотечения, повторно гастротомия, обнаружен пульсирующий артериальный сосуд над слизистой оболочкой в области кардии по передней стенке (синдром Дъелафуа), остановка кровотечения.

Ход операции: Под ЭТН сняты швы с п/о раны. В брюшной полости выпота нет. Желудок заполнен сгустками крови. Выполнена гастротомия в теле желудка, удалено 1000,0 мл свежей крови со сгустками. При ревизии на передней стенке тела желудка и по малой кривизне – 2 острые язвы, диаметром 0,2 см с продолжающимся неинтенсивным кровотечением, прошиты. При дальнейшей ревизии обнаружен пульсирующий артериальный сосуд над слизистой



оболочкой в области кардии по передней стенке, прошит. Гемостаз – сухо. Гастротомическая рана ушита двухрядным узловым швом. Желудок промыт – кровотечения нет. В малом сальнике вскрыт абсцесс, содержащий 5,0 мл гноя без запаха. Другой патологии не найдено. Гемостаз – сухо. Счет салфеток, инструментов верен. Брюшная полость осушена, дренирована трубкой в правом подреберье – под печень. Послойные швы на рану. Ас. повязка. Кровопотеря 1100 мл.

Рецидивы геморрагии прекратились, пациент выписан.

Болезнь Рандю-Ослера – аутосомно-доминантная наследственная геморрагическая телеангиэктазия (НГТ), в основе которой лежит неполноценность сосудистого эндотелия, аномальное образование кровеносных сосудов: кожно-слизистые телеангиэктазии, артериовенозные мальформации в различных органах. Частым проявлением является носовое и кишечное кровотечение. Имеется предрасположенность к полипам в толстой кишке, циррозу печени, колоректальному раку [5].

В основе патогенеза лежит первичное поражение сосудистой стенки и морфологически характеризуется: расширением просвета микрососудов вследствие истончения и недостаточного развития на отдельных участках сосудистого русла субэндотелиального каркаса мелких сосудов из-за низкого содержания в нем коллагена либо неполноценность эндотелия [6].

На ранней стадии патологического процесса развивается локальная дилатация, вовлекающая все слои стенки посткапиллярной вены. Затем это растяжение распространяется на артериолу, что, в конце концов, приводит к формированию прямого их соединения без образования промежуточной капиллярной сети. Результатом этого процесса является снижение давления крови и скорости ее тока [7].

Лечение включает в себя эндоскопическое вмешательство: эндоскопическую коагуляцию, эндоваскулярную эмболизацию, хирургическое удаление пораженных сосудов [8].

В нашем случае источником кровотечения были телеангиэктазии желудка, что редко встречается при НГТ. Пациентка Е., 62 л, поступила с жалобами на тошноту, рвоту с примесью крови, слабость, головокружение. 10 лет наблюдается по поводу болезни Рандю-Ослера. На этом фоне отмечались неоднократные ЖКК. При

ФГДС: в с/3 тела желудка по большой кривизне единичная плоская эрозия диаметром 0,3 см, с налётом фибрина и венчиком гиперемии вокруг. По всем стенкам тела желудка около 10 подслизистых кровоизлияний. Проведена гемостатическая терапия.

**Заключение.** Редкие случаи ЖКК представляют собой серьёзную клиническую проблему, требующую внимания со стороны врачей. Несмотря на их редкость, они могут быть связаны с различными патологиями, представлять сложности в диагностике и лечении. Важно проводить дальнейшие исследования, направленные на понимание механизмов развития этих случаев, разработку эффективных методов диагностики и терапии.

### Список литературы

[1] Ayman S.A. Extensive abdominal lymphangiomatosis involving the small bowel mesentery: A case report / S.A. Ayman, S.D. Tareef // National Center for Biotechnology Information : [сайт]. [Электронный ресурс] – URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8610896/> (дата обращения: 06.06.2024).

[2] Borko N. Gastrointestinal bleeding from Dieulafoy's lesion: Clinical presentation, endoscopic findings, and endoscopic therapy / N. Borko, S.C. Mitchell // National Center for Biotechnology Information : [сайт]. [Электронный ресурс] – URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4400618/> (дата обращения: 06.06.2024).

[3] Амарантов Д.Г. Современные взгляды на этиологию, патогенез, диагностику и лечение синдрома Дъелафуа (обзор литературы) [Текст] / Д.Г. Амарантов, М.Ф. Заривчацкий, Э.С. Алиева, Е.Б. Оревкин, В.Н. Павлова, О.С. Гудков, А.В. Стринкевич // Вестник хирургии имени И.И. Грекова. – 2021. № 6. 111-116 с.

[4] Заговеньев И.Г. Язва Дъелафуа в практике хирургов больницы скорой медицинской помощи / И.Г. Заговеньев, С.Н. Заговеньева, В.Р. Дубовко, А.А. Полфунтиков, Л.С. Турушева // Издательство «Медиа Сфера» : [сайт]. [Электронный ресурс] – URL: <https://www.mediasphera.ru/issues/endoskopicheskaya-khirurgiya/2013/1/downloads/ru/031025-7209201318> (дата обращения: 06.06.2024).

[5] Паламарчук Л.И. Болезнь Ранду-Ослера (клинический случай) [Текст] / Л.И. Паламарчук, Ю.М. Кричевский // Consilium Medicum. – 2015. № 10. 116-119 с.

[6] Кобринский Б.А. Клинико-генетическая диагностика и лечение пациентов с болезнью Ранду-Ослера [Текст] / Б.А. Кобринский, А.Г. Чучалин, В.Ю. Гладышев // Российский журнал. – 2008.

[7] Шмелев А.А. Хирургическое лечение больных с болезнью Ранду-Ослера [Текст] / А.А. Шмелев, М.А. Шмелев, В.М. Седов // Труды Международной конференции "Вопросы трансплантологии". – 2016. 69-71 с.

[8] Коновалов Н.В. Особенности хирургического лечения больных с болезнью Ранду-Ослера [Текст] / Н.В. Коновалов, Н.А. Власов, А.А. Яковлев // Эндоскопическая хирургия. – 2014. № 1. 36-40 с.

### **Bibliography (Transliterated)**

[1] Ayman S.A. Extensive abdominal lymphangiomas involving the small bowel mesentery: A case report / S.A. Ayman, S.D. Tareef // National Center for Biotechnology Information: [website]. [Electronic resource] – URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8610896/> (access date: 06/06/2024).

[2] Borko N. Gastrointestinal bleeding from Dieulafoy's lesion: Clinical presentation, endoscopic findings, and endoscopic therapy / N. Borko, S.C. Mitchell // National Center for Biotechnology Information: [website]. [Electronic resource] – URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4400618/> (access date: 06/06/2024).

[3] Amarantov D.G. Modern views on the etiology, pathogenesis, diagnosis and treatment of Dieulafoy's syndrome (literature review) [Text] / D.G. Amarantov, M.F. Zarivchatsky, E.S. Alieva, E.B. Orevkov, V.N. Pavlova, O.S. Gudkov, A.V. Strinkevich // Bulletin of surgery named after I.I. Grekova. – 2021. No. 6. 111-116 p.

[4] Zagovenev I.G. Dieulafoy's ulcer in the practice of emergency hospital surgeons / I.G. Zagovenev, S.N. Zagoveneva, V.R. Dubovko, A.A.

Polfuntikov, L.S. Turusheva // Media Sphere Publishing House: [website]. [Electronic resource] – URL: <https://www.mediasphera.ru/issues/endoskopicheskaya-khirurgiya/2013/1/downloads/ru/031025-7209201318> (access date: 06/06/2024).

[5] Palamarchuk L.I. Randu-Osler disease (clinical case) [Text] / L.I. Palamarchuk, Yu.M. Krichevsky // Consilium Medicum. – 2015. No. 10. 116-119 p.

[6] Kobrinsky B.A. Clinical and genetic diagnosis and treatment of patients with Randu-Osler disease [Text] / B.A. Kobrinsky, A.G. Chuchalin, V.Yu. Gladyshev // Russian Journal. – 2008.

[7] Shmelev A.A. Surgical treatment of patients with Randu-Osler disease [Text] / A.A. Shmelev, M.A. Shmelev, V.M. Sedov // Proceedings of the International Conference "Issues of Transplantology". – 2016. 69-71 p.

[8] Konovalov N.V. Features of surgical treatment of patients with Randu-Osler disease [Text] / N.V. Konovalov, N.A. Vlasov, A.A. Yakovlev // Endoscopic surgery. – 2014. No. 1. 36-40 p.

© О.И. Ананьева, П.И. Спиринов, А.В. Беликов, 2024

Поступила в редакцию 18.05.2024

Принята к публикации 06.06.2024

---

### *Для цитирования:*

Ананьева О.И., Спиринов П.И., Беликов А.В. Редкие случаи желудочно-кишечного кровотечения по Саратовской области // Инновационные научные исследования. 2024. № 6-1(43). С. 10-19. URL: <https://ip-journal.ru/>

**РАЗДЕЛ. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**

<https://doi.org/10.5281/zenodo.12606886>

УДК 662.767: 544.723.212

**АДСОРБЕНТЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ  
В СИСТЕМАХ АДСОРБИРОВАННОГО  
АККУМУЛИРОВАНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА**

**А.А. Курилкин,**

ст.преп. кафедры промышленной экологии, к.т.н.

**П.В. Сохатюк,**

студентка 5 года кафедры отделения очно-заочного и заочного  
обучения,

РХТУ им. Д.И. Менделеева,

г. Москва

**А.В. Школин,**

внс лаборатории сорбционных процессов, к.х.н.,

ИФХЭ РАН им. А.Н. Фрумкина,

г. Москва

**Аннотация:** В связи с высокими темпами потребления сырья в нефтяном секторе топливно-энергетического комплекса России, а также сложной экономической ситуации на мировом рынке нефти создаются предпосылки для развития и трансформации российской газовой отрасли. Газовое топливо обладает рядом экологических преимуществ перед традиционным сырьём из нефти и нефтепродуктов. Кроме того, по данным Международного энергетического агентства мировой запас природного газа составляет 250 лет. Для решения проблемы эффективного и безопасного хранения и транспортировки газового топлива разрабатываются перспективные технологии с резервуарами, обладающими высокой ёмкостью аккумуляции. Немаловажным представляется выбор адсорбента, лежащего в основе систем аккумуляции природного газа. В статье представлен обзор по некоторым микропористым углям растительного происхождения, имеющие перспективность в накоплении природного газа.

**Ключевые слова:** топливно-энергетический комплекс, природный газ, системы адсорбционного аккумулирования, микропористый активный уголь, адсорбция метана

## ADSORBENTS USED IN ADSORBED NATURAL GAS STORAGE SYSTEMS

**A.A. Kurilkin,**

Senior lecturer, Department of Industrial Ecology, Candidate of Technical Sciences

**P.V. Sokhatyk,**

5th year student, Department of full-time and distance learning, University of Chemical Technology of Russia named after D.I. Mendeleev, Moscow

**A.V. Shkolin,**

Leading Researcher, Laboratory of Sorption Processes: Candidate of Chemical Sciences, Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry RAS named after A.N. Frumkin, Moscow

Due to the high rates of consumption of raw materials in **Annotation:** the oil sector of the fuel and energy complex of Russia, as well as the difficult economic situation on the world oil market, prerequisites are being created for the development and transformation of the Russian gas industry. Gas fuel has a number of environmental advantages over traditional raw materials from oil and petroleum products. In addition, according to the International Energy Agency, the world's natural gas reserve is 250 years. To solve the problem of efficient and safe storage and transportation of gas fuel, promising technologies with tanks with high storage capacity are being developed. The choice of the adsorbent underlying the natural gas storage systems is also important. The article presents an overview of some microporous coals from plant origin that have prospects in the accumulation of natural gas.

**Keywords:** fuel and energy complex, natural gas, adsorption storage systems, microporous activated carbon, methane adsorption

Интенсивное сокращение запасов нефтегазового конденсата в России и зависимость российского сегмента геологоразведки от импорта создают предпосылки к трансформации российской газовой отрасли, где ключевым компонентом выступает природный газ. Поставленные цели по снижению выбросов парникового газа при переходе на новые энергоэффективные транспортные средства требуют нахождения альтернативных видов топлива для транспортных средств. Применение газового топлива позволяет повысить эффективность использования энергоресурсов и снизить загрязнение окружающей среды [1].

Однако в настоящее время наблюдается отсутствие энергоэффективных и безопасных систем хранения и транспортировки с высокой ёмкостью аккумулирования природного газа (АПГ). Поэтому представляется перспективным создание систем адсорбированного АПГ для автотранспорта [2].

В 2012 г. Агентство по прикладным исследованиям США обновило требования к системам хранения метана [3]:

- гравиметрическая ёмкость по метану в системе хранения должна быть не менее 0,5 г  $\text{CH}_4/\text{г}$ ;
- удельная объёмная ёмкость при использовании монолитного блока адсорбента должна составлять 264–266  $\text{м}^3/\text{м}^3$  при 3,5 МПа и 298 К, что эквивалентно хранению сжатого метана в баллонах при 25 МПа и 298 К. определёнными адсорбционными характеристиками, а именно:
  - оптимальное, с точки зрения энергетики, соотношение процессов адсорбции и десорбции;
  - оптимальный размер микропор для десорбции газа при комнатной температуре ( $\sim 0,8\text{--}1,4$  нм);
  - высокая насыпная плотность, обеспечивающая снижение объёма газовой фазы в системе хранения;
  - относительно небольшая теплота адсорбции при высокой теплоёмкости пористого материала, за счёт чего возможно снижение тепловых колебаний при изменении температуры окружающей среды;
  - развитая транспортная пористость для обеспечения высоких скоростей массопереноса;
  - гидрофобность;

- достаточная прочность во избежание пыления вследствие истирания гранул;
- устойчивость к циклическим механическим нагрузкам;
- относительно невысокая стоимость.

В проведённом анализе литературы представлено сравнение указанных выше условий для микропористых углеродных адсорбентов из растительного сырья.

#### 1. Сырьё – кукурузные зёрна и початки

Лучший показатель аккумулялирующей способности –  $100 \text{ м}^3/\text{м}^3$  (при 3,5 МПа и 293 К) – имел активный уголь (АУ), полученный из кукурузных зёрен путём химической активации, при этом в качестве связующего вещества (5% по массе) использовалась карбоксиметилцеллюлоза [4]. Отношение активного агента к сырью составляло по массе 1:2. Полученный АУ обладал следующими структурными характеристиками:

- удельная поверхность по методу БЭТ  $S_{\text{уд}} - 2147 \text{ м}^2/\text{г}$ ;
- предельный объём микропор по методу Дубинина-Радужкевича:
  - по изотермам адсорбции азота  $W_0(\text{N}_2) - 0,762 \text{ см}^3/\text{г}$ ;
  - по изотермам адсорбции углекислого газа  $W_0(\text{CO}_2) - 0,508 \text{ см}^3/\text{г}$ ;
- насыпная плотность  $\rho - 0,42 \text{ г}/\text{см}^3$ .

Массовые показатели адсорбции образца невелики и уступали другим адсорбентам, однако за счёт достаточной насыпной плотности возможно приемлемое аккумулялирование метана, количество которого, однако, недостаточно для активной удельной ёмкости.

Чуть лучше показатель накопления метана –  $120 \text{ м}^3/\text{м}^3$  (при 3,5 МПа и 298 К) – дали активные угли, сырьём которого служили початки кукурузы [5]. Была проведена химическая активация сырья (гидроксидом калия) при 823 К в течение 30-60 мин. Полученный АУ обладал следующими характеристиками:

- удельная поверхность по методу БЭТ  $S_{\text{уд}} - 1310-1320 \text{ м}^2/\text{г}$ ;
- насыпная плотность  $\rho - 0,35 \text{ г}/\text{см}^3$ .

Последний показатель определил невысокие максимальные величины аккумулялирования метана. Кроме того, при повышении температуры полная удельная ёмкость системы значительно уменьшилась.



## 2. Сырьё – сорго

Углеродные адсорбенты, полученные из зёрен сорго, имели средний диаметр зерна от 3 до 4 мм, содержание влаги 8,4% масс [6].

Карбонизацию проводили при 573 К в инертной среде азота в течение 10-20 мин. В качестве химического активатора полученного карбонизата использовали водные растворы как ортофосфорной кислоты (35, 50 и 85% масс.), хлорида цинка (50% масс.), так и гидроксида калия (50% масс.) – температура термообработки – 773–783 К. Состав полученных образцов по массе – 68% углерода, 18% кислорода, а также примеси серы, фосфора, азота и водорода.

Максимальная удельная ёмкость по метану составила  $89 \text{ м}^3/\text{м}^3$  (при 3,5 МПа и 298 К). Образец с такой ёмкостью по метану имел следующие характеристики:

- удельная поверхность по методу БЭТ  $S_{\text{уд}} - 2027 \text{ м}^2/\text{г}$ ;
- предельный объём микропор по азоту  $W_0(\text{N}_2) - 0,76 \text{ см}^3/\text{г}$ ;
- насыпная плотность  $\rho - 0,65 \text{ г}/\text{см}^3$ .

Подобный высокий показатель насыпной плотности обеспечивался подбором фракционного состава образцов, которые подвергались формированию в блоки.

## 3. Сырьё – скорлупа кокосовых орехов

Для адсорбента АУ-1, полученного из скорлупы кокосовых орехов, изучалось влияние насыпной плотности и температуры на способность аккумулировать метан. При комнатной температуре и давлении 3,5 МПа удельная ёмкость по метану составляла только  $89 \text{ м}^3/\text{м}^3$ , что соответствовало данным для других адсорбентов из растительного сырья и что существенно меньше требуемых значений [7-8].

Насыпная плотность этого адсорбента была около  $0,38 \text{ г}/\text{см}^3$ . Установлено, что при её увеличении, например, путём формирования в виде моноблока, адсорбционную ёмкость можно повысить практически в два раза.

Понижение температуры системы хранения увеличило объём аккумулированного метана (рис. 1).

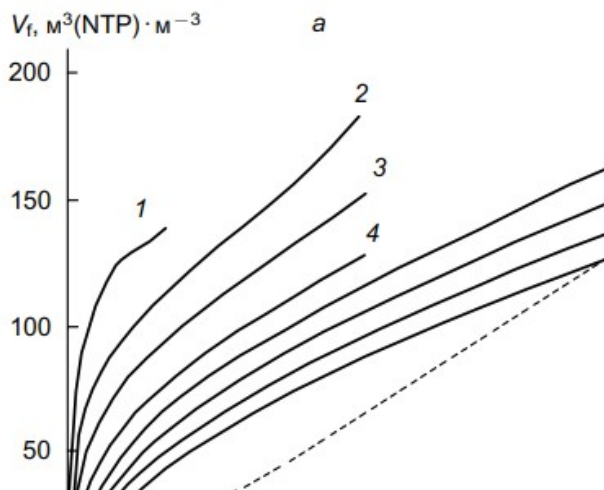


Рисунок 1 – Зависимости полной удельной объёмной ёмкости по метану микропористого углеродного адсорбента АУ-1 от давления при температурах 178 (1), 216 (2), 243 (3), 273 (4), 300 (5), 320 (6), 340 (7), 360 К (8). Штриховые линии – зависимости для сжатого газа при 293 К

Таким образом, уже при снижении температуры до 216 К можно обеспечить минимальные  $150 \text{ м}^3/\text{м}^3$  метана, считающиеся допустимым условием для систем хранения газа. Относительная эффективность аккумулирования метана по сравнению с хранением без использования адсорбента составила  $\sim 2,5$ .

#### 4. Сырьё – целлюлоза

Микропористые углеродные адсорбенты могут быть синтезированы из гранул микрокристаллической целлюлозы [9].

Для синтеза выбирали порошок целлюлозы с размером кристаллов  $\sim 50$  мкм. Около 1,5 г сырья помещали под пресс и повышали давление от 0 до 98 МПа, при этом время прессования варьировали от 1 до 60 мин. Полученные таблетки карбонизировали в печи при температуре 1073 К в потоке азота в течение различных периодов времени (от 1 до 12 ч), затем активировали в потоке  $\text{CO}_2$ , при температуре 1073–1173 К, время активации составляло от 6 до 19 ч. Образцы полученного АУ обладали удельной поверхностью по

методу БЭТ  $S_{уд}$  до  $1700 \text{ м}^2/\text{г}$ . Максимальной ёмкость системы по метану составила  $147,2 \text{ м}^3/\text{м}^3$ .

Данные исследования позволили обнаружить стабильность адсорбционной ёмкости полученных образцов при циклических нагрузках. Главной особенностью проведения циклических испытаний была обратимость адсорбции метана в адсорбенте. Проведение циклических испытаний процессов адсорбции–десорбции на полученных образцах углеродного адсорбента позволило смоделировать работу реальных систем АПГ.

В ходе исследований выяснили влияние варьирования температуры окружающей среды на изменение давления в системе хранения (рис. 2) [9].

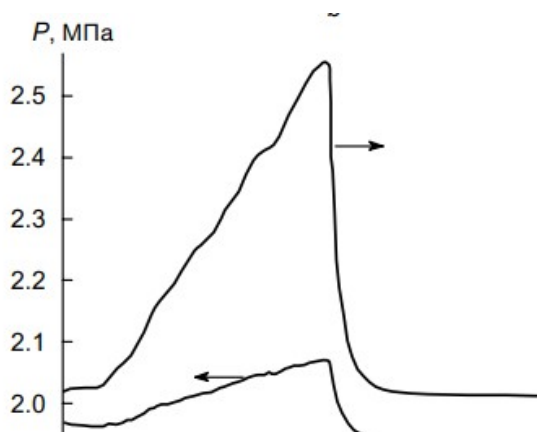


Рисунок 2 – Изменение давления метана в хранилище при повышении температуры

Измерения проводили при давлении в системе 2 МПа и комнатной температуре. Затем систему хранения, закрытую для внешнего теплообмена, нагревали до 353 К. Максимальное изменение давления для системы с адсорбентом составило  $\sim 7\%$ , а для подобной закрытой системы без адсорбента –  $\sim 20\%$ .

Предполагается, что такое различие обусловлено менее резким изменением свойств адсорбционной системы при повышении температуры по сравнению со свойствами газовой фазы, что исключает,

например, эффект ролловера и, тем самым, вносит дополнительный вклад в безопасность эксплуатации систем АПГ [9].

#### 5. Сырьё – косточки оливок и персиков

В лаборатории были синтезированы образцы АУ на основе прессованных гранул из косточек плодов – оливок и персиков – методом химической активации ортофосфорной кислотой при температурах от 623 до 1273 К [10]. Пористые и адсорбционные характеристики полученных адсорбентов изучались при температуре 303 К и давлении до 2,5 МПа. Адсорбция метана достигала до 5 ммоль/г. Отмечено, что наибольшие значения адсорбции были у образцов, синтезированных при граничных значениях указанного диапазона температур активации. В этих условиях адсорбенты имели наибольшие объёмы микропор  $W_0$  (0,409–0,468 см<sup>3</sup>/г) и удельные поверхности микропор по БЭТ.

Следовательно, при выборе оптимального адсорбента необходимо учитывать не только предельный объём микропор, но и распределение пор по размерам.

Также исследователями работы [11] был установлен факт влияния на параметры пористой структуры углеродного адсорбента исходного материала. В качестве сырья выступали косточки оливок и персиков, миндальной скорлупы и скорлупы кокосовых орехов, а также нефтяного кокса. После активации были получены порошкообразные сорбирующие материалы, спрессованные в монолиты диаметром 4,5 см.

Значения удельных поверхностей поверхности и объёма микропор для всех образцов из растительного сырья изменялись в диапазоне 2205-2515 м<sup>2</sup>/г и 0,982-1,374 см<sup>3</sup>/г, соответственно. А вот наибольшие показатели адсорбции по тестовому веществу – метиленовому голубому – и удельной объёмной ёмкости по метану (215 мг/г и 184 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>, соответственно) наблюдались у образцов АУ из кокосовой скорлупы – в первом случае при двухступенчатой активации без предварительной обработки, а во втором – при одноступенчатой активации с предварительной карбонизацией.

После сопоставления результатов исследований адсорбционных и ёмкостных характеристик адсорбентов, а также распределения пор по размерам определена оптимальная ширина пор углеродного адсорбента – 1,5 нм.

Проведённый обзор литературы показывает, что правильным подбором исходного сырья, в рассматриваемой работе – растительного

происхождения, и условий проведения его термической обработки можно добиться получения углеродного адсорбента с высокими индикаторами удельной ёмкости по метану (не менее  $150 \text{ м}^3/\text{м}^3$ ) и адсорбционной способности, что должно учитываться при создании эффективных систем адсорбционного аккумулирования природного газа для автотранспорта.

### Список литературы

[1] Сохатюк П.В. Перспективы использования адсорбированного природного газа в мобильных системах транспорта / П.В. Сохатюк, А.А. Курилкин, А.В. Школин [Текст] // Инновационный потенциал развития науки в современном мире: технологии, инновации, достижения. – Уфа: НИЦ Вестник науки, 2024. 206-209 с.

[2] Цивадзе А.Ю. Перспективные адсорбционные аккумуляторы природного газа для автотранспорта [Текст] / А.Ю. Цивадзе, О.Е. Аксютин, А.Г. Ишков и др. // Транспорт на альтернативном топливе. – 2020. Т. 69. № 3. 29-36 с.

[3] ARPA-E. CHANGING WHAT'S POSSIBLE. Move Program Overview [Электронный ресурс] – URL: [https://arpa-e.energy.gov/sites/default/files/documents/files/MOVE\\_ProgramOverview.pdf](https://arpa-e.energy.gov/sites/default/files/documents/files/MOVE_ProgramOverview.pdf) (дата обращения: 29.05.2024)

[4] Balathanigaimani M.S. Adsorption of Methane on Novel Corn Grain-Based Carbon Monoliths [Текст] / M.S. Balathanigaimani, W.-G. Shim, J.-W. Lee, H. Moon // Microporous and Mesoporous Materials. – 2009. Vol. 119. № 1-3. 47-52 p.

[5] Bagheri N. Adsorption of methane on corn cobs based activated carbon [Текст] / N. Bagheri, J. Abedi // Chemical Engineering Research and Design – 2011. № 89 (10). 2038-2043 p.

[6] Zhang T. Grain-based activated carbons for natural gas storage [Текст] / T. Zhang, W.P. Walawender, L.T. Fan // Bioresource Technology. – 2010. № 101. 1983-1991 p.

[7] Bezerra D.P. Adsorption of CO<sub>2</sub> on nitrogen-enriched activated carbon and zeolite 13X [Текст] / D.P. Bezerra, R.S. Oliveira, R.S. Vieira, Jr C.L. Cavalcante, D.C.S. Azevedo // Adsorption. – 2011. № 17 (1). 235-246 p.

[8] Strizhenov E.M. Low-temperature adsorption of methane on microporous AU-1 carbon adsorbent [Текст] / E.M. Strizhenov, A.V. Shkolin,

A.A. Fomkin, V.A. Sinitsyn, A.A. Zherdev and oth. // Physicochemical Processes at the Interfaces. – 2014. Vol. 50. 15-21 p.

[9] Policicchio A. Higher methane storage at low pressure and room temperature in new easily scalable large-scale production activated carbon for static and vehicular applications [Текст] / A. Policicchio, E. Maccallini, R.G. Agostino, F. Ciuchi, A. Aloise, G. Giordano // Fuel. – 2013. № 104. 813-821 p.

[10] Djeridi W. High pressure methane adsorption on microporous carbon monoliths prepared by olives stones [Текст] / W. Djeridi, A. Ouederni, A.D. Wiersum, P.L. Llewellyn, L. El Mir // Materials Letters. – 2013. Vol. 99. 184-187 p.

[11] Quinn D.F. Carbons Suitable for Medium Pressure (6.9 MPa) Methane Storage [Текст] / D.F. Quinn, Ragan S. // Adsorption Science & Technology. – 2000. Vol. 18. Iss. 6. 515-527 p.

### **Bibliography (Transliterated)**

[1] Sokhatyuk P.V. Prospects for the use of adsorbed natural gas in mobile transport systems / P.V. Sokhatyuk, A.A. Kurilkin, A.V. Shkolin [Text] // Innovative potential of science development in the modern world: technologies, innovations, achievements. – Ufa: Scientific Research Center Bulletin of Science, 2024. 206-209 p.

[2] Tsivadze A.Yu. Promising adsorption batteries of natural gas for vehicles [Text] / A.Yu. Tsivadze, O.E. Aksyutin, A.G. Ishkov et al. // Transport on alternative fuels. – 2020. T. 69. No. 3. 29-36 p.

[3] ARPA-E. CHANGING WHAT'S POSSIBLE. Move Program Overview [Electronic resource] – URL: [https://arpa-e.energy.gov/sites/default/files/documents/files/MOVE\\_ProgramOverview.pdf](https://arpa-e.energy.gov/sites/default/files/documents/files/MOVE_ProgramOverview.pdf) (access date: 05.29.2024)

[4] Balathanigaimani M.S. Adsorption of Methane on Novel Corn Grain-Based Carbon Monoliths [Text] / M.S. Balathanigaimani, W.-G. Shim, J.-W. Lee, H. Moon // Microporous and Mesoporous Materials. – 2009. Vol. 119. No. 1-3. 47-52 p.

[5] Bagheri N. Adsorption of methane on corn cobs based activated carbon [Text] / N. Bagheri, J. Abedi // Chemical Engineering Research and Design – 2011. No. 89 (10). 2038-2043 p.

[6] Zhang T. Grain-based activated carbons for natural gas storage [Text] / T. Zhang, W.P. Walawender, L.T. Fan // *Bioresource Technology*. – 2010. No. 101. 1983-1991 r.

[7] Bezerra D.P. Adsorption of CO<sub>2</sub> on nitrogen-enriched activated carbon and zeolite 13X [Text] / D.P. Bezerra, R.S. Oliveira, R.S. Vieira, Jr. C.L. Cavalcante, D.C.S. Azevedo // *Adsorption*. – 2011. No. 17 (1). 235-246 rub.

[8] Strizhenov E.M. Low-temperature adsorption of methane on microporous AU-1 carbon adsorbent [Text] / E.M. Strizhenov, A.V. Shkolin, A.A. Fomkin, V.A. Sinitsyn, A.A. Zherdev and others. // *Physicochemical Processes at the Interfaces*. – 2014. Vol. 50. 15-21 p.

[9] Policicchio A. Higher methane storage at low pressure and room temperature in new easily scalable large-scale production activated carbon for static and vehicular applications [Text] / A. Policicchio, E. Maccallini, R.G. Agostino, F. Ciuchi, A. Aloise, G. Giordano // *Fuel*. – 2013. No. 104. 813-821 p.

[10] Djeridi W. High pressure methane adsorption on microporous carbon monoliths prepared by olives stones [Text] / W. Djeridi, A. Ouederni, A.D. Wiersum, P. L. Llewellyn, L. El Mir // *Materials Letters*. – 2013. Vol. 99. 184-187 p.

[11] Quinn D.F. Carbons Suitable for Medium Pressure (6.9 MPa) Methane Storage [Text] / D.F. Quinn, Ragan S. // *Adsorption Science & Technology*. – 2000. Vol. 18. Iss. 6. 515-527 p.

© А.А. Курилкин, П.В. Сохатюк, А.В. Школин, 2024

Поступила в редакцию 16.05.2024

Принята к публикации 06.06.2024

---

### *Для цитирования:*

Курилкин А.А., Сохатюк П.В., Школин А.В. Адсорбенты, применяемые в системах адсорбированного аккумулирования природного газа // *Инновационные научные исследования*. 2024. № 6-1(43). С. 20-30. URL: <https://ip-journal.ru/>

<https://doi.org/10.5281/zenodo.12606905>

УДК 631.372

## ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ТОПЛИВА В ДВИГАТЕЛЯХ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

**С.В. Михайлов,**

аспирант, кафедра промышленная теплоэнергетика и теплотехника,  
профиль специальности «Энергетические системы и комплексы»

**В.А. Седнин,**

д.т.н., проф.,  
БНТУ,  
г. Минск

**Аннотация:** В статье рассмотрены различные виды альтернативных моторных топлив. Приведены основные достоинства и недостатки отдельных видов альтернативных источников энергии, обозначены области их применения. Также рассмотрены различные модели тракторов, использующие альтернативное топливо. Даны основные оценки техническим проблемам при переводе сельскохозяйственной техники на альтернативные источники топлива. Сделан вывод о целесообразности перевода автотракторной техники для работы на альтернативных источниках энергии.

**Ключевые слова:** сельское хозяйство, трактора, двигатели внутреннего сгорания, альтернативное топливо, метан, электроэнергия, водород

## PROSPECTS FOR THE USE OF ALTERNATIVE FUELS IN INTERNAL COMBUSTION ENGINES OF AGRICULTURAL MACHINERY

**S.V. Mikhailov,**

post-graduate student, Department of Industrial Thermal Power  
Engineering and Heat Engineering, specialty profile «Energy systems and  
complexes»

**V.A. Sednin,**



Doctor of Technical Sciences, Professor,  
BNTU,  
Minsk

**Annotation:** The article discusses various types of alternative motor fuels. The main advantages and disadvantages of certain types of alternative energy sources are given, and the areas of their application are indicated. Various tractor models using alternative fuels are also considered. The main assessments of technical problems in the transfer of agricultural machinery to alternative fuel sources are given. It is concluded that it is advisable to transfer automotive equipment to work on alternative energy sources.

**Keywords:** agriculture, tractors, internal combustion engines, alternative fuels, methane, electricity, hydrogen

Сельское хозяйство активно эволюционирует, стремясь автоматизировать процессы с помощью техники, как автотранспорта, так и тракторов. Эффективность работы такого оборудования напрямую связана с их экономичностью и экологичностью. Основой для работы машин служат дизельные двигатели внутреннего сгорания, на топливо для которых уходит до 30 % расходов. Переход на альтернативные, более доступные, источники топлива может значительно сократить эти затраты. Также, учет экологических стандартов и минимизация вреда окружающей среды от работы сельхозмашин требуют внедрения экологически чистых топлив.

Активизация обновления сельскохозяйственной техники, уже используемой на различных агропромышленных предприятиях, с целью использования альтернативных видов топлива, может ускорить экологический и экономический прогресс. Замена топлива требует инновационных исследований для оптимизации двигателей, что обеспечит эффективность и сокращение вредных выбросов. Адаптация техники под местные условия Республики Беларусь поможет снизить расходы и экологический ущерб от работы машин.

Ведущей экологически чистой альтернативой дизелю в агропромышленности становится метан. Этот газ, будь то в сжатом или жидком состоянии, обходится значительно дешевле традиционного жидкого топлива. Применение метана снижает вредные выбросы,

включая CO<sub>2</sub>, в несколько раз по сравнению с обычным топливом, оказывая положительное влияние на экологию [1-4].

Производители сельскохозяйственной техники, такие как AGCO и CNH Industrial, становятся лидерами в создании передовых двигателей. Они внедряют двигатели на метане, которые работают при повышенной степени сжатия, обеспечивая более эффективную и экологичную работу. Примеры их новаторства включают: AGCO представляет трактор Valtra Dual Fuel, развивающий мощность до 160 л. с.; CNH Industrial выпускает модель T6, способную достигать 180 л. с.



Рисунок 1 – Трактор колесный T 7.270 AC MethanePower. (фото с официального сайта New Holland)

Помимо этого, New Holland вместе с британской компанией Bennamann разработали экологически чистый трактор T7, работающий на сжиженном биометане (рис. 1), произведенном из отходов сельскохозяйственного производства. Это направление, в котором CNH Industrial, получив контроль над Bennamann, активно продвигается, способствует высокой экологичности агротехники за счет использования возобновляемых источников топлива [5].

Электроэнергия занимает второе место среди инновационных решений для питания сельхозтехники. Ранее эксперты сомневались в ее эффективности из-за ограниченного времени работы устройств на аккумуляторах. Тем не менее, преимущества использования электрических двигателей, такие как снижение затрат и положительный экологический эффект, стали очевидны. Главные минусы – это

потребность в регулярной зарядке и сложности с доступностью технологий.

Электродвигатели, работающие за счет электромагнетизма, превращают электрику в движение. Ведущие фирмы, включая H2Trac и Fendt, сосредоточены на создании электрифицированных тракторов. Водород, выделяющийся своей чистотой, занимает важную позицию в агротехнике, обещая экологичный прогресс в этой области.

Топливные элементы на водороде устанавливаются вместе с электромоторами для повышения топливной эффективности в 2-3 раза по сравнению с нефтепродуктами. Примером техники, работающей на водороде, служит трактор NH<sub>2</sub> от New Holland, созданный при участии FIAT на базе модели T6.140.

Тихий агротехнический аппарат NH<sub>2</sub> оборудован тремя энергетическими модулями водородного типа, общей мощностью 135 лошадиных сил. Одна секция предназначена для передвижения, другая задействована в работе с аграрными приспособлениями через гидросистему. Водород, используемый в качестве топлива, сжат до 350 атм. и хранится в емкости на 8,2 кг., что позволяет машине функционировать в автономном режиме до трех часов [6, 7].

В 2020-м Китай представил инновацию в агротехнике – автоматизированный трактор ET504-H на водороде. Это агрегат с топливными элементами, дополненный литий-ионным аккумулятором для дополнительной энергии при тяжелой работе. Трактор оснащен электромоторами для управления колесами и агрегатами, работает до 4 часов без подзарядки, а заправка занимает всего 5 минут [8].

Множество компаний исследуют использование водорода в агротехнике. Примером служит трактор Valtra H202, представленный в 2020 году, который управляется удаленно и работает на водородном топливе. Топливные элементы объединяют водород с атмосферным кислородом, при этом водород сохраняется в алюминиевых емкостях под давлением. Реализация проекта ожидается к 2040 году [9].

Несмотря на очевидные экологические преимущества альтернативных видов топлива для двигателей, есть серьезные инфраструктурные, экономические и технические сложности. Инфраструктурные вызовы связаны с необходимостью создания новых заправочных станций или адаптации уже имеющихся под альтернативные виды энергоносителей. Экономическая составляющая

заключается в первоначальных инвестициях для перевода парка машин на новый вид топлива и стимулах для производителей сельхозпродукции. Технические проблемы заключаются в модификации двигательной системы под альтернативное топливо; также следует учитывать специфические требования к обслуживанию этих систем.

Важно отметить, что разработка новых моделей двигателей поддерживается не только производителями автомобилей или агропечтехники; она также зачастую финансируется правительственными программами по поддержке экологически чистых видов энергии. Применение альтернативного топлива в двигателях внутреннего сгорания это будущее для устойчивого развития агросектора. Такие решения помогут не только минимизировать экологический отпечаток от работы сельскохозяйственной техники, но и обеспечить долгосрочную экономическую выгоду за счет повышения эффективности работы машин и использования возобновляемых энергоносителей.

### Список литературы

[1] Тракторы и автомобили. Практикум: учебно-методическое пособие: в 4 ч. / Г.И. Гедроить [и др.]. – Минск : БГАТУ, 2023. Ч. 1. 196 с.

[2] Плотников С.А. Расширение многотопливности автотракторного дизеля при использовании альтернативных топлив / С.А. Плотников, А.Н. Карташевич, М.В. Смольников, П.Н. Черемисинов // Известия МГТУ «МАМИ». – 2019. № 3 (41). 66-72 с.

[3] Карташевич А.Н. Устройство тракторов: учебник / А.Н. Карташевич [и др.]; под ред. А.Н. Карташевича. // 2-е изд., стер. – Минск: РИПО, 2020. 463 с.

[4] Плотников С.А. Разработка технологий применения нетрадиционных топлив в дизелях / С.А. Плотников, А.Н. Карташевич, Е.Г. Зыков, Н.Ю. Кутергин // Вестник НГИЭИ. – 2023. № 2 (141). 7-18 с. DOI: 10.24412/2227-9407-2023-2-7-18.

[5] New Holland представил трактор T7 Methane Power LNG, работающий на СПГ [Электронный ресурс] – URL:

<https://glavpahar.ru/news/new-holland-predstavil-traktor-t7-methane-power-lng-rabotayushchiy-na-spg> (дата обращения: 30.05.2024).

[6] New Holland's NH2 Hydrogen Fuel cell tractor [Электронный ресурс] – URL: <https://newatlas.com/new-holland-nh2-hydrogen-powered-tractor/11171/> (дата обращения: 30.05.2024).

[7] New holland. Official website [Электронный ресурс] – URL: <https://agriculture.newholland.com/pl-pl/europe> (дата обращения: 30.05.2024).

[8] Трактор на водороде: обратный отсчет. [Электронный ресурс] – URL: <https://direct.farm/post/traktor-na-vodorode-obratnyu-otschet-9826>. (дата обращения: 30.05.2024).

[9] Autonomous Self Driving Farm Tractor Concept Valtra H202. [Электронный ресурс] – URL: <https://icreated.com/autonomous-farm-tractor-concept-valtra/>. (дата обращения: 03.06.2024).

### **Bibliography (Transliterated)**

[1] Sokhatyuk P.V. Prospects for the use of adsorbed natural gas in mobile transport systems / P.V. Sokhatyuk, A.A. Kurilkin, A.V. Shkolin [Text] // Innovative potential of science development in the modern world: technologies, innovations, achievements. – Ufa: Scientific Research Center Bulletin of Science, 2024. 206-209 p.

[2] Tsivadze A.Yu. Promising adsorption batteries of natural gas for vehicles [Text] / A.Yu. Tsivadze, O.E. Aksyutin, A.G. Ishkov et al. // Transport on alternative fuels. – 2020. Т. 69. No. 3. 29-36 p.

[3] ARPA-E. CHANGING WHAT'S POSSIBLE. Move Program Overview [Electronic resource] – URL: [https://arpa-e.energy.gov/sites/default/files/documents/files/MOVE\\_ProgramOverview.pdf](https://arpa-e.energy.gov/sites/default/files/documents/files/MOVE_ProgramOverview.pdf) (access date: 05.29.2024)

[4] Balathanigaimani M.S. Adsorption of Methane on Novel Corn Grain-Based Carbon Monoliths [Text] / M.S. Balathanigaimani, W.-G. Shim, J.-W. Lee, H. Moon // Microporous and Mesoporous Materials. – 2009. Vol. 119.No. 1-3. 47-52 p.

[5] Bagheri N. Adsorption of methane on corn cobs based activated carbon [Text] / N. Bagheri, J. Abedi // Chemical Engineering Research and Design – 2011. No. 89 (10). 2038-2043 p.

[6] Zhang T. Grain-based activated carbons for natural gas storage [Text] / T. Zhang, W.P. Walawender, L.T. Fan // *Bioresource Technology*. – 2010. No. 101. 1983-1991 r.

[7] Bezerra D.P. Adsorption of CO<sub>2</sub> on nitrogen-enriched activated carbon and zeolite 13X [Text] / D.P. Bezerra, R.S. Oliveira, R.S. Vieira, Jr. C.L. Cavalcante, D.C.S. Azevedo // *Adsorption*. – 2011. No. 17(1). 235-246 rub.

[8] Strizhenov E.M. Low-temperature adsorption of methane on microporous AU-1 carbon adsorbent [Text] / E.M. Strizhenov, A.V. Shkolin, A.A. Fomkin, V.A. Sinitsyn, A.A. Zherdev and others. // *Physicochemical Processes at the Interfaces*. – 2014. Vol. 50. 15-21 p.

[9] Policicchio A. Higher methane storage at low pressure and room temperature in new easily scalable large-scale production activated carbon for static and vehicular applications [Text] / A. Policicchio, E. Maccallini, R.G. Agostino, F. Ciuchi, A. Aloise, G. Giordano // *Fuel*. – 2013. No. 104.813-821 p.

[10] Djeridi W. High pressure methane adsorption on microporous carbon monoliths prepared by olives stones [Text] / W. Djeridi, A. Ouederni, A.D. Wiersum, P. L. Llewellyn, L. El Mir // *Materials Letters*. – 2013. Vol. 99. 184-187 p.

[11] Quinn D.F. Carbons Suitable for Medium Pressure (6.9 MPa) Methane Storage [Text] / D.F. Quinn, Ragan S. // *Adsorption Science & Technology*. – 2000. Vol. 18. Iss. 6. 515-527 p.

© С.В. Михайлов, В.А. Седнин, 2024

Поступила в редакцию 14.05.2024

Принята к публикации 06.06.2024

---

### *Для цитирования:*

Михайлов С.В., Седнин В.А. Перспективы использования альтернативного топлива в двигателях внутреннего сгорания сельскохозяйственной техники // *Инновационные научные исследования*. 2024. № 6-1(43). С. 31-37. URL: <https://ip-journal.ru/>

<https://doi.org/10.5281/zenodo.12606924>

УДК 66.017

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ УСЛОВИЙ МАКРОТРАВЛЕНИЯ

**И.В. Панкратова,**

ведущий специалист по металловедению,

Отдел металловедения

**М.В. Хаустов,**

начальник управления новых видов продукции и инжиниринга,

АО «ОЭМК им. А.А.Угарова»,

г. Старый Оскол

**Аннотация:** В работе нашли отражение проблемы, связанные с отсутствием четкой формулировки понятий «растрав», «искаженные результаты» и «ложные дефекты» и/или иллюстраций их фотоснимками или шкалами. Главное внимание обращается на «творческий» подход при выборе условий травления. Отмечается влияние окислительной среды на результаты макротравления. Описываются результаты макротравления истинного и макротравления, которое следует относить к категории «искаженные результаты» или «ложные дефекты», а также осуществлена их фотофиксация и определены критерии отклонений истинных результатов от ложных. Подчеркивается неоднозначность в толковании требований ГОСТ 10243-75, приводящая к ложной отбраковки готовой продукции.

**Ключевые слова:** макротемплет, стандарт, окислитель, травление, эталон, растрав, искаженные результаты, ложные дефекты

---

## COMPARATIVE ANALYSIS OF MACRO-ETCHING CONDITIONS

**I.V. Pankratova,**

Leading specialist in metallurgy,

Department of Metallurgy

**M.V. Khaustov,**

Head of the Department of New Types of Products and Engineering,  
JSC «OEMK im. A.A.Ugarova»,  
Stary Oskol

**Annotation:** The paper reflects the problems associated with the lack of a clear formulation of the concepts of "rastrav", "distorted results" and "false defects" and/or illustrations of their photographs or scales. The main attention is paid to the "creative" approach when choosing etching conditions. The influence of the oxidizing environment on the results of macro-etching is noted. The results of true macro etching and macro etching, which should be classified as "distorted results" or "false defects", are described, as well as their photofixation and criteria for deviations of true results from false ones are determined. Ambiguity in the interpretation of the requirements of GOST 10243-75 is emphasized, leading to false rejection of finished products.

**Keywords:** macrotemplet, standard, oxidizer, etching, standard, etching, distorted results, false defects

---

Металловедение – прикладная наука, которая изучает строение и свойства металлов, устанавливает связь между химическим составом, структурой и свойствами металлов, а также закономерности изменения структуры и свойств под воздействием внешних факторов [1-4].

Изучая сталь на микроуровне и отвечая на вопросы качества производимой металлопродукции металловедением были выведены зависимости качественных показателей стали от физико-механических свойств и пороков, унаследованных на этапах металлургического передела. Первыми из которых можно выделить формализацию порядка проведения комплекса испытаний, а именно испытание для оценки макроструктуры металла.

Оценку макроструктуры проводят в соответствии с требованиями нормативных документов, в частности ГОСТ 10243-75 «Сталь. Методы испытаний и оценки макроструктуры» (далее – ГОСТ 10243-75, Стандарт). Стандарт предъявляет требования к пробоподготовке, дает рекомендации к условиям травления (режимам и реактивам), а также приводит описание макроструктуры и ее



дефектов, иллюстрированных шкалами и фотоснимками, для определения вида и оценки степени развития дефектов макроструктуры готовой металлопродукции.

Диспозитивный характер рекомендаций условий травления позволяет лабораториям «творчески» подходить к выбору реактива и режимов травления металла при оценке макроструктуры, что может привести к образованию растратов, «ложных дефектов» и «искаженным результатам» оценки макроструктуры. Нормативный документ предупреждает о такой вероятности, но не дает четкой формулировки понятий «искаженные результаты» и «ложные дефекты» и/или иллюстраций их фотоснимками или шкалами. В результате возникает неоднозначность в толковании требований к качеству продукции.

Если «творческий» подход приведет к выбору условий травления с применением промежуточной промывки темплетта в окислительной среде (в частности в водном растворе перманганата калия), это приведет к образованию ложной пористости в следствие коррозии металла и «растравки» поверхности темплетта, что в свою очередь может привести к ошибочной отбраковке металла по такому дефекту макроструктуры, как точечная неоднородность.

Лабораторией металловедения АО «ОЭМК им. А.А. Угарова» было проведено исследование с целью определения влияния промежуточного промывания макротемплетта стали марки ШХ15 в водном растворе перманганата калия на результаты оценки макроструктуры.

Для исследования был отобран комплект проб из стали марки ШХ15, из которых вырезали поперечные темплеты (темплет №1 и темплет №2). Пробоподготовка проводилась в соответствии с требованиями ГОСТ 10243-75 [5-9]:

1. Поверхность темплетов была подвергнута холодной механической обработке – шлифованию (п.2.6).
2. Обезжирена (п.3.1).

Травление темплетов производилось по разным методикам. Темплет №1 – в строгом соблюдении требований и рекомендаций ГОСТ 10243-75:

– протравлен в 50 % водном растворе соляной кислоты  $\text{HCl}$  (по ГОСТ 3118-77) в течение 30 минут при температуре  $60^{\circ}\text{C}$  (реактив 1, Приложение 1);

– промыт в проточной воде и просушен сжатым воздухом (п. 3.7.).

Темплет №2 – разрезан на образцы (сектора). Один из образцов подготовлен в соответствии с методикой, которая не имеет прямого запрета в ГОСТ 10243-75:

– травление темплетта в 50% растворе концентрированной соляной кислоты при температуре  $60\text{-}80^{\circ}\text{C}$  в течение 15 минут;

– промывание темплетта в растворе перманганата калия в течение 5 минут;

– повторное травление темплетта в 50% растворе концентрированной соляной кислоты при температуре  $60\text{-}80^{\circ}\text{C}$  в течение 10 минут; [3].

– промывание поверхности темплетта раствором соды.

В результате визуального осмотра макротемплетта №1 установлено, что поверхность имеет светло серый матовый цвет (рис. 1).

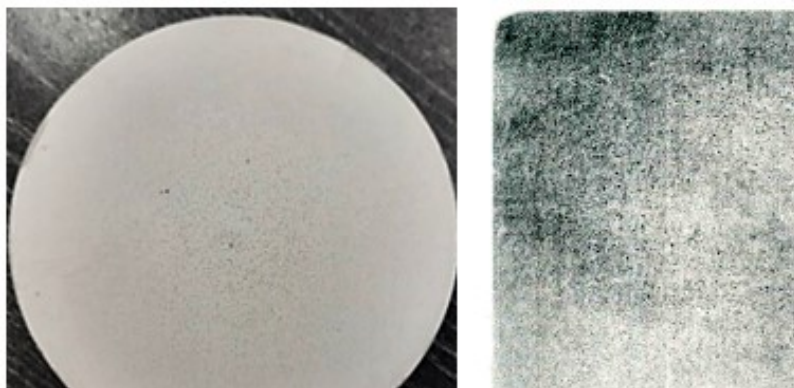


Рисунок 1 – Внешний вид макротемплетта №1 и эталон дефекта макроструктуры ТН в соответствии со шкалой № 2 ГОСТ 10243

Точечная неоднородность в соответствии со шкалой №2 ГОСТ 10243-75 оценена 0,5 баллом.

При увеличении  $\times 100$  поверхность темплета имеет однородный цвет и представлена слабо выраженным рельефом (рис. 2). Поры имеют четкий контур и располагаются единичными неглубокими раковинами.

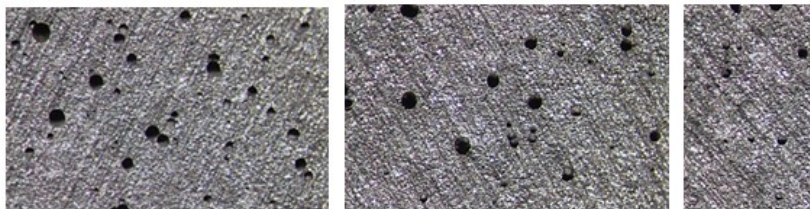


Рисунок 2 – Поверхность макротемплета №1 при увеличении  $\times 100$

При металлографическом исследовании продольного микрошлифа, вырезанного из темплета №1 в форме сектора с «захватом» центральной зоны было установлено, что поверхность макротемплета гладкая с единичными раковинами. Глубина раковин не превышает 50 мкм (рис. 3, а) ширина раскрытия на поверхности составляет 40-50 мкм (рис. 3, б).

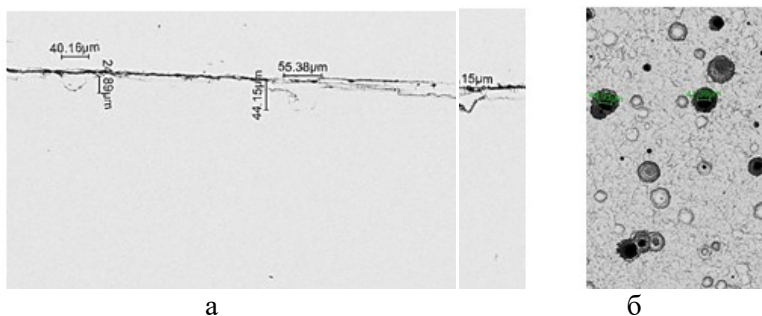


Рисунок 3 – Внешний вид, глубина и ширина раскрытия раковин темплет №1:

а) продольное сечение; б) поперечное сечение

Их количество составляет 16 шт (0,3 ед/мм). Глубина раковин и их количество увеличивается от поверхности темплета к центру.

Микроструктура после травления в 4% растворе азотной кислоты в этиловом спирте равномерная.

В зоне раковин неметаллических включений и искажения структуры не обнаружено. Также отсутствуют ликвационные полосы и следы газовых пузырей.

В результате визуального осмотра макроструктуры темплета (сектора) №2 установлено, что поверхность сектора имеет темно серый цвет с участками, частично пораженными коррозией (рис. 4).

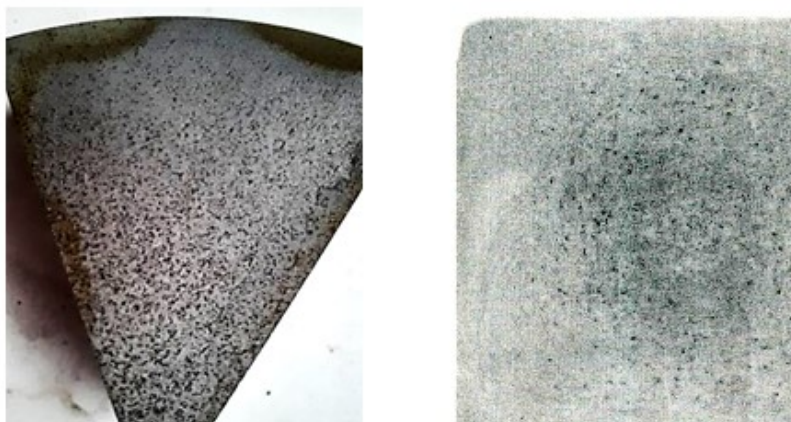


Рисунок 4 – Внешний вид макротемплета №2 и эталон дефекта макроструктуры ТН в соответствии со шкалой № 2 ГОСТ 10243

При увеличении  $\times 100$  поверхность «вскоробленная», имеет явно выраженный рельеф и покрыта темным рыхлым налетом (рис. 5). Отмечено частичное разрушение налета и его осыпание. Поры имеют рыхлые границы. Располагаются группой на поверхности макротемплета.

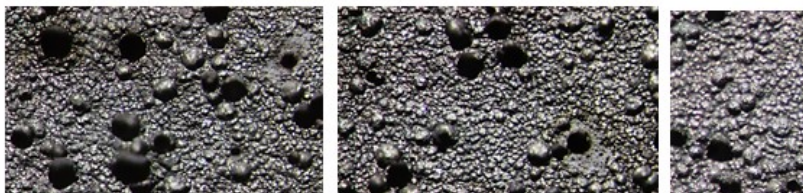


Рисунок 5 – Поверхность макротемплета №2 при увеличении  $\times 100$

При металлографическом исследовании продольного микрошлифа, вырезанного из темплета (сектора) №2 в форме сектора с «захватом» центральной зоны было установлено, что поверхность макротемплета имеет явно выраженный рельеф. Поры после травления по данной методике имеют глубину до 430 мкм (рис. 6, а) ширина раскрытия на поверхности составляет 80-125 мкм (рис. 6, б).

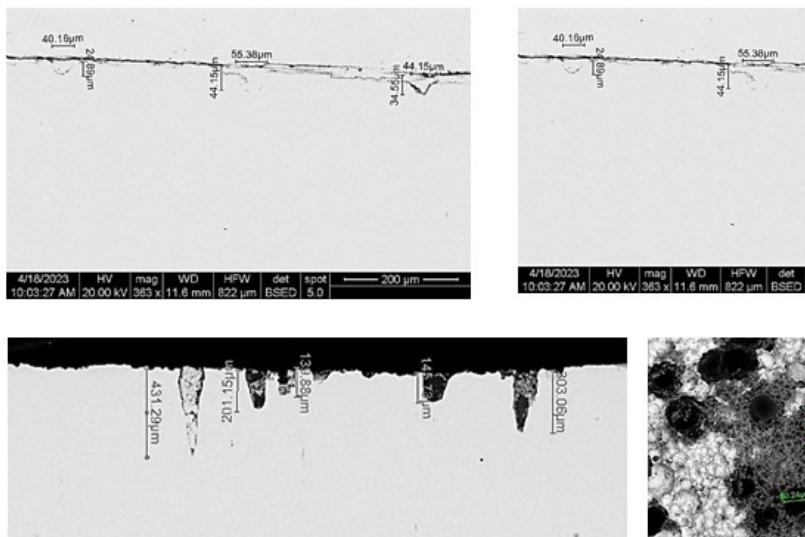


Рисунок 6 – Внешний вид, глубина и ширина раскрытия раковин темплет №2:

а) продольное сечение; б) поперечное сечение

Их количество составляет 62 шт (1,1 ед/мм). Глубина пор и их количество увеличивается от поверхности темплета к центру. Раковины, имеющие групповое расположение, покрыты налетом темно серого цвета. Налет представлен соединениями на основе кремния (Si) (рис. 7).

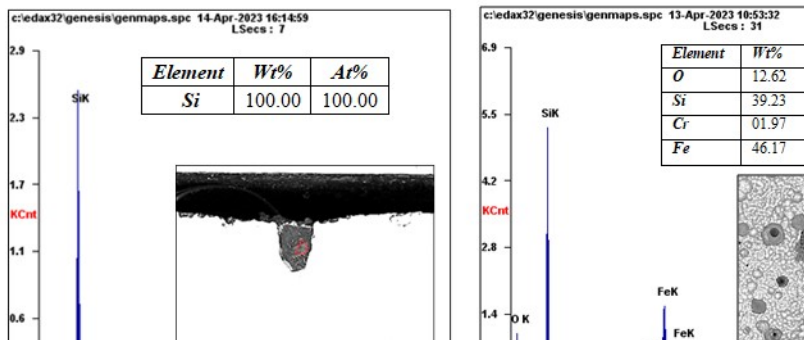


Рисунок 7 – Результат микроанализа налета на образце №2

Микроструктура после травления в 4% растворе азотной кислоты в этиловом спирте равномерная.

В зоне раковин неметаллических включений и искажения структуры не обнаружено. Также отсутствуют ликвационные полосы и следы газовых пузырей.

### Выводы:

При проведен сравнительного анализа условий травления можно сделать вывод о том, что применение промежуточной промывки темплета в окислительной среде (в частности в водном растворе перманганата калия) действительно приводит к образованию ложной пористости в следствие коррозии металла и «растрава» поверхности темплета, что в свою очередь приводит к ошибочной отбраковке металла по такому дефекту макроструктуры, как точечная неоднородность. Основным критерием получения растрava на поверхности макротемплета стоит считать наличие на нем участков, обогащенных кремнием или выделение кремния в чистом виде, в силу инертности последнего в соляной кислоте.

### Список литературы

- [1] Лахтин Ю.М. Материаловедение / Ю.М. Лахтин, В.П. Леонтьева – М.: Машиностроение. 1980. 493 с.
- [2] Расцупкин В.П. Дефекты металла: Учебное пособие по дисциплине «Материаловедение и ТКМ» для механических

специальностей вузов / В.П. Расщупкин, М.С. Корытов – Омск: Изд-во СиБАДИ, 2006. 37 с.

[3] Халдеев Г.В. Защита металлов / Г.В. Халдеев, В.В. Камелин, А.В. Певнева и др. – 1984. Т. 20. №2. 218 с.

[4] Салтыков С.Н. Защита металлов / С.Н. Салтыков, Н.В. Тарасова – 2006. Т. 42. № 5. 542 с.

[5] Тарасова Н.В. Защита металлов / Н.В. Тарасова, С.Н. Салтыков – 2007. Т. 43. № 3.

[6] Тарасова Н.В. Проблемы черной металлургии и металловедения / Н.В. Тарасова, С.Н. Салтыков – 2009. №1.

[7] Циммерман Р. Металлургия и материаловедение: Справочник; пер. с нем. / Р. Циммерман, К. Гюнтер – М.: Металлургия, 1982. 480 с.

[8] ГОСТ 1050-2013 Металлопродукция из нелегированных конструкционных качественных и специальных сталей. Общие технические условия.

[9] Гуляев А.П. Металловедение. Учебник для вузов. / А.П. Гуляев // 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1986. 544 с.

### **Bibliography (Transliterated)**

[1] Lakhtin Yu.M. Materials Science / Yu.M. Lakhtin, V.P. Leontyev – М.: Mechanical Engineering. 1980. 493 p.

[2] Raschupkin V.P. Metal defects: Textbook on the discipline “Materials Science and TCM” for mechanical specialties of universities / V.P. Raschupkin, M.S. Korytov – Омск: SibADI Publishing House, 2006. 37 p.

[3] Khaldeev G.V. Protection of metals / G.V. Khaldeev, V.V. Kamelin, A.V. Pevneva et al. – 1984. Т. 20. No. 2. 218 p.

[4] Saltykov S.N. Protection of metals / S.N. Saltykov, N.V. Tarasova – 2006. Т. 42. No. 5. 542 p.

[5] Tarasova N.V. Protection of metals / N.V. Tarasova, S.N. Saltykov – 2007. Т. 43. No. 3.

[6] Tarasova N.V. Problems of ferrous metallurgy and metallurgy / N.V. Tarasova, S.N. Saltykov – 2009. No. 1.

[7] Zimmerman R. Metallurgy and materials science: Handbook; lane with him. / R. Zimmerman, K. Gunter – М.: Metallurgy, 1982. 480 p.

[8] GOST 1050-2013 Metal products from unalloyed structural high-quality and special steels. General technical conditions.

[9] Gulyaev A.P. Metallurgy. Textbook for universities. / A.P. Gulyaev // 6th ed., revised. and additional – М.: Metallurgy, 1986. 544 p.

© *И.В. Панкратова, М.В. Хаустов, 2024*

Поступила в редакцию 12.05.2024

Принята к публикации 06.06.2024

---

*Для цитирования:*

Панкратова И.В., Хаустов М.В. Сравнительный анализ условий макротравления // Инновационные научные исследования. 2024. № 6-1(43). С. 38-47. URL: <https://ip-journal.ru/>



<https://doi.org/10.5281/zenodo.12606967>  
УДК 544.538

## **ВОЗДЕЙСТВИЕ ХИМИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ И ПЫЛИ, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКЕ, НА ЗДОРОВЬЕ РАБОТНИКОВ**

**Н.А. Поповский,**

аспирант 1 курса, напр. «Автоматизация и управление  
технологическими процессами и производствами»,  
ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»

**Аннотация:** В статье рассматривается влияние химических веществ и пыли, образующихся в воздухе рабочей зоны в процессе лазерной абляции, на организм работника. В статье освещаются вредные и опасные производственные факторы, возникающие при использовании лазерных установок. Длительное воздействие загрязненного воздуха на имеет пагубное накопительное влияние на здоровье человека. Это приводит к значительным проблемам со здоровьем и развитию профзаболеваний. Поэтому уменьшение данного воздействия является важным аспектом в обеспечении безопасности работников.

**Ключевые слова:** лазерная обработка, лазерные изделия, классификация лазеров, вредные факторы лазерной обработки, влияние химических веществ и пыли на организм

---

## **THE EFFECTS OF CHEMICAL COMPOUNDS AND DUST ARISING FROM LASER TREATMENT ON THE HEALTH OF WORKERS**

**N.A. Popovskiy,**

1th year graduate student, direction "Automation and control of  
technological processes and productions ",  
MSUT "STANKIN"

**Annotation:** The article examines the effect of chemicals and dust formed in the air of the work area during laser ablation on the worker's body. The article highlights the harmful and dangerous production factors that arise when using laser installations. Prolonged exposure to polluted air has a detrimental cumulative effect on human health. This leads to significant health problems and the development of occupational diseases. Therefore, reducing this impact is an important aspect in ensuring the safety of employees.

**Keywords:** laser treatment, laser products, classification of lasers, harmful factors of laser treatment, the effect of chemicals and dust on the body

Лазерные изделия в зависимости от генерируемого излучения подразделяются на четыре класса опасности [1] (рис. 1).

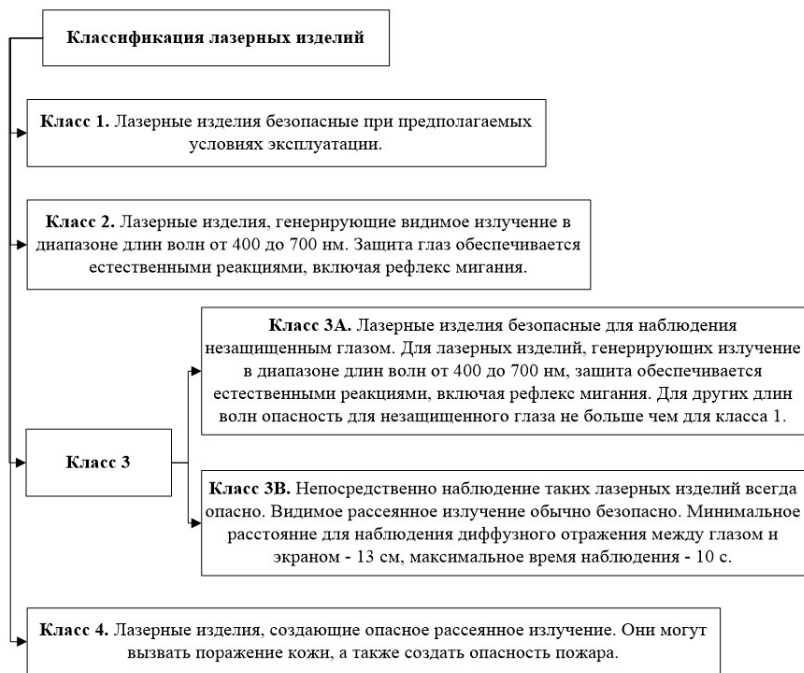


Рисунок 1 – Классификация лазеров

В зависимости от происхождения вредные факторы при эксплуатации лазерных установок разделяют на:

1. Факторы, возникновение которых связано непосредственно с работой лазера.

2. Факторы, происхождение которых является результатом взаимодействия лазерного луча с обрабатываемыми материалами или же с различными элементами, необходимыми для выполнения манипуляций с лазерным лучом [2].

Опасные и вредные производственные факторы (ОВПФ), которые могут иметь место при эксплуатации лазеров 1-4-го классов, приведены в таблице 1 [3].

Таблица 1 – Зависимость наличия ОВПФ от класса опасности лазера

Опасные и вредные производственные факторы	Класс лазера			
	1	2	3	4
прямое, зеркально отраженное лазерное излучение	-	+	+	+
диффузно отраженное лазерное излучение	-	-	+	+
Повышенная напряженность электрического поля	-(+)	+	+	+
Повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны	-	-	-(+)	+
Повышенный уровень ультрафиолетовой радиации	-	-	-(+)	+
Повышенная яркость света	-	-	-(+)	+
Повышенные уровни шума и вибрации	-	-	-(+)	+
Повышенный уровень ионизирующих излучений	-	-	-	+
Повышенный уровень электромагнитных излучений ВЧ- и СВЧ-диапазонов	-	-	-	-(+)
Повышенный уровень инфракрасной радиации	-	-	-(+)	+
Повышенная температура поверхностей оборудования	-	-	-(+)	+
Химические опасные и вредные производственные факторы	При работе с токсичными веществами			

«+» – присутствуют всегда; «-» – отсутствуют; «-(+)» – наличие зависит от конкретных технических характеристик, лазера и условий его эксплуатации

Состав загрязняющих воздух веществ зависит от обрабатываемых материалов (табл. 2).

Таблица 2 – Обрабатываемые материалы и загрязнители

Подложка	Загрязнители	Другие существенные выбросы
Металлы	Частицы металлов и их оксидов	Легированные присадки, хром.
Дерево, МДФ, Фанера	Частицы дерева, углеродная сажа, пары смол	CO <sub>2</sub> , CO, фенол

При экспозиции лазерного излучения в точке обработки возникают экстремально высокие температуры, которые способствуют формированию различных химических соединений, особенно в случае органических пластиков. Эти материалы начинают воспламеняться, порождая испарения органических соединений, которые могут быть вредными для здоровья человека. В таблице ниже представлены продукты разложения различных типов пластиков (табл. 3).

Таблица 3 – Продукты разложения пластиков при лазерной абляции

Подложка	Основные загрязнители	Другие существенные выбросы
Поликарбонат (PC)	Респираторная пыль (87%), Крезол (11%)	Фенол, бензол
Полипропилен/Полиэтилен (PP/PE)	Респираторная пыль (99%)	1,3-Бутадиен, пропеналь, бензол
Поливинилхлорид (PVC)	Респираторная пыль (88%), Соляная кислота (7%)	Бензол, метаналь, ПАУ, фосген
Резина (SBR, искусственная)	Респираторная пыль (89%), 1,3-Бутадиен (2%)	Стирол, ПАУ, пропеналь, бензол
Полиуретан (PU)	Респираторная пыль (99%)	Бензол, толуол

### Влияние химических веществ и пыли на организм

Длительное воздействие промышленных аэрозолей или токсичных веществ может вызвать развитие пневмокониозов, хронического бронхита, аллергических и опухолевых заболеваний

бронхо-легочной системы, а также пылевые заболевания глаз и кожи [4].

Некоторые ядовитые вещества поражают одновременно несколько органов или систем органов [5]. Влияние основных химических веществ представлено в таблице 4.

Таблица 4 – Влияние химических веществ на организм

<b>Вещество</b>	<b>Действие на организм</b>
Фенол	Раздражение кожи, ожоги; отравление; токсическое влияние на печень, почки и другие органы
Бензол	Бензол является канцерогеном, что означает, что он может вызывать рак; токсическое воздействие на ЦНС
1,3-Бутадиен	Риск развития рака, в особенности лейкемии и лимфом; токсическое влияние на внутренние органы и ЦНС
Метаналь (формальдегид)	Раздражение слизистых; аллергические реакции; увеличение риска развития рака; токсическое влияние на внутренние органы
ПАУ	Увеличение риска развития рака; токсическое влияние на внутренние органы; изменения в генетическом материале
Стирол	Раздражение кожи и слизистых; токсическое действие на ЦНС; возникновение изменений в генетическом материале

Канцерогенный риск – это вероятность возникновения раковых опухолей в течение всей жизни, вызванная воздействием потенциальных канцерогенов. Он представляет собой верхнюю границу дополнительного риска на протяжении жизни [6].

Химические вещества являются наиболее распространенным источником загрязнения биосферы. Исследования ученых показывают, что канцерогены химического происхождения могут воздействовать на организм независимо от их концентрации. Они могут оказывать местное воздействие или воздействовать на различные органы, независимо от способа попадания в организм [7].

Сегодня проблема химической безопасности стала крайне важной для всего человечества. Разнообразие химических веществ в окружающей среде, их различия в структуре и свойствах, а также сложности в управлении риском создают реальные угрозы для выживания человека и природы [8].

### **Заключение**

Борьба с химическими веществами и промышленной пылью в воздухе рабочей зоны – важная задача с точки зрения гигиены и социально-экономического развития. Несмотря на определенные успехи в предотвращении профессиональных заболеваний, вызванных химическими веществами и пылью, и улучшении условий труда, проблема остается актуальной из-за широкого распространения загрязнений в воздухе и сложностей в ее борьбе.

Существует множество методов минимизации негативного воздействия на работников (от технических мероприятий до использования средств индивидуальной защиты). Но по моему мнению наиболее перспективным является метод минимизации воздействия за счет автоматизированной системы управления технологическим процессом лазерной обработки, который заключается в уменьшении концентрации вредных веществ за счет изменения параметров обработки.

### Список литературы

[1] ГОСТ 31581-2012. Лазерная безопасность. Общие требования безопасности при разработке и эксплуатации лазерных изделий : национальный стандарт Российской Федерации : дата введения 2015-01-01 / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – Изд. официальное. – Москва : Стандартинформ, 2013. 19 с.

[2] Куренкова Г.В. Электромагнитные поля и излучения в производственных условиях. Вопросы гигиенической оценки и профилактики : учебное пособие / Г.В. Куренкова ; Иркутский государственный медицинский университет, Кафедра профильных гигиенических дисциплин. – Иркутск : ИГМУ, 2022. 107 с.

[3] ГОСТ 12.1.040-83. Система стандартов безопасности труда. Лазерная безопасность. Общие положения : государственный стандарт Союза ССР : дата введения 1984-01-01 / Государственный комитет СССР по стандартам. – Изд. официальное. – Москва : ИУС № 4-86, 1988. 8 с.

[4] Куренкова Г.В. Пыль как вредный фактор производственной среды : учебное пособие / Г.В. Куренкова, Е.В. Жукова, Е.П.

Лемешевская ; ГБОУ ВПО ИГМУ Минздрава России. – Иркутск : ИГМУ, 2015. 88 с.

[5] Чеснокова С.М. Основы токсикологии и экотоксикологии : учеб. пособие / С.М. Чеснокова, О.В. Савельев ; Владим. гос. ун-т им. А.Г. и Н.Г. Столетовых. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2019. 132 с.

[6] Степанова Н.В. Оценка канцерогенного риска для здоровья населения при воздействии химических веществ : учебное пособие / Н.В. Степанова, Э.Р. Валеева, Фомина С.Ф. – Казань: К(П)ФУ. ИФМиБ.- 2016. 128 с.

[7] Почекаева Е.И. Канцерогены окружающей среды : учебное пособие / Е.И. Почекаева, Т.В. Попова ; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону; Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2023. 115 с.

[8] Доника А.Д. Основы токсикологии токсичных химических веществ: учебное пособие / А.Д. Доника, В.Я. Ильин ; Волгоградский государственный медицинский университет. – Волгоград: Издательство Волгоградского государственного медицинского университета, 2009. 194 с.

### **Bibliography (Transliterated)**

[1] GOST 31581-2012. Laser safety. General safety requirements for the development and operation of laser products: national standard of the Russian Federation: introduction date 2015-01-01 / Federal Agency for Technical Regulation and Metrology. – Ed. official. – Moscow: Standartinform, 2013. 19 p.

[2] Kurenkova G.V. Electromagnetic fields and radiation in industrial conditions. Questions of hygienic assessment and prevention: textbook / G.V. Kurenkova; Irkutsk State Medical University, Department of Profile Hygienic Disciplines. – Irkutsk: IGMU, 2022. 107 p.

[3] GOST 12.1.040-83. System of occupational safety standards. Laser safety. General provisions: state standard of the USSR: date of introduction 1984-01-01 / USSR State Committee for Standards. – Ed. official. – Moscow: IUS No. 4-86, 1988. 8 p.

[4] Kurenkova G.V. Dust as a harmful factor in the industrial environment: textbook / G.V. Kurenkova, E.V. Zhukova, E.P.

Lemeshevskaya; GBOU VPO IGMU of the Ministry of Health of Russia. – Irkutsk: IGMU, 2015. 88 p.

[5] Chesnokova S.M. Fundamentals of toxicology and ecotoxicology: textbook. allowance / S.M. Chesnokova, O.V. Savelyev; Vladim. state University named after A.G. and N.G. Stoletovs. – Vladimir: VISU Publishing House, 2019. 132 p.

[6] Stepanova N.V. Assessment of carcinogenic risk to public health when exposed to chemicals: textbook / N.V. Stepanova, E.R. Valeeva, Fomina S.F. – Kazan: K(P)FU. IFMiB.- 2016. 128 p.

[7] Pochekaeva E.I. Environmental carcinogens: textbook / E.I. Pochekaeva, T.V. Popova; South Federal University. – Rostov-on-Don; Taganrog: Southern Federal University Publishing House, 2023. 115 p.

[8] Donika A.D. Fundamentals of toxicology of toxic chemicals: textbook / A.D. Donika, V.Ya. Ilyin; Volgograd State Medical University. – Volgograd: Publishing house of Volgograd State Medical University, 2009. 194 p.

© *Н.А. Поповский, 2024*

Поступила в редакцию 10.05.2024

Принята к публикации 06.06.2024

---

***Для цитирования:***

Поповский Н.А. Воздействие химических соединений и пыли, возникающих при лазерной обработке, на здоровье работников // Инновационные научные исследования. 2024. № 6-1(43). С. 48-55. URL: <https://ip-journal.ru/>



<https://doi.org/10.5281/zenodo.12606988>  
UDC 004.89

## INVESTIGATIONS OF DEEP LEARNING ALGORITHMS IN THE PROBLEMS OF CLASSIFICATION, FORECASTING, IMAGES PROCESSING AND RECOGNITION

**G.I. Hamidov,**

Information Technology Department,  
Baku

**Annotation:** The goal of the work is to investigate and compare the effectiveness of four deep learning optimization algorithms SGD, Adam, Adagrad and RMSprop in forecasting and pattern recognition tasks. The results of the work – in the process of the work, a comparative analysis of deep learning optimization algorithms was carried out. For this, 5 data sets were selected and prepared for model training. Models with different architectures were created according to each data set. Models were compiled and trained. At the compilation stage, the loss function for each model was determined according to the task, as well as the metrics by which the performance of the model will be evaluated. After training the model, the corresponding losses and metrics were measured on the test data. All results were analyzed and conclusions drawn.

**Keywords:** DL optimization algorithms, efficiency estimation in the problems of regression analysis, images recognition

## ИССЛЕДОВАНИЯ АЛГОРИТМОВ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ В ЗАДАЧАХ КЛАССИФИКАЦИИ, ПРОГНОЗИРОВАНИЯ, ОБРАБОТКИ И РАСПОЗНАВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ

**Г.И. Гамидов,**

Департамент информационных технологий,  
г. Баку

**Аннотация:** Целью работы является исследование и сравнение эффективности четырех алгоритмов оптимизации глубокого обучения SGD, Adam, Adagrad и RMSprop в задачах

прогнозирования и распознавания образов. Результаты работы – в процессе работы был проведен сравнительный анализ алгоритмов оптимизации глубокого обучения. Для этого было выбрано 5 наборов данных и подготовлено для обучения модели. Для каждого набора данных были созданы модели с разной архитектурой. Модели были скомпилированы и обучены. На этапе компиляции определялась функция потерь для каждой модели согласно поставленной задаче, а также метрики, по которым будет оцениваться производительность модели. После обучения модели соответствующие потери и метрики были измерены на тестовых данных. Все результаты были проанализированы и сделаны выводы.

**Ключевые слова:** алгоритмы оптимизации DL, оценка эффективности в задачах регрессионного анализа, распознавание изображений

## KLASSİFİKASIYA, PROQNOZLAŞDIRMA, TƏSVİRLƏRİN EMALI VƏ TANINMASI PROBLEMLƏRİNDƏ DƏRİN TƏLİM ALQORİTMLƏRİNİN TƏDQIQI

**Q.İ. Həmidov,**

İnformasiya Texnologiyaları Departamenti,  
Bakı

**Annotasiya:** İşin məqsədi SGD, Adam, Adagrad və RMSprop dörd dərin təlim optimallaşdırma alqoritminin proqnozlaşdırma və nümunələrin tanınması problemlərində effektivliyini araşdırmaq və müqayisə etməkdir. İşin nəticələri – iş zamanı dərin təlim optimallaşdırma alqoritmlərinin müqayisəli təhlili aparılmışdır. Bu məqsədlə 5 məlumat dəsti seçilmiş və model təlimi üçün hazırlanmışdır. Hər bir məlumat dəsti üçün müxtəlif arxitekturaya malik modellər yaradılmışdır. Modellər tərtib edilmiş və öyrədilmişdir. Kompilyasiya mərhələsində hər bir model üçün itki funksiyası tapşırığa, eləcə də modelin performansının qiymətləndiriləcəyi metrikalara uyğun olaraq müəyyən edilmişdir. Modeli öyrətdikdən sonra sınaq məlumatlarında müvafiq itkilər və ölçülər ölçülmüşdür. Bütün nəticələr təhlil edilmiş və nəticələr çıxarılmışdır.

**Açar sözlər:** DL optimallaşdırma alqoritmləri, reqressiya təhlili problemlərində səmərəliliyin qiymətləndirilməsi, təsvirlərin tanınması

## 1. Introduction

Deep learning has found wide applications in many areas of modern society, including computer vision, language analysis, financial services, medicine, and more.

It plays an important role in modern society, expanding the possibilities of computer processing of data and automation of processes, allowing to obtain new knowledge from a large amount of data, improve the accuracy of forecasting and solve complex problems that were previously considered unattainable. Thanks to its capabilities, deep learning continues to develop and find new applications in various industries, contributing to technological progress and innovation.

In turn, optimization algorithms are an important component of deep learning and are used to improve the learning process of neural networks. In the context of deep learning, optimizers are responsible for tuning model parameters in order to minimize the loss function and achieve optimal model accuracy or efficiency. Stochastic gradient descent algorithm, Adam, AdaGrad, RMSprop and others can be distinguished among the popular ones in deep learning. Each of them has its own unique features and operating principles, and the choice of optimizer depends on the specific task and characteristics of training data.

The relevance of this work lies in improving the results of deep learning and the development of the industry as a whole. Comparative analysis of deep learning algorithms helps to understand how different optimization methods affect the quality and speed of learning models. This makes it possible to choose the best algorithm for a specific task, providing better results and efficient use of resources. Research in this area can contribute to improving the understanding of deep learning algorithms and implementing best practices in the development of future models.

Statement of the problem

The object of research is deep learning optimization algorithms: stochastic gradient descent (SGD), Adam, AdaGrad and RMSprop.

The subject of research is deep learning in forecasting tasks.

The purpose of the work is to study, define and compare the effectiveness of four deep learning optimization algorithms SGD, Adam, AdaGrad and RMSprop in different intelligence tasks.

This paper presents the task of comparative analysis of optimization methods. To do this, it is necessary to investigate the operation of optimization methods in the conditions of various forecasting problems and compare the results. A comparative analysis of optimization methods SGD, Adam, AdaGrad, RMSprop can be presented in the following stages:

1. Selection of tasks and data sets: Several prediction tasks are selected that include different types of data, such as structured data, text data, or images. An appropriate data set is selected for each task.

2. Implementation of models: Implementation of a deep learning model using optimization algorithms. It is important to ensure that the models are identical in architecture, except for the optimization method.

3. Model training: Model training using appropriate optimization methods. At this stage, important parameters such as learning rate, number of training epochs, and batch size need to be fixed.

4. Measuring metrics: Measuring performance metrics for each model, such as accuracy, loss, or root mean square error, on the test data set after each training epoch. Metrics are recorded for later comparison.

5. Analysis of results: Comparison of results for models using SGD, Adam, AdaGrad and RMSprop methods. Checking the rate of convergence of each method, observing the change of metrics during training and comparing their value at the end point of the training. A consideration of which methods work best for different types of data and forecasting tasks.

## **2. Description of data**

The work uses 5 data sets downloaded using the tensorflow.keras.datasets library:

### **2.1. Boston Housing**

The Boston Housing dataset is a dataset widely used in machine learning and statistics. It was first introduced by researchers at the US Census Bureau and the University of Chicago in 1978, and has since become the benchmark dataset for regression analysis and predictive modeling.

The dataset contains information on house prices in the suburbs of Boston, Massachusetts. It consists of 506 samples, each representing a different suburb. For each suburb, there are 13 different features or attributes that describe different aspects of the area. These characteristics

are used to predict the median value of owner-occupied homes in thousands of dollars (the target variable).

The 13 functions included in the data set are as follows [1]:

CRIM: Crime rate per capita by city.

ZN: Proportion of residential land allocated to lots over 25,000 square feet.

INDUS: Proportion of non-retail business acres per city.

CHAS: Charles River dummy variable (1 if the suburb borders the river; 0 otherwise).

NOX: concentration of nitrogen oxides (parts per 10 million).

RM: Average number of rooms per dwelling.

AGE: Proportion of owner-occupied apartments built before 1940.

DIS: weighted distances to five Boston employment centers.

RAD: Radial Access Index.

TAX: Full property tax rate for \$10,000.

PTRATIO: Pupil/Teacher Ratio by City.

B:  $1000 \cdot (B_k - 0.63)^2$ , where  $B_k$  is the share of black people in cities.

LSTAT: Percentage of lower status population.

Each sample in the data set represents a suburb, and the features reflect different characteristics of the suburb that may affect house prices. A dummy variable, the mean of owner-occupied homes, is provided for each suburb.

Boston Housing is often used to explore regression techniques, evaluate the performance of algorithms, and study the relationship between housing prices and given attributes. It has been a valuable resource for machine learning researchers and practitioners in developing and testing house price forecasting models and related analysis

2.2. The "IMDb Movie Reviews" dataset is a popular dataset often used in natural language processing and sentiment analysis.

The dataset contains a large number of movie reviews collected from the IMDb website, a popular online database of movies, TV shows, etc. (Fig. 1.1). The reviews in this dataset cover a wide range of films, genres, and sentiments expressed by reviewers. Each review in the dataset is labeled with one of two sentiments: positive or negative, indicating whether the reviewer had a positive or negative opinion about the movie. This binary classification setting makes it suitable for training and

evaluating models that aim to classify text into positive or negative sentiment categories.

Importantly, this dataset primarily focuses on binary sentiment classification, and reviews may not reflect the full diversity of movie genres, languages, or cultural backgrounds. Therefore, when working with it, it is important to keep these limitations in mind and consider additional data sources or metrics to gain a full understanding of the effectiveness of sentiment analysis.

### **2.3. CIFAR-10**

The "CIFAR-10" dataset is a widely used dataset in the field of computer vision and machine learning. It consists of a set of labeled images specially designed for object recognition tasks. The name CIFAR-10 stands for "Canadian Institute for Advanced Research 10" because it was created by researchers from the Canadian Institute for Advanced Research.

This dataset contains a total of 60,000 color images, each with a resolution of 32x32 pixels. These images are divided into ten different classes, with each class representing a specific category of objects (Fig. 1.2). The classes in the CIFAR-10 dataset are as follows:

- 1) airplane;
- 2) a car;
- 3) a bird;
- 4) a cat;
- 5) deer;
- 6) a dog;
- 7) frog;
- 8) horse;
- 9) a boat;
- 10) truck.

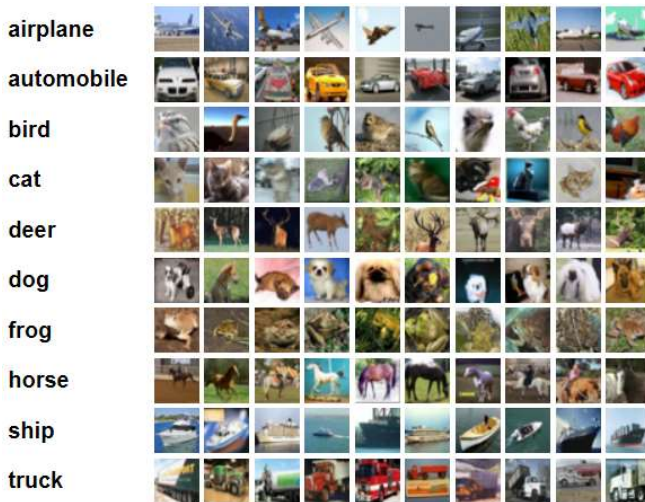


Figure 1.2 – Sample images of the "CIFAR-10" data set by categories [3]

The data set is divided into two subsets: the training set and the test set. The training set consists of 50,000 images, while the test set contains 10,000 images. This separation allows researchers and practitioners to train their models on large amounts of data and then evaluate their performance on unknown examples.

CIFAR-10 creates a challenging task for image classification algorithms due to its relatively low resolution and presence of different object categories. It has been widely used as a benchmark dataset to evaluate the performance of various computer vision models and algorithms, including convolutional neural networks. Researchers and practitioners use it to develop and test approaches to object recognition, feature extraction, and image classification.

#### 2.4. MNIST

The MNIST (Modified NIST) database is a large database of handwritten digits commonly used to train various image processing systems. It was created by "remixing" samples from the original NIST data sets. The developers believed that because the NIST training dataset was taken from US Census Bureau employees and the test dataset was taken from US high school students, it was not suitable for machine learning experiments. In addition, the black and white images from NIST were

normalized to fit within a 28x28 pixel bounding box and smoothed to introduce gray levels [4].

The MNIST dataset consists of a set of handwritten digits commonly used to train and evaluate image classification algorithms (Fig. 1.3). It was created to provide a standardized benchmark for comparing different machine learning models for the handwritten digit recognition task.



Figure 1.3 – Sample images from the dataset «MNIST» [5]

MNIST contains 60,000 training images and 10,000 test images. Half of the training set and half of the test set were taken from the NIST training dataset, while the other halves were taken from the test set. This separation allows researchers and practitioners to train their models on large amounts of data and then evaluate their performance on unknown examples. Each image in this dataset represents a single digit from 0 to 9. The goal is to develop a machine learning model that can accurately classify these images by their corresponding digits. Among the data are labels for each image indicating the actual number it represents. These labels are used during training to guide the training of the model and during evaluation to evaluate its accuracy.



The MNIST dataset has been widely used for the development and evaluation of various machine learning algorithms, particularly in the fields of image classification and deep learning. Many popular models and architectures, such as convolutional neural networks, have been trained and tested on this dataset. The simplicity and standardization of the MNIST dataset make it an ideal starting point for learning and experimenting with image classification tasks.

## **2.5. Reuters**

The Reuters dataset is a widely used dataset in the field of natural language processing and text classification. It was specifically designed for text categorization tasks and was created by collecting news articles from Reuters news agency. Its popularity is explained by its diversity and real nature, which allows for a comprehensive assessment of the capabilities of models in processing complex news articles and topics.

The dataset contains a large number of news articles, each article is a document. The training set has 7769 documents, while the test set has 3019 documents [6]. These articles cover a variety of topics, including business, politics, sports, technology, and more.

One feature of the dataset is that it supports classification by multiple labels. This means that a news article can be assigned to several categories at the same time, allowing more detailed and complex topics to be assigned. This flexibility reflects a real-world scenario where news articles may cover multiple topics or have overlapping topics

## **3. Optimization Algorithms in Deep learning**

Optimizer algorithms are an optimization method that helps improve the performance of a deep learning model. These optimization algorithms adjust neural network attributes such as weights and learning rate. Thus, they help reduce overall losses and improve accuracy. The problem of choosing the right weights for a model is a difficult task, since a deep learning model usually consists of millions of parameters. This makes it necessary to choose the appropriate optimization algorithm for your application.

The main optimizers in deep learning:

1. Gradient Descent: A basic optimizer used to update model parameters in the direction opposite to the gradient of the loss function. Its goal is to minimize the value of the loss function by finding a local or global minimum.

2. Stochastic Gradient Descent (SGD): Uses only one random data sample in each iteration to update model parameters. This reduces the computational cost, but may slow down the speed of convergence.

3. Variations of SGD: These are variations of stochastic gradient descent used to improve convergence and avoid getting stuck in local minima. These include Momentum, Nesterov Accelerated Gradient, AdaGrad, RMSprop and Adam.

4. Adaptive methods: Optimizers that adaptively adjust the learning rate for each parameter based on the gradient history. They allow faster learning for parameters that have smaller gradients and slower learning for parameters with large gradients. Examples of such optimizers include AdaGrad, RMSprop, Adam.

5. Regularization: Some optimizers have built-in regularization techniques, such as L1 or L2 regularization, to control model retraining. This helps reduce parameter values and improve the overall generalization ability of the model.

The use of a particular optimizer depends on the specific task, network architecture, and available computing resources. Choosing the right optimizer can be critical to successfully training a model and achieving high performance.

### **3.1. Stochastic Gradient Descent optimization method**

The Stochastic Gradient Descent Method (SGD) is an optimization algorithm used to train deep learning models. This method is based on gradient descent, which is used to find the local minimum of the loss function.

Let us have a set of training data with labels  $(x, y)$ , where  $x$  is the input data and  $y$  is the corresponding labels or target values. The task is to find model parameters that best approximate the relationship between  $x$  and  $y$ . For this, we use the loss function  $L$ , which measures the difference between the predicted values of the model and the true values.

The goal of SGD is to minimize the loss function  $L$  by updating the model parameters at each training step. The parameters are updated by performing an iterative process in which the gradient of the loss function is calculated in relation to the model parameters and the gradient descent step is performed.

The SGD algorithm for optimizing deep learning models can be described by the following steps [7]:

Initialize the model parameters  $\theta$ .

Initialize the learning rate  $\alpha$ .

Repeat until the stop criterion is reached:

Choose a random subset of training data  $(x,y)$ .

Calculate the predicted value of the model  $f(x;\theta)$ .

Calculate the gradient of the loss function  $\nabla L(\theta;x,y)$  in relation to the model parameters.

Update model parameters:  $\theta \leftarrow \theta - \alpha \cdot \nabla L(\theta;x,y)$ .

Return the optimal values of model parameters  $\theta$ .

SGD is a simple and fast optimization algorithm, but it can have problems with the speed of convergence and can suffer from large variability when the data is noisy or unbalanced. Therefore, there are modifications of SGD, such as Adam, AdaGrad, RMSprop, which are designed to improve its convergence and stability

### **AdaGrad optimization method**

AdaGrad is a family of algorithms for stochastic optimization. Algorithms belonging to this family are similar to second-order stochastic gradient descent with a Hessian approximation of the optimized function. The name AdaGrad comes from Adaptive Gradient. It intuitively adapts the learning rate for each feature depending on the assumed geometry of the problem; in particular, it tends to assign higher learning rates to infrequent features, ensuring that parameter updates rely less on frequency and more on relevance. The algorithm itself can be written as follows [8]:

Initialize the learning rate  $\alpha$ , usually a small value (for example, 0.01).

Initialize the time counter  $t=0$ .

Initialize the sum of squares of gradients  $G_0$  to zero.

At each iteration  $t$  until the stopping criterion is reached:

Calculate the  $g_t$  gradient of the model based on the current batch of data

Increase the time counter:  $t \leftarrow t+1$ .

Update the sum of the squares of the gradients:  $G_t \leftarrow G_{(t-1)} + g_t \odot g_t$ .

Update model parameters:  $\theta_t \leftarrow \theta_{(t-1)} - \alpha / (\sqrt{G_t} + \epsilon) \odot g_t$ , where  $\epsilon$  is a very small constant to prevent division by zero.

Return the optimal values of model parameters  $\theta$ .

The basis of the AdaGrad method is the idea that the learning rate is adaptively adjusted for each parameter depending on the history of the gradients. The larger the previous gradients, the lower the learning rate for a given parameter, which avoids overflow and excessive parameter changes. Conversely, parameters that have low gradients will have a higher learning rate, leading to faster learning and convergence for those parameters

### **RMSprop optimization method**

RMSprop (Root Mean Square Propagation) is an adaptive optimization algorithm used to tune the parameters of deep learning models. This method is a modification of the classic gradient descent, which allows more efficient movement towards the optimum by adapting the learning rate for each parameter separately.

The basic idea behind RMSprop is to give more weight to the most recent gradients, decreasing the learning rate value for parameters that have large gradients and increasing the learning rate for parameters with small gradients. This allows the learning rate to be adapted for each parameter depending on its contribution to the overall loss function.

The algorithm of the RMSprop optimization method has the following form [9]:

Initialize the model parameters  $\theta$ .

Initialize the learning rate  $\alpha$ .

Initialize the damping parameter  $\beta$  (usually close to 0.9).

Initialize the variable  $r=0$ , which will store the current accumulated squared gradients.

Repeat until the stop criterion is reached:

Choose a random subset of training data  $(x,y)$ .

Calculate the predicted value of the model  $f(x; \theta)$ .

Calculate the gradient of the loss function  $\nabla L(\theta; x,y)$  in relation to the model parameters.

Update the accumulated gradient squares:  $r \leftarrow \beta \cdot r + (1 - \beta) \cdot (\nabla L(\theta; x,y))^2$ .

Update model parameters:  $\theta = \theta - \alpha / \sqrt{r + \epsilon} \cdot \nabla L(\theta; x,y)$ , where  $\epsilon$  is a very small number for stability of calculations.

Return the optimal values of model parameters  $\theta$ .

In step 5, the accumulated squared gradients are used to account for the history of the gradients. Applying the root mean square to  $r$  allows us to

normalize the values of the gradients by their standard deviations. This helps to adjust the learning rate for each parameter individually, decreasing the rate value for parameters with large gradients and increasing it for parameters with small gradients.

Thus, the RMSprop algorithm allows you to reduce the value of the learning rate for parameters that have large gradients, thereby improving the convergence rate of the model optimization.

### **Adam (Adaptive Moment Estimation)**

Adam (Adaptive Moment Estimation) is one of the popular optimization methods for training neural networks. It combines two approaches: adaptive learning rate and optimization moment.:

An adaptive gradient algorithm (AdaGrad) that supports the learning rate of each parameter, which improves performance in problems with smooth gradients (such as natural language and computer vision problems).

Root Mean Square Propagation (RMSprop), which also supports the learning rate of each parameter, adapted based on the average recent value of the gradients for the weight (eg, how fast it is changing). This means that the algorithm copes well with online and non-stationary problems (such as noise).

Adam implements the advantages of both AdaGrad and RMSProp [10].

The method calculates the exponentially weighted mean square of the gradients (the first moment) and the exponentially weighted mean square of the previous gradients (the second moment). These mean squares are used to adaptively adjust the learning rate for each parameter.

Adam also uses an optimization moment that helps account for gradient inertia when updating model parameters. This allows to speed up the optimization and reduce the probability of getting stuck in local minima. The method has parameters worth tuning, such as learning rate, exponential smoothing factors, and initial moment values. Setting these parameters can affect the optimization process and the speed of convergence.

In general, the Adam optimization method is an effective algorithm for training neural networks because it combines adaptive learning rate and optimization moment to efficiently search for optimal model parameter values.

The algorithm of the method can be described in the following steps [11]:

Initialize the learning rate  $\alpha$  (usually a small value, e.g. 0.001).

Initialize the exponential smoothing coefficients  $\beta_1$  and  $\beta_2$  in the interval  $[0,1)$  (usually  $\beta_1=0.9, \beta_2=0.999$ ).

Initialize the time counter  $t=0$ .

Initialize the first moments of the gradients  $m_0=0$  and the second moments of the gradients  $v_0=0$ .

At each iteration  $t$ :

Calculate the  $g_t$  gradient of the model based on the current batch of data.

Increase the time counter:  $t \leftarrow t+1$ .

Update the first and second moments of the gradients:

$$m_t \leftarrow \beta_1 \cdot m_{t-1} + (1 - \beta_1) \cdot g_t;$$

$$v_t \leftarrow \beta_2 \cdot v_{t-1} + (1 - \beta_2) \cdot g_t^2.$$

Виправити зміщення моментів:

$$\hat{m}_t \leftarrow m_t / (1 - \beta_1^t);$$

$$\hat{v}_t \leftarrow v_t / (1 - \beta_2^t).$$

Оновити параметри моделі:

$$\theta_t \leftarrow \theta_{t+1} - \alpha \cdot \frac{\hat{m}_t}{\sqrt{\hat{v}_t + \epsilon}},$$

#### 4. Metrics

Metrics in deep learning are numerical scores used to measure the quality of deep learning models. The role of metrics in deep learning is to provide objective and quantitative evaluation of the model. They allow you to compare different models or different model hyperparameters and help you make decisions about improving the model.

There are many different kinds of metrics in deep learning, and the choice of specific metrics depends on the problem, the type of data, and the features of the model. The main types of metrics include:

1. Classification metrics: Used to evaluate the quality of models in classification tasks where classes need to be predicted. Examples include accuracy, recall, precision, F1-score, confusion matrix, etc.

2. Regression metrics: Used to evaluate models in regression problems where numerical values are to be predicted. For example, mean absolute error (MAE), mean squared error (MSE), coefficient of determination (R-squared, or R2 Score), etc.

3. Clustering metrics: Used in non-learning tasks where the model clusters similar objects or examples into groups or clusters based on similarity. Examples of clustering metrics include Adjusted Rand Index, Normalized Mutual Information, silhouette coefficient, etc.

4. Generative model metrics: Used to evaluate generative learning models such as generative convolutional networks (GANs). Examples: inception score, Fréchet inception distance, user rating, etc.

Let's consider some of them in more detail.

The discrepancy matrix is an important metric for evaluating model classification results in machine learning tasks. It allows you to visualize and quantify the interaction between predicted and actual classes. The matrix is a two-dimensional square array, where the rows correspond to the true classes and the columns to the predicted classes. Each element of the discrepancy matrix shows the number of examples that were correctly or incorrectly classified.

The main elements of the matrix of inconsistencies:

1. True Positive (TP): Number of examples that are correctly classified as positive.

2. True Negative (TN): Number of examples correctly classified as negative.

3. False Positive (FP): Number of examples incorrectly classified as positive.

4. False Negative (FN): Number of examples incorrectly classified as negative.

Inconsistencies An example of a 2x2 (discrepancy) inconsistencies matrix is shown in Figure 4.1:

		Real state	
		Positive state	Negative state
Predicted state	Positive predicted state	Really positive	False positive Error of the I kind
	Negative predicted state	False negative Error of the II kind	Really negative

Figure 4.1 – Matrix of inconsistencies [12]

The matrix of inconsistencies allows you to measure the effectiveness of the model by revealing the number of correct and incorrect classifications. Based on this matrix, it is possible to calculate various metrics, such as accuracy, completeness (recall), precision, F1-measure (F1-score) and others, which help to evaluate the quality of model classification.

**Accuracy** is one of the most common and simple metrics in evaluating classification models in machine learning. It measures the ratio of the number of correctly classified examples to the total number of examples in the data set.

Accuracy allows you to evaluate the overall effectiveness of the classification model, taking into account both correctly defined positive and negative classes. This metric is particularly useful when the classes in the data set are of roughly equal importance or evenly distributed, but at the same time can be misleading when there is an unbalanced data set where one class dominates the other.

The accuracy is calculated according to the formula [13]:

$$\text{Accuracy} = \frac{TP+T}{TP+TN+FP+F}$$

**Recall**, (or sensitivity) also known as true positive rate (TPR), measures the percentage of correctly identified positive examples (true positives) out of the total number of valid positive examples in the data set.

Recall is calculated according to the formula [14]:

$$\text{Recall} = TP / (TP + FN)$$

Recall (Completeness) measures how effectively the model identifies positive classes. It indicates the ability of the model to detect all valid positive examples without errors. A high recovery value means that the model identifies positive examples well and minimizes the number of false negatives.

Recall (Completeness) is especially important in tasks where it is important to identify all positive examples, even at the risk of obtaining some false positives. For example, in medical diagnosis, disease detection is critical, so completeness may be more important than accuracy.

**Precision** is a metric in the evaluation of classification models and measures the percentage of correctly identified positive examples (true positives) out of the total number of examples that the model identified as positive.



$$\text{Precision} = \text{TP} / (\text{TP} + \text{FP})$$

F1-measure (F1-score) is a harmonic mean between precision and completeness (recall). It is used to assess the balance between model accuracy and completeness.

F1-measure is calculated according to the formula [15]:

$F1 = (2 \cdot p \cdot r) / (p + r)$ , where p is the accuracy of the model, r is the completeness of the model.

### 5. Measurement of metrics

At this stage, we collect the calculated metrics as a result of model training. The metrics used depend on the prediction task for which we performed deep learning. MAE, MSE, R2 score and Explained Variance Score metrics were used in the regression problem.

Accuracy, Precision, Recall and F1-score metrics were measured for classification tasks. In order to effectively compare the model with different optimizers, the values of losses and metrics calculated on the training and validation data were fixed at the model training stage. Validation data is used to evaluate the performance of the model during training and allows comparison of different optimization methods in the context of how they affect model losses and metrics. On the other hand, after training the model, it is best to make comparisons on independent test data that did not participate in the training and validation models. Using such data allows you to evaluate the model's real-world performance on new examples that the model has not seen before, helping to avoid overtraining and determining how well the model generalizes to new data. All measurements were tabulated (Tabl. 5.1-5.5) for each task. For the regression problem: Training data size: (404, 13) Test data size: (102, 13) To train the model, the training data was divided as follows: 85% training data, 15% validation data.

Table 5.1 – Measurement metrics for the regression problem with the Boston Housing

Optimizati on Algorithms	Loss	MAE	MSE	R2 score	Explained Variance	Time of execution	Number of epochs
SGD	10.8916	2.3318	10.8916	0.7969	0.7969	12.86 sec	150

Optimizati on Algorithms	Loss	MAE	MSE	R2 score	Explained Variance	Time of execution	Number of epochs
Adam	18.5565	2.6977	18.5565	0.5178	0.5178	8.88 sec	
AdaGrad	69.1414	6.8074	69.1414	0.0230	0.0230	9.53 sec	
RMSprop	15.3131	2.5649M	15.3131	0.6317	0.6317	9.15 sec	

For the classification problem with the "IMDB Movie Reviews" data set:

Size of training data: (25000, 60)

Test data size: (25000, 60)

To train the model, the training data was divided as follows: 80% training data, 20% validation data.

Table 5.2 – Metrics estimation for classification problem with data set «IMDB Movie Reviews»

Optimizati on Algorithms	Loss	Accuracy	Precision	Recall	F1 score	Time of execution	Number of epochs
SGD	0.6908	0.5650	0.6029	0.3809	0.4573	401.59 sec	10
Adam	1.0796	0.7867	0.8006	0.7637	0.7764	530.05 sec	
AdaGrad	0.6924	0.5419	0.5303	0.7339	0.6091	354.91 sec	
RMSprop	0.6782	0.7949	0.8506	0.7154	0.7714	424.68 sec	

For the problem of image classification with the "CIFAR-10" data set:

Size of training data: (50000, 32, 32, 3)

Test data size: (10000, 32, 32, 3)

To train the model, the training data was divided as follows: 80% training data, 20% validation data.

Table 5.3 – Measurement metrics for the classification problem with the “CIFAR-10»

Optimizati on Algorithms	Loss	Accurac y	Precisio n	Recal l	F1 score	Time of executio n	Numbe r of epochs
SGD	1.0233	0.6405	0.7734	0.5069	0.6094	398.60 sec	10
Adam	1.0614	0.6622	0.7203	0.6089	0.6588	461.71 sec	
AdaGrad	1.6220	0.4353	0.7077	0.1213	0.2034	465.36 sec	
RMSprop	1.0189	0.6962	0.7426	0.6634	0.6999	483.40 sec	

For the problem of image classification with the "MNIST" data set:  
 Size of training data: (60000, 28, 28), Test data size: (10000, 28,

28)

To train the model, the training data was divided as follows: 80% training data, 20% validation

Table 5.4 – Measurement metrics for the classification problem with the “MNIST” dataset

Optimizati on Algorithms	Loss	Accurac y	Precisio n	Recal l	F1 score	Time of executio n	Numbe r of epochs
SGD	0.1201	0.9642	0.9717	0.9582	0.9648	111.67 sec	25
Adam	0.1159	0.9777	0.9783	0.9777	0.9780	135.93 sec	
AdaGrad	0.2760	0.9255	0.9501	0.9000	0.9236	126.16 sec	
RMSprop	0.1122	0.9795	0.9800	0.9793	0.9797	123.90 sec	

For the classification problem with the Reuters data set:

Size of training data: (8982, 1000) Test data size: (2246, 1000)

To train the model, the training data was divided as follows: 80% training data, 20% validation

Table 5.5 – Measurement metrics for the classification problem with the Reuters dataset

Optimization Algorithms	Loss	Accuracy	Precision	Recall	F1 score	Time of execution
SGD	1.1666	0.7324	0.8903	0.6362	0.7353	43.70 sec
Adam	1.3309	0.7858	0.8161	0.7685	0.7899	72.99 sec
AdaGrad	1.5598	0.6456	0.9058	0.4969	0.6348	53.41 sec
RMSprop	2.2609	0.7778	0.8163	0.7480	0.7787	ec

## 6. Analysis of experimental investigations

Analyzing the results of solving five forecasting problems using deep learning using optimization algorithms, the following observations can be made:

### 6.1. Regression problem:

1. The SGD algorithm showed the best results with the lowest value of losses and the best value of all metrics, but the training time turned out to be the largest.

2. Adam and RMSprop also performed well, but with higher losses and worse R2 Score and Explained Variance as compared to SGD.

3. AdaGrad performs worst with higher loss and low R2 Score and Explained Variance values.

6.2. Classification problem with the "IMDb Movie Reviews" data set:

1. Adam and RMSprop gave the best results. RMSprop has the best loss, precision and accuracy values, while Adam has the best completeness and F1 measures. However, Adam has the worst loss and execution time.

2. AdaGrad showed acceptable, but still lower results. Also, it turned out to be the fastest.

3. SGD showed the worst completeness and F1-measure, but slightly better than AdaGrad in precision and accuracy.

### 6.3. Classification problem with the "CIFAR10" data set:

1. Again, the best results were shown by Adam and RMSprop, only slightly different from each other.

2. SGD performed worse compared to the previous two, but was still good enough. Moreover, it turned out to be the fastest in this task.

3. AdaGrad showed the worst values for all metrics and losses except execution time.

#### 6.4. Classification problem with the "MNIST" data set:

1. RMSprop this time showed the best loss and metrics results.
2. Adam has worse results compared to RMSprop, but is still quite close to it.
3. SGD performed worse with higher loss and lower values of precision, accuracy, completeness and F1-measure. It also has the lowest execution time. On the other hand, Adam worked the longest.
4. AdaGrad again performed worst with higher loss and lower values of precision, accuracy, completeness and F1-measure compared to Adam and SGD, but still had an acceptable result. It is also visible from the graphs that during the training of the model, the accuracy gradually decreases.

#### 6.5. Classification problem with the "Reuters" data set:

1. Adam showed the best results in accuracy, completeness and F1 measure, but was the worst in Precision.
2. SGD showed acceptable results with comparatively lower precision, completeness and F1-measures, but achieved a good value of accuracy and has the least loss and execution time.
3. Adagrad performed worse with higher loss and lower accuracy, completeness and F1-measure values, but this time it was the best in accuracy. He was also quite fast.
4. RMSprop had better accuracy than Adam and almost the same accuracies, completeness and F1 measure, but at the same time has the worst loss and execution time.
5. According to the graphs, the losses for the Adam and RMSprop methods on the validation data set gradually increase, which is different from the corresponding ones on the training set. This may indicate retraining of these models.

#### Final conclusions.

1. RMSprop turned out to be the most effective optimization algorithm in most of the considered problems. It achieved the highest prediction accuracy and the best values of metrics such as Accuracy, Precision, Recall and F1 Score.
2. SGD also performed well in some tasks, especially in the regression task, where it had the lowest loss and the highest R2 Score and Explained Variance.

3. Adam also showed generally excellent results and although sometimes he did not reach the highest values of the metrics, he was still close to it.

4. AdaGrad appeared to be less efficient compared to the others, showing lower values of prediction accuracy and losses. This was especially noticeable in classification tasks, where the method often showed the worst values of the metrics.

5. SGD and AdaGrad generally perform faster than Adam and RMSprop, especially on large tasks with large data sizes.

### **Bibliography (Transliterated)**

[1] Boston Housing. Kaggle. [Electronic resource] – URL:<https://www.kaggle.com/c/boston-housing> (date of access: 06/05/2024)

[2] IMDb Movie Reviews. PapersWithCode. [Electronic resource] – URL: <https://paperswithcode.com/dataset/imdb-movie-reviews> (date of access: 06/05/2024)

[3] Alex Krizhevsky. The CIFAR-10 dataset. [Electronic resource] – URL: <https://www.cs.toronto.edu/~kriz/cifar.html> (date of access: 06/05/2024)

[4] MNIST database. Wikipedia. [Electronic resource] – URL:[https://en.wikipedia.org/wiki/MNIST\\_database](https://en.wikipedia.org/wiki/MNIST_database) (date of access: 06/05/2024)

[5] Tim Hargreaves. Is it Time to Ditch the MNIST Dataset?. Ttested. [Electronic resource] – URL: <https://www.ttested.com/ditch-mnist/> (date of access: 06/05/2024)

[6] Martin Thoma. The Reuters Dataset. 2017. [Electronic resource] – URL: <https://martin-thoma.com/nlp-reuters/> (date of access: 06/05/2024)

[7] Ian Goodfellow, Yoshua Bengio, Aaron Courville. Deep Learning (Adaptive Computation and Machine Learning series). Cambridge, Massachusetts, London, England: MIT Press, 2016.

[8] Daniel Villarraga. AdaGrad. Cornell University Computational Optimization Open Textbook. 2021. [Electronic resource] – URL:<https://optimization.cbe.cornell.edu/index.php?title=AdaGrad> (date of access: 06/05/2024)

[9] Tieleman, T. and Hinton, G. Lecture 6.5 «RMSprop: Divide the Gradient by a Running Average of Its Recent Magnitude». COURSERA: Neural Networks for Machine Learning, 2012.

[10] Jason Brownlee. Gentle Introduction to the Adam Optimization Algorithm for Deep Learning. Machine Learning Mastery. July 3, 2017 (upd. January 13, 2021). [Electronic resource] – URL: <https://machinelearningmastery.com/adam-optimization-algorithm-for-deep-learning/> (date of access: 06/05/2024)

[11] Diederik P. Kingma, Jimmy Ba, Adam: A Method for Stochastic Optimization. International Conference on Learning Representations, 2015. [Electronic resource] – URL: <https://arxiv.org/abs/1412.6980> (date of access: 06/05/2024)

[12] Матриця невідповідностей. Wikipedia. [Electronic resource] – URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Матриця\\_невідповідностей](https://uk.wikipedia.org/wiki/Матриця_невідповідностей) (date of access: 06/05/2024)

[13] Accuracy and precision. Wikipedia. [Electronic resource] – URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Accuracy\\_and\\_precision](https://en.wikipedia.org/wiki/Accuracy_and_precision) (date of access: 06/05/2024)

[14] Precision and recall. Wikipedia. [Electronic resource] – URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Precision\\_and\\_recall](https://en.wikipedia.org/wiki/Precision_and_recall) (date of access: 06/05/2024)

[15] F-score. Wikipedia. [Electronic resource] – URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/F-score> (date of access: 06/05/2024)

[16] Shervin Minaee. Popular Machine Learning Metrics. Part 1: Classification & Regression Evaluation Metrics. Towards Data Science: October 28, 2019. [Electronic resource] – URL: <https://towardsdatascience.com/20-popular-machine-learning-metrics-part-1-classification-regression-evaluation-metrics-1ca3e282a2ce> (date of access: 06/05/2024)

[17] Коефіцієнт детермінації. Wikipedia. [Electronic resource] – URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Коефіцієнт\\_детермінації](https://uk.wikipedia.org/wiki/Коефіцієнт_детермінації) (date of access: 06/05/2024)

[18] Tensorflow Keras documentation. [Electronic resource] – URL: [https://www.tensorflow.org/api\\_docs/python/tf/keras](https://www.tensorflow.org/api_docs/python/tf/keras) (date of access: 06/05/2024)

[19] Ayush Gupta. A Comprehensive Guide on Optimizers in Deep Learning. Analytics Vidhya: October 7, 2021 (upd. May 18, 2023). [Electronic resource] – URL: [https://www.analyticsvidhya.com/blog/2021/10/a-comprehensive-guide-on-deep-learning-optimizers/#What\\_Are\\_Optimizers\\_in\\_Deep\\_Learning?](https://www.analyticsvidhya.com/blog/2021/10/a-comprehensive-guide-on-deep-learning-optimizers/#What_Are_Optimizers_in_Deep_Learning?) (date of access: 06/05/2024)

[20] Optimization Algorithms. Dive Into Deep Learning. [Electronic resource] – URL: [https://d2l.ai/chapter\\_optimization/](https://d2l.ai/chapter_optimization/) (date of access: 06/05/2024)

### Список литературы (перевод)

[1] Жилье Бостона. Кэгл. [Электронный ресурс] – URL: <https://www.kaggle.com/c/boston-housing> (дата обращения: 05.06.2024)

[2] Обзоры фильмов на IMDb. Документы с кодом. [Электронный ресурс] – URL: <https://paperswithcode.com/dataset/imdb-movie-reviews> (дата обращения: 05.06.2024)

[3] Алекс Крижевский. Набор данных CIFAR-10. [Электронный ресурс] – URL: <https://www.cs.toronto.edu/~kriz/cifar.html> (дата обращения: 05.06.2024)

[4] База данных MNIST. Википедия. [Электронный ресурс] – URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/MNIST\\_database](https://en.wikipedia.org/wiki/MNIST_database) (дата обращения: 05.06.2024)

[5] Тим Харгривз. Не пора ли отказаться от набора данных MNIST? Проверено. [Электронный ресурс] – URL: <https://www.ttested.com/ditch-mnist/> (дата обращения: 05.06.2024)

[6] Мартин Тома. Набор данных Рейтер. 2017. [Электронный ресурс] – URL: <https://martin-thoma.com/nlp-reuters/> (дата обращения: 05.06.2024).

[7] Ян Гудфеллоу, Йошуа Бенджио, Аарон Курвиль. Глубокое обучение (серия «Адаптивные вычисления и машинное обучение»). Кембридж, Массачусетс, Лондон, Англия: MIT Press, 2016.

[8] Даниэль Вильяррага. АдаГрад. Открытый учебник Корнельского университета по вычислительной оптимизации. 2021. [Электронный ресурс] – URL: <https://optimization.cbe.cornell.edu/index.php?title=AdaGrad> (дата обращения: 05.06.2024)

[9] Тилеман Т. и Хинтон Г. Лекция 6.5 «RMSprop: разделите градиент на скользящее среднее его недавней величины». COURSERA: Нейронные сети для машинного обучения, 2012.

[10] Джейсон Браунли. Нежное введение в алгоритм оптимизации Адама для глубокого обучения. Мастерство машинного обучения. 3 июля 2017 г. (обновление от 13 января 2021 г.). [Электронный ресурс] – URL: <https://machinelearningmastery.com/adam-optimization-algorithm-for-deep-learning/> (дата обращения: 05.06.2024)



[11] Дидерик П. Кингма, Джимми Ба, Адам: метод стохастической оптимизации. Международная конференция по изучению представлений, 2015. [Электронный ресурс] – URL: <https://arxiv.org/abs/1412.6980> (дата обращения: 05.06.2024)

[12] Матрица невідповідностей. Википедия. [Электронный ресурс] – URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Матриця\\_невідповідностей](https://uk.wikipedia.org/wiki/Матриця_невідповідностей) (дата обращения: 05.06.2024)

[13] Точность и прецизионность. Википедия. [Электронный ресурс] – URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Accuracy\\_and\\_precision](https://en.wikipedia.org/wiki/Accuracy_and_precision) (дата обращения: 05.06.2024)

[14] Точность и отзыв. Википедия. [Электронный ресурс] – URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Precision\\_and\\_recall](https://en.wikipedia.org/wiki/Precision_and_recall) (дата обращения: 05.06.2024)

[15] F-оценка. Википедия. [Электронный ресурс] – URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/F-score> (дата обращения: 05.06.2024)

[16] Шервин Минаи. Популярные метрики машинного обучения. Часть 1: Метрики классификации и регрессионной оценки. На пути к науке о данных: 28 октября 2019 г. [Электронный ресурс] — URL: <https://towardsdatascience.com/20-popular-machine-learning-metrics-part-1-classification-regression-evaluation-metrics-1ca3e282a2ce> (дата публикации), доступ: 05.06.2024)

[17] Коэффициент детерминации. Википедия. [Электронный ресурс] – URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Коефіцієнт\\_детермінації](https://uk.wikipedia.org/wiki/Коефіцієнт_детермінації) (дата обращения: 05.06.2024)

[18] Документация Tensorflow Keras. [Электронный ресурс] – URL: [https://www.tensorflow.org/api\\_docs/python/tf/keras](https://www.tensorflow.org/api_docs/python/tf/keras) (дата обращения: 05.06.2024)

[19] Аюш Гупта. Комплексное руководство по оптимизаторам в глубоком обучении. Аналитика Видгья: 7 октября 2021 г. (обновление от 18 мая 2023 г.). [Электронный ресурс] – URL: [https://www.analyticsvidhya.com/blog/2021/10/a-comprehensive-guide-on-deep-learning-optimizers/#What\\_Are\\_Optimizers\\_in\\_Deep\\_Learning?](https://www.analyticsvidhya.com/blog/2021/10/a-comprehensive-guide-on-deep-learning-optimizers/#What_Are_Optimizers_in_Deep_Learning?) (дата обращения: 05.06.2024)

[20] Алгоритмы оптимизации. Погрузитесь в глубокое обучение. [Электронный ресурс] – URL: [https://d2l.ai/chapter\\_optimization/](https://d2l.ai/chapter_optimization/) (дата обращения: 05.06.2024)

## İstinadlar (tərcümə)

- [1] Boston Housing. Caggle. [Elektron resurs] – URL: <https://www.kaggle.com/c/boston-housing> (giriş tarixi: 06/05/2024)
- [2] IMDb-də film rəyləri. Kodlu sənədlər. [Elektron resurs] – URL: <https://paperswithcode.com/dataset/imdb-movie-reviews> (giriş tarixi: 06/05/2024)
- [3] Aleks Krijevski. CIFAR-10 verilənlər toplusu. [Elektron resurs] – URL: <https://www.cs.toronto.edu/~kriz/cifar.html> (giriş tarixi: 06/05/2024)
- [4] MNIST verilənlər bazası. Vikipediya. [Elektron resurs] – URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/MNIST\\_database](https://en.wikipedia.org/wiki/MNIST_database) (giriş tarixi: 06/05/2024)
- [5] Tim Hargreaves. MNIST məlumat dəstini ləğv etməyin vaxtıdır? Doğrulanıb. [Elektron resurs] – URL: <https://www.ttested.com/ditch-mnist/> (giriş tarixi: 06/05/2024)
- [6] Martin Toma. Reuters məlumat toplusu. 2017. [Elektron resurs] – URL: <https://martin-thoma.com/nlp-reuters/> (giriş tarixi: 06/05/2024).
- [7] Ian Goodfellow, Yoshua Bengio, Aaron Courville. Dərin Öyrənmə (Adaptiv Hesablama və Maşın Öyrənmə Seriyası). Cambridge, MA, London, İngiltərə: MIT Press, 2016.
- [8] Daniel Villarraga. AdaGrad. Cornell Universiteti Hesablama Optimizasiyası üzrə Açıq Dərslik. 2021. [Elektron resurs] – URL: <https://optimization.cbe.cornell.edu/index.php?title=AdaGrad> (giriş tarixi: 06/05/2024)
- [9] Tieleman T. və Hinton G. Mühazirə 6.5 “RMSprop: qradiyenti onun son böyüklüyünün hərəkətli ortasına bölün.” COURSERA: Maşın öyrənməsi üçün neyron şəbəkələri, 2012.
- [10] Ceyson Braunli. Dərin öyrənmə üçün Adam optimallaşdırma alqoritminə incə giriş. Maşın öyrənmə ustalığı. 3 iyul 2017-ci il (13 yanvar 2021-ci il yeniləndi). [Elektron resurs] – URL: <https://machinelearningmastery.com/adam-optimization-algorithm-for-deep-learning/> (giriş tarixi: 06/05/2024)
- [11] Diederik P. Kingma, Jimmy Ba, Adam: Stokastik optimallaşdırma metodu. Nümayəndəliklərin Tədqiqi üzrə Beynəlxalq Konfrans, 2015. [Elektron resurs] – URL: <https://arxiv.org/abs/1412.6980> (giriş tarixi: 06/05/2024)
- [12] Uyğunsuzluqlar matrisi. Vikipediya. [Elektron resurs] – URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Matrix\\_of\\_irregularities](https://uk.wikipedia.org/wiki/Matrix_of_irregularities) (giriş tarixi: 06/05/2024)

[13] Dəqiqlik və dəqiqlik. Vikipediya. [Elektron resurs] – URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Accuracy\\_and\\_precision](https://en.wikipedia.org/wiki/Accuracy_and_precision) (giriş tarixi: 06/05/2024)

[14] Dəqiqlik və geri çağırma. Vikipediya. [Elektron resurs] – URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Precision\\_and\\_recall](https://en.wikipedia.org/wiki/Precision_and_recall) (giriş tarixi: 06/05/2024)

[15] F-balı. Vikipediya. [Elektron resurs] – URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/F-score> (giriş tarixi: 06/05/2024)

[16] Şervin Minai. Populyar maşın öyrənmə göstəriciləri. Hissə 1: Təsnifat və Reqrəssiya Metrikləri. Məlumat Elminə Doğru: 28 oktyabr 2019-cu il [Elektron resurs] – URL: <https://towardsdatascience.com/20-popular-machine-learning-metrics-part-1-classification-regression-evaluation-metrics-1ca3e282a2ce> (dərc tarixi), giriş: 06/05/2024)

[17] Determinasiya əmsalı. Vikipediya. [Elektron resurs] – URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Əyləncə\\_əmsalı](https://uk.wikipedia.org/wiki/Əyləncə_əmsalı) (giriş tarixi: 06/05/2024)

[18] Tensorflow Keras sənədləri. [Elektron resurs] – URL: [https://www.tensorflow.org/api\\_docs/python/tf/keras](https://www.tensorflow.org/api_docs/python/tf/keras) (giriş tarixi: 06/05/2024)

[19] Ayuş Qupta. Dərin öyrənmədə optimallaşdırıcılar üçün hərtərəfli bələdçi. Vidya Analytics: 7 oktyabr 2021 (Yenilənilib 18 may 2023). [Elektron resurs] – URL: [https://www.analyticsvidhya.com/blog/2021/10/a-comprehensive-guide-on-deep-learning-optimizers/#Deep\\_Learning-də\\_Optimizatorlar\\_Nə\\_dir?](https://www.analyticsvidhya.com/blog/2021/10/a-comprehensive-guide-on-deep-learning-optimizers/#Deep_Learning-də_Optimizatorlar_Nə_dir?) (giriş tarixi: 06/05/2024)

[20] Optimallaşdırma alqoritmləri. Özünü dərin öyrənməyə qərq edin. [Elektron resurs] – URL: [https://d2l.ai/chapter\\_optimization/](https://d2l.ai/chapter_optimization/) (giriş tarixi: 06/05/2024)

© G.I. Hamidov, 2024

Поступила в редакцию 24.05.2024

Принята к публикации 06.06.2024

---

### *Для цитирования:*

G.I. Hamidov Investigations of deep learning algorithms in the problems of classification, forecasting, images processing and recognition // Инновационные научные исследования. 2024. № 6-1(43). С. 56-82. URL: <https://ip-journal.ru/>