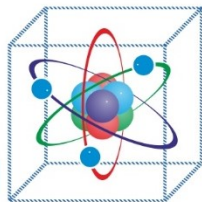


ISSN 2713-0010

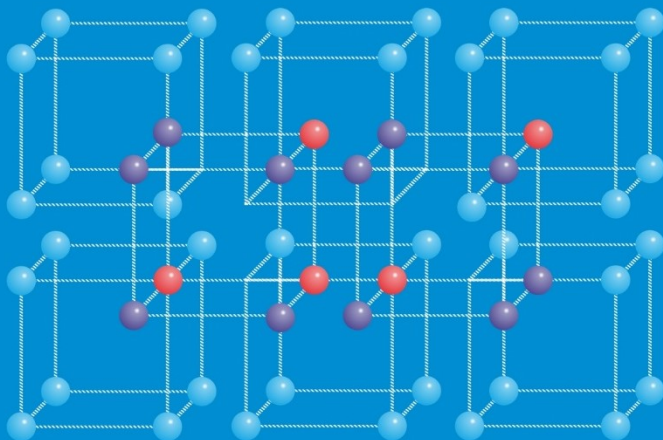


НАУЧНО-ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР

**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, PhD, 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. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ</b> .....	<b>4</b>
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕОДНОРОДНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ <i>Р.И. Штанько, С.В. Владимиров</i> .....	4
АНАЛИЗ И ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ПОКАЗАТЕЛЕЙ И КРИТЕРИЕВ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПЛИС <i>Е.И. Манакова, Н.И. Швецов</i> .....	11
АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АРХИТЕКТУР НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ <i>С.М. Левин, А.А. Лузинсан</i> .....	17
СВЕРТОЧНАЯ НЕЙРОННАЯ СЕТЬ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ВЫДЕЛЕНИЯ ДЕРЕВЬЕВ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ С БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ <i>С.М. Левин, Д.А. Филиппов</i> .....	35
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВИДОВОЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ ДЕРЕВЬЕВ ПО ИЗОБРАЖЕНИЯМ, ПОЛУЧЕННЫМ С ПОМОЩЬЮ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА, ПРИ ПОМОЩИ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ <i>С.М. Левин, А.С. Деревщиков</i> .....	47
РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ РАДИОВОЛНОВОГО МОНИТОРИНГА ДЛЯ КОНТРОЛЯ УРОВНЯ СЫРЬЯ В СИЛОСНЫХ ЁМКОСТЯХ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ <i>С.М. Левин, К.И. Колпакова</i> .....	57
РАЗРАБОТКА ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИХ ОСНОВ УСТОЙЧИВОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ В ЗОНЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОРТОВ В ГОРОДАХ ХАЙФОНГЕ И КУАНГНИНИ, ВЬЕТНАМ <i>Труонг Ван Туан</i> .....	67
ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ КОРМОВОЙ БАЗЫ В ВЫРОСТНЫХ ПРУДАХ, ОБВОДНЕННЫХ В РАННИЕ И ТРАДИЦИОННЫЕ СРОКИ РЫБОВОДНОГО СЕЗОНА НА СЕРГИЕВСКОМ ОРЗ <i>Труонг Ван Туан</i> .....	73
ПРИМЕНЕНИЕ ГИС И BIM ТЕХНОЛОГИЙ В ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВЕ <i>М.А. Мурина</i> .....	83
<b>РАЗДЕЛ. ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ</b> .....	<b>99</b>
ИЗМЕНЕНИЕ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ ОРГАНИЗМА БОКСЕРОВ В СОРЕВНОВАТЕЛЬНЫЙ ПЕРИОД <i>Д.В. Баранов</i> .....	99

**РАЗДЕЛ. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**

<https://doi.org/10.5281/zenodo.12607510>

УДК 632.118.2

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕОДНОРОДНОГО  
ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ  
ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

**Р.И. Штанько,**

К.Т.Н., доц.

**С.В. Владимиров,**

К.Т.Н., доц.,

НИУ «МЭИ»

**Аннотация:** В статье рассматривается использование неоднородного электрического поля для повышения эффективности технологических процессов. Исследуются процессы в разрядном промежутке коронного разряда. Приведены основные параметры разрядного промежутка. Рассматриваются факторы, влияющие на увеличение скорости электрохимических реакций. Особое внимание уделяется понятию «электрического ветра». Показана эффективность использования озono-воздушной смеси.

**Ключевые слова:** неоднородное электрическое поле, технологический процесс, коронный разряд, разрядный промежуток, образование озона, озono-воздушная смесь

---

**USING A NON-UNIFORM ELECTRIC FIELD TO IMPROVE  
THE EFFICIENCY OF TECHNOLOGICAL PROCESSES**

**R.I. Shtanko,**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

**S.V. Vladimirov,**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,

Research University «MEI»

**Annotation:** The article discusses the use of a non-uniform electric field to improve the efficiency of technological processes. The processes in the discharge gap of a corona discharge are studied. The main parameters of the discharge gap are given. Factors influencing the increase in the rate of electrochemical reactions are considered. Particular attention is paid to the concept of “electric wind”. The effectiveness of using the ozone-air mixture has been shown.

**Keywords:** non-uniform electric field, technological process, corona discharge, discharge gap, ozone formation, ozone-air mixture

---

Одним из путей повышения эффективности современных технологических процессов является их интенсификация (увеличение скорости энергомассообменных процессов) за счет электромагнитных полей. При увеличении скорости энергомассообменных процессов в технологиях повышается их производительность, снижается энергоемкость, металлоемкость и т.д.

В основе воздействия электромагнитных полей на технологические процессы лежит изменение внутренней энергии, и энтропии взаимодействующих сред за счет силовых характеристик полей. Эти характеристики (напряженность электрического поля, индукция магнитного поля и т.п.) воздействуют на электрические заряды компонент материалов.

Согласно уравнению Аррениуса, константа скорости химических превращений определяется температурой  $T$  и энергией активации  $E_a$  [1]:

$$K_t = K_o \cdot \exp\left(-\frac{E_a}{R \cdot T}\right), \quad (1)$$

где  $K_t$  – константа скорости химических превращений;

$K_o$  – коэффициент, выражающий число всех столкновений реагирующих молекул в единицу времени.

Множитель  $\exp\left(-\frac{E_a}{R \cdot T}\right)$  представляет ту долю общего числа молекул, которая реакционноспособна.

Таким образом, чтобы увеличить константу скорости химических реакций в среде необходимо повысить температуру или понизить энергию активации молекул. Проведение реакций в воздушной среде при высоких температурах связано со

значительными техническими трудностями, а также определенными требованиями технологического процесса. Поэтому более перспективным является снижение энергии активации молекул. Но здесь необходимо иметь в виду, что скорость химической реакции зависит от энергии, запасенной на определенной степени свободы молекулы [2].

Проведенные исследования кинетики химических реакций в газах [3] показывают, что скорость реакций, в основном, определяется энергией, запасенной на колебательной степени свободы молекулы. В связи с этим необходимо обеспечить условия протекания химических реакций, при которых основная часть подводимой энергии расходуется на колебательное возбуждение молекул. В этом случае мы получаем неравновесный молекулярный газ, который способствует активации химических превращений веществ в воздушной среде.

Наиболее просто понизить энергию активации молекул и получить неравновесный молекулярный газ в воздушной среде возможно созданием в ней высоковольтного резконеоднородного электрического поля (коронного разряда). Реализацию электрического резконеоднородного газового разряда наиболее целесообразно осуществлять электродами с фиксированными точками коронирования (игольчатыми электродами).

Наложение на воздушную среду внешнего электрического поля приводит к тому, что на хаотически движущиеся свободные электроны и ионы среды начинает действовать кулоновская сила, обусловленная напряженностью электрического поля

$$\vec{F} = \rho \cdot \vec{E}, \quad (2)$$

где  $\vec{E}$  – вектор напряженности электрического поля;

$\rho$  – плотность заряда.

Характерной особенностью резконеоднородного электрического поля является неравномерное распределение напряженности в межэлектродном пространстве. При этом в области сильного электрического поля образуется область ионизации (плазма), а в области слабого поля – внешняя область разряда, в которой происходит движение зарядов ионов. Под действием кулоновской силы в области сильного электрического поля электрон за время свободного пробега набирает энергию порядка нескольких электрон-

вольт. При своем движении электрон сталкивается с молекулами воздушной среды. Эти столкновения могут быть упругими, не сопровождающимися изменением внутренней энергии частиц, и неупругими, при которых происходит изменение внутреннего энергетического состояния молекулы.

Наиболее важными процессами столкновения электронов с молекулами и атомами являются следующие:

1. Неупругое столкновение с образованием электронно-возбужденного состояния



где  $e$  – электрон;

$A$  – атом до столкновения;

$A^*$  – атом после столкновения.

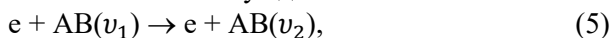
2. Диссоциация молекулы электронным ударом



где  $AB$  – молекула до взаимодействия;

$A$  и  $B$  – атомы, входящие в молекулу после взаимодействия.

3. Образование колебательно-возбужденного состояния



где  $v_i$  – колебательное квантовое число молекулы.

4. Диссоциативное прилипание электронов в молекуле



5. Диссоциативная рекомбинация

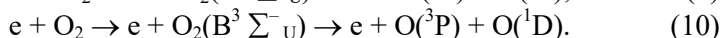
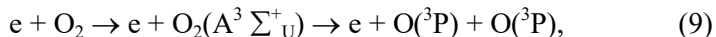


6. Ионизация молекулы или атома электронным ударом



В результате этих элементарных процессов плазма газового разряда является эффективным катализатором различных химических превращений.

Под действием энергии электронов молекула кислорода переходит в одно из возбужденных состояний, характеризующихся повышенной реакционной способностью. В работах [4, 5] предложены два основных процесса, приводящих к диссоциации через электронный переход в системах Херцберга ( $A^3 \Sigma^+_{\text{U}}$ ) и Шумана-Рунге ( $B^3 \Sigma^-_{\text{U}}$ ):





В области Франка-Кондона для возбуждения из основного состояния  $x^3 \sum_q^-$  кислорода на эти уровни необходимы энергии возбуждения порядка 6,0 и 8,4 эВ.

Одной из типичных реакций в плазме разряда является реакция образования озона [6]. При наличии атомов кислорода реакция образования озона может быть представлена следующим образом:



где  $M$  – любая частица, например молекула кислорода, озона, молекула примеси, атом кислорода и т.д.

Тройное столкновение обязательно, поскольку необходимо отвести избыток энергии.

Во внешней области разряда находятся ионы различных химических элементов. Энергия этих ионов при атмосферном давлении в результате столкновений полностью передается нейтральным молекулам воздушной среды, вызывая движение последних. Это явление в литературе получило название “электрического ветра” (“ионного ветра”, “коронного ветра”) и может быть использовано для подачи озono-воздушной смеси, образовавшейся в разряде, в обрабатываемую среду.

С учетом вышесказанного были проведены исследования влияния электроозонированного воздуха на технологические характеристики различных процессов. Так, в результате электроактивации воздушной среды животноводческих помещений высоковольтным коронным разрядом, содержание микробов снижается на 70...80 % [7]. При этом продуктивность поросят повышается на 15...20 %, а их сохранность – на 3...4. %. Применение электроозонированного воздуха для сушки зерна позволяет повысить производительность установок в 1,5...1,7 раза и снизить энергоемкость процесса в 1,7...2,2 раза [8]. Предварительные исследования влияния электроозонированного воздуха на эффективность сжигания жидкого топлива в сельскохозяйственных установках показали, что его расход может быть снижен на 20...25 % [9].

Таким образом, за счет использования резконеоднородного высоковольтного коронного разряда можно значительно интенсифицировать современные технологические процессы.

### Список литературы

- [1] Долгинов А.И. Техника высоких напряжений в электроэнергетике. / А.И. Долгинов – М.: Энергия, 1968. 464 с.
- [2] Капцов Н.А. Электрические явления в газах и вакууме. / Н.А. Капцов – М.: Гос. изд-во технико-теоретической лит-ры, 1950. 836 с.
- [3] Верещагин И.П. Коронный разряд в аппаратах электронно-ионной технологии. / И.П. Верещагин – М.: Энергоатомиздат, 1985. 159 с.
- [4] Лунин В.В. Физическая химия озона. / В.В. Лунин, М.П. Попович, С.Н. Ткаченко – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1998. 474 с.
- [5] Ксенз Н.В. Электроозонирование воздушной среды животноводческих помещений. / Н.В. Ксенз – Зерноград: ВНИПТИМЭСХ, 1991. 171 с.
- [6] Бородин И.Ф. Перспективы использования коронного разряда в сельскохозяйственных электроозонирующих установках / И.Ф. Бородин, А.Ф. Першин, А.В. Федоров, А.Ю. Евдосеева // Электрификация технологических процессов сельскохозяйственного производства: Сб. науч. трудов МИИСП. – М., 1989.
- [7] Бородин И.Ф. Использование электроозонированного воздуха в сельскохозяйственном производстве / И.Ф. Бородин, Н.В. Ксенз // Техника в сельском хозяйстве. – 1993. № 3.
- [8] Бородин И.Ф. Электроозонирование воздушной среды в животноводстве / И.Ф. Бородин, Н.В. Ксенз, Т.П. Шубина // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1995. № 7.
- [9] Повышение эффективности сжигания жидкого топлива в сельскохозяйственных установках / Н.В. Ксенз, Н.С. Вороной, Т.Н. Толстоухова, Р.И. Штанько // Механизация и электрификация сельского хозяйства – 1997. №7. 26-27 с.

### Bibliography (Transliterated)

- [1] Dolginov A.I. High voltage technology in the electric power industry. / A.I. Dolginov – M.: Energy, 1968. 464 p.

[2] Kaptsov N.A. Electrical phenomena in gases and vacuum. / N.A. Kaptsov – M.: State. Publishing house of technical and theoretical literature, 1950. 836 p.

[3] Vereshchagin I.P. Corona discharge in devices of electron-ion technology. / I.P. Vereshchagin – M.: Energoatomizdat, 1985. 159 p.

[4] Lunin V.V. Physical chemistry of ozone. / V.V. Lunin, M.P. Popovich, S.N. Tkachenko – M.: Publishing house Mosk. Univ., 1998. 474 p.

[5] Ksenz N.V. Electroozonation of the air environment of livestock premises. / N.V. Ksenz – Zernograd: VNIPTIMESKH, 1991. 171 p.

[6] Borodin I.F. Prospects for the use of corona discharge in agricultural electrical ozonation installations / I.F. Borodin, A.F. Pershin, A.V. Fedorov, A.Yu. Evdoseeva // Electrification of technological processes of agricultural production: Sat. scientific works of MIISP. – M., 1989.

[7] Borodin I.F. Use of electrically ozonated air in agricultural production / I.F. Borodin, N.V. Ksenz // Technology in agriculture. – 1993. No. 3.

[8] Borodin I.F. Electroozonation of the air environment in animal husbandry / I.F. Borodin, N.V. Ksenz, T.P. Shubina // Mechanization and electrification of agriculture. – 1995. No. 7.

[9] Increasing the efficiency of burning liquid fuel in agricultural installations / N.V. Ksenz, N.S. Voronoi, T.N. Tolstoukhova, R.I. Shtanko // Mechanization and electrification of agriculture – 1997. No. 7. 26-27 p.

© *Р.И. Штанько, С.В. Владимиров, 2024*

Поступила в редакцию 3.06.2024  
Принята к публикации 20.06.2024

---

### *Для цитирования:*

Штанько Р.И., Владимиров С.В. Использование неоднородного электрического поля для повышения эффективности технологических процессов // Инновационные научные исследования. 2024. № 6-2(44). С. 4-10. URL: <https://ip-journal.ru/>

<https://doi.org/10.5281/zenodo.12607540>  
УДК 629.4

## АНАЛИЗ И ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ПОКАЗАТЕЛЕЙ И КРИТЕРИЕВ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПЛИС

**Е.И. Манакова,**

студент 4 курса, напр. «Информатика и вычислительная техника»

**Н.И. Швецов,**

к.т.н., доц.,

МИРЕА – Российский технологический университет

**Аннотация:** В статье рассматривается анализ проблем ПЛИС с точки зрения их энергоэффективности. Понятие энергоэффективности тесно связано с понятием энергопотребление. Проанализирован и обоснован выбор показателей и критериев энергоэффективности ПЛИС. Рассмотрены показатели бывают простые и комплексные. Выполнен их сравнительный анализ.

**Ключевые слова:** ПЛИС, показатели энергоэффективности ПЛИС, критерии энергоэффективности ПЛИС

---

## ANALYSIS AND JUSTIFICATION OF THE CHOICE OF INDICATORS AND CRITERIA FOR FPGA

**E.I. Manakova,**

2nd year student, direction "Computer Science and computer engineering"

**N.I. Shvetsov,**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,

MIREA – Russian Technological University

**Annotation:** The article examines the analysis of FPGA problems from the point of view of their energy efficiency. The concept of energy efficiency is closely related to the concept of energy consumption. The choice of indicators and criteria of FPGA energy efficiency is analyzed and justified. The indicators considered are simple and complex. Their comparative analysis is performed.

**Keywords:** FPGA, FPGA energy efficiency indicators, FPGA energy efficiency criteria

При анализе проблем ПЛИС на первый план выходит их энергоэффективность. Понятие энергоэффективности тесно связано с понятием энергопотребление [1-5].

Для научных исследований необходимо проанализировать и обосновать выбор показателей и критериев энергоэффективности ПЛИС.

Показатели бывают простые и комплексные. К числу простых показателей относятся:

- мощность потребляемой электроэнергии  $P_e$ ;
- производительность  $\Pi$ ;
- общая энергия системы  $P_s$ ;
- «зеленая» энергия  $P_{eg}$ ;
- энергия возобновляемых источников  $P_{er}$ ;
- эмиссия углерода  $CE$ .

Энергопотребление определяется потребляемой энергией, энергоэффективность – тем, насколько эффективно энергия используется. Речь идет, прежде всего, о потребляемой электроэнергии, измеряемой мощностью  $P_e$ .

Таким образом, энергоэффективность  $E_e$  является комплексным показателем, который может вычисляться как отношение достигаемой производительности  $\Pi$ , при использовании технологии или ИТ-системы к потребляемой мощности  $P_e$ .

$$E_e = \Pi / P_e, \quad (1)$$

где  $E_e$  – универсальный показатель, который может использоваться как для ИТ-систем, так и для процессоров в их составе.

Энергосбережение имеет более широкий смысл и указывает не только количественное значение экономии энергии при использовании зеленых ИТ, а и на эффективность совокупности мер, направленных на снижение ее потребления.

Выражение (1) связано с общим энергопотреблением ИТ-системы и эффективным использованием энергии. Для того, чтобы оценить долю энергии  $P_e$ , потребляемой таким оборудованием такой системы, по отношению к общей энергии  $P_s$  технического комплекса,

предприятия, или любого объекта, в который встраиваются программно-аппаратные средства, используется показатель PIM (power IT-system metric)

$$PIM = P_e / P_s. \quad (2)$$

Этот показатель также является универсальным, так как для работы процессора необходимо: блок питания со своим КПД, кулеры и система охлаждения в целом, обвязка процессора, поддержание ШИМ протоколов, контроллеров и т.д.

Когда речь идет о системах, предназначенных для обработки данных, таких как датацентры (центры обработки данных вычислительных кластеров, облачных инфраструктур), используется показатель PUE (power usage effectiveness).

Эффективность использования энергии (PUE) – это соотношение того, насколько эффективно компьютерный центр обработки данных использует энергию; в частности, сколько энергии используется вычислительным оборудованием (в отличие от охлаждения и других накладных расходов) [2-8].

PUE – это отношение общего количества энергии, используемого вычислительным центром обработки данных, к энергии, передаваемой в вычислительное оборудование.

$$PUE = P_s / P_e. \quad (3)$$

Показатель PUE является одним из важных показателей энергоэффективности датацентров и обратным по величине к PIM, поскольку фактически определяет долю накладных энергетических расходов при выполнении обработки информации ИТ-системами. Идеальным датацентром является такой, когда PUE равен единице. Для существующих датацентров среднее значение PUE равно 2.5. Для бизнеса с большой зависимостью от таких центров ставится задача сокращения этого показателя до двух и ниже [1-4].

При определенных условиях этот показатель тоже может быть применен. С одной стороны  $P_s$  – это энергия, поступающая на процессор, а  $P_e$  – это энергия, которая подается на компьютер (видеокарта, сетевые карты, накопители).

Наряду с ним используются также следующие метрики.

Коэффициент зеленой энергии GEC (green energy coefficient) – определяет ту часть энергии  $P_{eg}$ , которая получена после ее использования:

$$GEC = P_{eg} / P_e. \quad (4)$$

Коэффициент повторного использования энергии ERF (energy reuse factor), определяющий долю энергии (тепловой, в первую очередь), выделяющейся при проведении вычислений и работе датацентров в целом, полезно используемой в дальнейшем  $P_{er}$  (например, для обогрева помещений, теплиц и т.д.):

$$ERF = P_{er} / P_e. \quad (5)$$

Благодаря повторному использованию уменьшается ее общее потребление.

Коэффициент эффективности использования углерода CUE (carbon usage effectiveness) используется для измерения углекислого газа, который ежедневно генерирует дата-центр, определяется отношением объема эмиссии  $CE$ , вызванной общим энергопотреблением  $P_s$  датацентра, к объему энергии, потребляемой для обработки информации  $P_e$ :

$$CUE = CE / P_e. \quad (6)$$

Энергоэффективность компьютерных систем определяет эффективное использование энергетических ресурсов для реализации функций хранения, передачи и обработки данных. Практически это означает расходование меньшего количества энергии (потребляемой мощности) для обеспечения того же уровня производительности или же повышение производительности при сохранении прежнего уровня потребляемой энергии [10].

### Список литературы

- [1] Использование программируемых логических интегральных схем (ПЛИС) [Электронный ресурс] – URL: [https://de.ifmo.ru/bk\\_netra/page.php?index=43&layer=1&tutindex=25](https://de.ifmo.ru/bk_netra/page.php?index=43&layer=1&tutindex=25). (дата обращения: 20.06.2024)
- [2] Швецов Н.И., Богушевич Е.В. Анализ перспективной элементной базы для использования в системах управления и связи. // «Молодой ученый» – 2021. № 46 (388). [Электронный ресурс] – URL: <https://moluch.ru/archive/388/85509/>. (дата обращения: 20.06.2024)
- [3] Несс Р. Ежегодное исследование рынка встраиваемых систем / Р. Несс // Электронные компоненты. – 2007. № 11. 69-77 с.

[4] Чепрасова А.С. Будущее и настоящее СБИС / А.С. Чепрасова, Ю.В. Мамелин. – Текст: непосредственный // Молодой ученый. – 2016. № 17 (121). 79-81. [Электронный ресурс] – URL: <https://moluch.ru/archive/121/33559/> (дата обращения: 20.06.2024)

[5] Логовский А. Технология ПЛИС и ее применение для создания нейрочипов. [Электронный ресурс] – URL: <https://www.osp.ru/os/2000/10/178242>. (дата обращения: 20.06.2024)

[6] Применение ПЛИС в системах защиты информации/ [Электронный ресурс] – URL: <http://cyclowiki.org/wiki/> (дата обращения: 20.06.2024)

[7] FPGA майнинг – описание, особенности, актуальность. [Электронный ресурс] – URL: <https://prostocoin.com/blog/fpga-mining>. (дата обращения: 20.06.2024)

[8] Шагурин И. «Большие» FPGA как элементная база для реализации систем на кристалле / И. Шагурин, В. Шалтырев, А. Волон // Электронные компоненты. – 2006. № 5. 83-88 с.

### **Bibliography (Transliterated)**

[1] Use of programmable logic integrated circuits (FPGAs) [Electronic resource] – URL: [https://de.ifmo.ru/bk\\_netra/page.php?index=43&layer=1&tutindex=25](https://de.ifmo.ru/bk_netra/page.php?index=43&layer=1&tutindex=25). (date of access: 06.20.2024)

[2] Shvetsov N.I., Bogushevich E.V. Analysis of promising element base for use in control and communication systems. // “Young Scientist” – 2021. No. 46 (388). [Electronic resource] – URL: <https://moluch.ru/archive/388/85509/>. (date of access: 06.20.2024)

[3] Ness R. Annual research of the embedded systems market / R. Ness // Electronic components. – 2007. No. 11. 69-77 p.

[4] Cheprasova A.S. The future and present of VLSI / A.S. Cheprasova, Yu.V. Mamelin. – Text: immediate // Young scientist. – 2016. No. 17 (121). 79-81. [Electronic resource] – URL: <https://moluch.ru/archive/121/33559/> (access date: 06/20/2024)

[5] Logovsky A. FPGA technology and its application for creating neurochips. [Electronic resource] – URL: <https://www.osp.ru/os/2000/10/178242>. (date of access: 06/20/2024)



[6] Application of FPGAs in information security systems/ [Electronic resource] – URL: <http://cyclowiki.org/wiki/> (access date: 06/20/2024)

[7] FPGA mining – description, features, relevance. [Electronic resource] – URL: <https://prostocoin.com/blog/fpga-mining>. (date of access: 06.20.2024)

[8] Shagurin I. “Large” FPGAs as an elemental base for the implementation of systems on a chip / I. Shagurin, V. Shaltyrev, A. Volov // Electronic components. – 2006. No. 5. 83-88 p.

© *Е.И. Манакова, Н.И. Швецов, 2024*

Поступила в редакцию 11.06.2024

Принята к публикации 20.06.2024

---

*Для цитирования:*

Манакова Е.И., Швецов Н.И. Анализ и обоснование выбора показателей и критериев энергоэффективности ПЛИС // Инновационные научные исследования. 2024. № 6-2(44). С. 11-16. URL: <https://ip-journal.ru/>

<https://doi.org/10.5281/zenodo.12607594>  
УДК 004.032.26

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АРХИТЕКТУР НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

**С.М. Левин,**

к.ю.н., PhD, проф. кафедры автоматизированных систем управления

**А.А. Лузинсан,**

студентка кафедры автоматизированных систем управления,

Томский государственный университет систем управления и

радиоэлектроники,

г. Томск

**Аннотация:** Статья посвящена анализу влияния автоматизации на процесс проектирования архитектур нейронных сетей, обозначая ключевые аспекты, которые способствуют повышению эффективности и скорости разработки. В исследовании особое внимание уделяется тому, как автоматизированные системы способствуют быстрому подбору оптимальных параметров архитектуры, таких как количество и типы слоёв, функции активации и методы обучения, что существенно упрощает задачу для разработчиков и ускоряет процесс внедрения моделей в производство. Приводятся данные о том, как использование алгоритмов машинного обучения позволяет системам самостоятельно оптимизировать архитектуры под специфические задачи, минимизируя человеческое вмешательство и ошибки, связанные с субъективной оценкой специалистов. Также оцениваются экономические преимущества автоматизации, включая снижение затрат на труд и сокращение времени, необходимого для вывода продукта на рынок. Кроме технических аспектов, статья затрагивает этические и правовые вопросы, связанные с автоматизацией, подчеркивая необходимость разработки стандартов и регулирований для обеспечения безопасности и конфиденциальности данных. В заключение предлагаются направления для дальнейших исследований, включая улучшение алгоритмов и расширение функциональных возможностей автоматизированных систем.

**Ключевые слова:** автоматизация проектирования, нейронные сети, машинное обучение, искусственный интеллект, оптимизация гиперпараметров, алгоритмы оптимизации, технологии искусственного интеллекта

---

## AUTOMATION OF NEURAL NETWORK ARCHITECTURE DESIGN

**C.M. Levin,**

Candidate of Law, PhD, Professor of the Department of Automated Control Systems

**A.A. Luzinsan,**

student of the Department of Automated Control Systems,  
Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics,  
Tomsk

**Annotation:** The article is devoted to the analysis of the influence of automation on the process of designing neural network architectures, identifying key aspects that contribute to increasing the efficiency and speed of development. The study focuses on how automated systems enable rapid selection of optimal architectural parameters, such as the number and types of layers, activation functions and training methods, which significantly simplifies the task for developers and speeds up the process of introducing models into production. Data is provided on how the use of machine learning algorithms allows systems to independently optimize architectures for specific tasks, minimizing human intervention and errors associated with the subjective assessment of specialists. The economic benefits of automation are also assessed, including reduced labor costs and reduced time to market. In addition to technical aspects, the article addresses ethical and legal issues related to automation, emphasizing the need to develop standards and regulations to ensure data security and privacy. Finally, directions for further research are suggested, including improving algorithms and expanding the functionality of automated systems.

**Keywords:** design automation, neural networks, machine learning, artificial intelligence, hyperparameter optimization, optimization algorithms, artificial intelligence technologies

---

Автоматизация проектирования архитектур нейронных сетей играет решающую роль на современной арене искусственного интеллекта. Основываясь на разнообразии задач, которые требуется решать с помощью машинного обучения – от обработки естественного языка до компьютерного зрения – автоматизация предлагает значительные преимущества для ускорения и оптимизации процесса разработки. По мере того, как объем данных растет и становится более сложным для анализа, потребность в эффективно спроектированных моделях увеличивается [1]. Традиционные методы разработки, которые в значительной степени опираются на ручной труд и интуитивное понимание данных, становятся непомерно затратными по времени и подвержены ошибкам [2]. С использованием автоматизированных систем возможно не только ускорить создание моделей, но и повысить их точность и надежность. Эти системы способны самостоятельно проводить различные эксперименты с архитектурами, адаптируясь к специфическим требованиям задач и данных [3]. Например, автоматизация может включать в себя алгоритмы для определения оптимального количества слоёв, типов нейронов, функций активации и параметров обучения [4]. Это позволяет исследователям фокусироваться на интерпретации результатов и дальнейшем улучшении моделей, а не на рутинной настройке параметров. Более того, автоматизация поддерживает реализацию адаптивного обучения, где модели самостоятельно корректируют свои параметры в ответ на изменения в входных данных или обратную связь в процессе использования [5]. Это особенно важно в приложениях реального времени, где условия постоянно меняются и требуется высокая степень адаптивности модели.

Экономический аспект также играет важную роль: автоматизация позволяет сократить расходы на исследования и разработку за счет снижения затрат на труд и повышения эффективности процессов. Компании, интегрирующие

автоматизированные инструменты в свои рабочие процессы, могут достигать более быстрого времени вывода продукта на рынок, что является ключевым фактором в высококонкурентных технологических отраслях.

Автоматизация проектирования архитектур нейронных сетей направлена на решение ряда ключевых проблем, которые традиционно сопровождали процесс разработки в области машинного обучения [6]. Среди этих проблем – сложность выбора архитектуры, длительность процесса тестирования и оптимизации, высокие требования к квалификации специалистов и недостаточная универсальность в применении полученных моделей к различным задачам [7]. Одной из основных проблем является трудность выбора оптимальной архитектуры нейронной сети. Для каждого уникального случая может быть предложено множество подходящих архитектур, каждая со своими уникальными характеристиками, размерами и типами слоев. Выбор наиболее подходящей конфигурации требует глубоких знаний и обширного экспериментирования. Применение автоматизации, включая методы как нейроэволюция и градиентный поиск по гиперпараметрам, позволяет систематично и эффективно изучать все возможные архитектуры, минимизируя необходимость непрерывного человеческого вмешательства [8]. Второй весомой проблемой является время, требуемое для тестирования и оптимизации моделей. Обычный подход к обучению и настройке нейронных сетей может занимать от нескольких недель до нескольких месяцев, что зависит от сложности задачи и объема данных. Автоматизация процесса позволяет одновременно тестировать различные архитектуры, автоматически адаптируя их на основе результатов обучения, что резко ускоряет процесс подбора наилучшей модели и оптимизации распределения вычислительных ресурсов [9]. Третья сложность – это высокие требования к квалификации разработчиков. Создание эффективных нейронных сетей требует подробных знаний в области машинного обучения, статистики, математики и программирования. Автоматизация облегчает вход в эту область, поскольку инструменты автоматизации предлагают интерфейсы, которые упрощают процесс проектирования и обучения, делая технологии более доступными для широкой аудитории исследователей и разработчиков. Четвертая проблема заключается в

ограниченной универсальности моделей. Многие архитектуры, специально разработанные для определенных задач, трудно адаптировать к другим заданиям без глубокой доработки [10]. Системы автоматизированного проектирования способны учитывать разнообразные требования различных задач, адаптируя архитектуру и настройки сетей для обеспечения максимальной гибкости и возможности их применения в различных условиях.

### **Теоретические основы: основные понятия и определения.**

Для эффективного освоения методов автоматизации в проектировании архитектур нейронных сетей необходимо изучить основные концепции, на которых базируется эта область. Нейронные сети и их структуры являются фундаментом для множества исследований и разработок в сфере искусственного интеллекта [11].

Нейронные сети представляют собой алгоритмы обучения или вычислительные системы, разработанные по образцу биологических нейронных сетей. Искусственные нейроны, или перцептроны, являются базовыми элементами таких сетей, имитирующими функции биологических нейронов. Эти элементы получают входные данные, взвешивают и суммируют их, после чего передают результат далее через нелинейную функцию активации, формируя выходные данные [12].

Архитектура нейронной сети описывает её структурное и функциональное устройство, которое определяет обработку информации. В структуре архитектуры выделяют несколько ключевых элементов:

- слои – основные блоки обработки, включающие множество нейронов, они могут быть входными, скрытыми и выходными, каждый из которых специализируется на определенном типе обработки данных;

- нейроны – вычислительные элементы сети, обрабатывающие входные и выходные данные;

- веса – параметры в нейронных сетях, настраиваемые в процессе обучения, которые определяют значимость входных сигналов для каждого нейрона;

- функция активации – нелинейная функция, применяемая к выходному сигналу нейрона, что позволяет сети моделировать сложные зависимости;

- функция потерь – метрика, используемая для оценки точности модели во время обучения;
- оптимизатор – алгоритм, задача которого минимизировать или оптимизировать функцию потерь, корректируя веса в нейронной сети.

Конфигурация этих элементов определяет способность сети обрабатывать данные и выявлять закономерности. Вариации в числе слоев и нейронов, выбор функций активации и методов обучения формируют структуру архитектуры, адаптированную для решения конкретных задач, таких как классификация изображений, прогнозирование временных рядов или машинный перевод.

### **Краткий исторический обзор развития методов автоматизации проектирования**

Развитие методов автоматизации проектирования нейронных сетей началось почти сразу после того, как концепция искусственных нейронных сетей впервые была предложена. Эти методы развивались параллельно с увеличением мощности вычислительной техники и углублением понимания теоретических аспектов машинного обучения. На заре исследований нейронных сетей, в 50-х и 60-х годах XX века, основным методом создания архитектур было ручное проектирование, основанное на теоретических предпосылках и интуиции исследователей. Однако уже в 1980-х годах, с появлением алгоритма обратного распространения ошибки, возникли первые возможности для автоматизации процессов обучения нейронных сетей, что в последствии стало основой для более сложных систем автоматического проектирования [13].

В 1990-х годах началось активное использование генетических алгоритмов для оптимизации нейронных сетей. Эти методы имитировали процессы естественной эволюции, такие как мутация, кроссовер и естественный отбор, для создания эффективных нейронных сетей. Генетические алгоритмы позволяли автоматически генерировать архитектуру сети, настраивать количество слоев, нейронов в каждом слое, а также типы активационных функций и другие параметры. К началу 2000-х годов, с увеличением доступной вычислительной мощности и развитием методов машинного обучения, появились новые подходы, такие как алгоритмы оптимизации роя частиц и методы, основанные на градиентном

спуске, которые могли эффективно оптимизировать веса в больших нейронных сетях. Также в этот период началось активное использование методов оптимизации гиперпараметров, включая случайный поиск и последовательное сужение выбора (Sequential Model-Based Optimization), для автоматизации выбора наилучших параметров нейронных сетей.

В последующее десятилетие значительное влияние на развитие методов автоматизации оказали глубокие нейронные сети. Рост сложности архитектур и объемов данных требовал более продвинутых методов автоматизации. Одним из ответов на эти вызовы стало появление алгоритмов нейроэволюции, которые позволяли не только оптимизировать существующие модели, но и создавать новые, на основе уже имеющихся данных.

Особый интерес в контексте автоматизации начал проявляться к архитектурам, которые могут самостоятельно адаптироваться под задачи. Это привело к разработке концепции так называемых «адаптивных сетей», которые могут изменять свою структуру в процессе обучения. Такие сети используют различные техники, включая dropout и динамическое добавление или удаление слоев во время обучения.

На сегодняшний день значительное развитие получили методы автоматического машинного обучения (AutoML), которые интегрируют в себе все предыдущие достижения в области автоматизации проектирования. Эти системы могут самостоятельно проводить полный цикл разработки модели, начиная от предварительной обработки данных и заканчивая развертыванием обученных моделей. AutoML решает множество задач, связанных с выбором архитектуры, настройкой параметров и валидацией моделей, что позволяет даже неспециалистам в области машинного обучения создавать эффективные решения на основе искусственного интеллекта [14, 15].

### **Обзор методологий и инструментов, используемых в автоматизации**

Автоматизация проектирования архитектур нейронных сетей охватывает различные методологии и инструменты, каждый из которых предлагает уникальные возможности для улучшения процесса разработки. Важно осознавать, что выбор подхода к



автоматизации зависит от специфики задачи, требований к эффективности и гибкости, а также от ресурсов, доступных для обучения и разработки.

Генетические алгоритмы (ГА) считаются одним из наиболее эффективных подходов в автоматизации проектирования архитектур нейронных сетей. Они воспроизводят процессы, аналогичные естественному отбору, включая селекцию, скрещивание и мутации, для формирования наиболее подходящей структуры сети [16]. Иницируется процесс с генерации начальной популяции случайных архитектур, которые последующим образом анализируются по определённым показателям эффективности. Наилучшие варианты «скрещиваются», обмениваясь элементами своих структур, что приводит к появлению новых архитектур, наследующих и интегрирующих успешные свойства своих предшественников [17]. Этот процесс повторяется неоднократно до достижения установленных показателей эффективности или других критериев завершения. Методы оптимизации роя частиц (Particle Swarm Optimization, PSO) являются ещё одним видом эволюционных алгоритмов, использующих принципы социального взаимодействия и коллективного обучения для поиска оптимальных решений [18]. В контексте разработки нейронных сетей каждая частица в «рое» представляет потенциальную архитектуру, при этом все частицы движутся по пространству возможных решений, адаптируясь и обучаясь на основе личного и коллективного опыта. Байесовская оптимизация представляет собой продвинутый статистический метод для настройки функций, особенно ценный в ситуациях, где оценка функций затруднена или занимает много времени. Этот подход использует данные предыдущих оценок архитектур для создания вероятностной модели (часто используется гауссовский процесс), которая прогнозирует наиболее перспективные новые архитектуры [19]. На основании этой модели выбираются новые варианты для тестирования, после чего процесс повторяется, уточняя поиск оптимального решения.

Для автоматизации требуются соответствующие инструменты. К ним можно отнести TensorFlow и Keras, которые предлагают API для разработки и тренировки машинных моделей, в том числе нейронных сетей. В рамках автоматизации эти платформы часто

интегрируются с такими инструментами как Hyperopt и Keras Tuner, которые облегчают автоматизацию процессов настройки гиперпараметров и определения структуры модели. Платформы AutoML, включая Google Cloud AutoML, Microsoft Azure Machine Learning и AutoKeras, обеспечивают комплексные решения для автоматического проектирования, обучения и развертывания моделей нейронных сетей. Эти системы применяют разнообразные методики, такие как нейроэволюция и байесовская оптимизация, чтобы эффективно искать наилучшие архитектурные решения в обширном пространстве вариантов. PyTorch в сочетании с библиотекой Fast.ai предоставляет расширенные возможности для детализированной работы с нейронными сетями. Fast.ai делает процесс экспериментирования с разными архитектурами и методами обучения более простым и доступным, что способствует более быстрому и интуитивно понятному созданию прототипов.

В процессе разработки и оптимизации архитектур нейронных сетей используются различные подходы, каждый из которых имеет свои уникальные преимущества и недостатки. Двумя популярными методами являются генетические алгоритмы и алгоритмы оптимизации гиперпараметров. Рассмотрение этих подходов позволяет глубже понять, как они могут быть интегрированы в процессы автоматизации для достижения наилучших результатов.

Генетические алгоритмы (ГА) особенно ценны за их способность исследовать большие и сложные пространства поиска, где традиционные методы оптимизации могут не справиться. Они могут эффективно находить решения в случаях, когда функция цели недифференцируема или имеет множество локальных минимумов. Ключевым преимуществом ГА является их способность к параллельному поиску, что позволяет одновременно оценивать множество кандидатов на решение. Это делает ГА особенно подходящими для задач, где необходимо изучить широкий спектр возможных решений, таких как структурная оптимизация нейронных сетей. Основным недостатком генетических алгоритмов является их склонность к преждевременной сходимости к менее оптимальным решениям, что может произойти из-за недостаточного генетического разнообразия в популяции. Кроме того, ГА могут требовать значительных вычислительных ресурсов, особенно при работе с

большими популяциями или когда оценка каждого кандидата требует значительного времени. Подбор параметров ГА [20], таких как размер популяции, вероятности мутации и кроссовера, также может быть сложным и требовать предварительных экспериментов.

Алгоритмы оптимизации гиперпараметров, включая такие методы, как сеточный поиск, случайный поиск и байесовская оптимизация, предоставляют более структурированный подход к оптимизации. Они часто используются для тонкой настройки предварительно определенных архитектур нейронных сетей, что позволяет добиваться высокой точности моделей. Байесовская оптимизация, в частности, эффективна в сокращении количества итераций, необходимых для нахождения оптимальных решений, благодаря использованию вероятностной модели для прогнозирования наиболее перспективных кандидатов. Недостатки таких методов включают их зависимость от качества и настроек начальной архитектуры нейронной сети [21]. Если начальные архитектуры неподходящие, даже оптимальные гиперпараметры не позволят достичь желаемой производительности. Кроме того, методы оптимизации гиперпараметров часто требуют больших вычислительных ресурсов, особенно в случаях, когда функция потерь сложна и требует много времени для оценки каждого варианта.

### **Кейс-стади: пример автоматизированной системы**

В рамках преддипломной практики была разработана система автоматизации проектирования архитектур нейронных сетей, предназначенная для облегчения задачи поиска и оптимизации нейронных сетей в академических и исследовательских целях. Основная задача системы заключалась в том, чтобы предоставить пользователям – студентам, исследователям, разработчикам – удобный инструмент для экспериментов с различными архитектурами, не требуя от них глубоких знаний в области машинного обучения.

Система включает в себя несколько основных элементов:

1. Интерфейс пользователя. Создан с использованием передовых фреймворков для разработки веб-приложений, что обеспечивает легкость и удобство использования. Через интерфейс пользователи могут настраивать параметры нейронной сети, включая

количество и типы слоёв (сверточные, полносвязные, рекуррентные и другие), функции активации и методы оптимизации.

2. Модуль проектирования сети. Работает на основе динамического конструктора, позволяющего пользователю в графическом виде проектировать и изменять структуру нейронной сети. Для построения и тренировки моделей модуль использует библиотеку TensorFlow.

3. Модуль автоматической оптимизации. Содержит инструменты для автоматизированного определения гиперпараметров через байесовскую оптимизацию и генетические алгоритмы, что позволяет системе автоматически выбирать наилучшие настройки для максимизации эффективности моделей.

4. База данных. Хранит информацию о прошлых экспериментах, моделях и их эффективности, что используется для тренировки мета-модели, способствующей предсказанию наиболее перспективных параметров в пространстве гиперпараметров.

5. Модуль отчетности. Отвечает за создание детализированных отчетов о дизайне и испытаниях моделей, включая графики, которые иллюстрируют процесс обучения и сравнения производительности различных настроек сетей.

Система функционирует следующим образом: пользователь загружает начальные данные для машинного обучения, в том числе тренировочные и тестовые датасеты. Используя интерактивный интерфейс, пользователь может или разработать уникальную архитектуру сети, или выбрать из предложенных шаблонов. Затем, после установки параметров архитектуры, система начинает процесс обучения, в рамках которого могут быть автоматически выбраны идеальные гиперпараметры. По окончании обучения пользователь получает отчет, содержащий анализ эффективности сети и предложения по её дальнейшему усовершенствованию.

### **Анализ функциональности и эффективности системы на реальных задачах**

Первое и возможно самое значительное достоинство – это заметное сокращение времени разработки моделей. Система ускоряет переход от концепции к реализации за счет автоматизации стандартных операций, таких как выбор структуры сети и детальная настройка гиперпараметров. Это особенно важно для проектов с

ограниченными временными рамками и строгими требованиями к скорости вывода продуктов на рынок. Например, в проекте по распознаванию образов использование автоматизированной системы позволило уменьшить период разработки модели на 40%, при этом качество предсказаний осталось на высоком уровне. Второе ключевое преимущество – повышение точности моделей благодаря более эффективному подбору архитектуры и гиперпараметров. Система применяет сложные технологии, включая генетические алгоритмы и байесовскую оптимизацию, чтобы определить наилучшую комбинацию параметров, что способствует созданию более продуктивных и точных моделей. В частности, при обработке анализа тональности текстов, система достигла уровня точности на 15% выше, чем результаты, полученные с помощью традиционных методов.

Третье преимущество – универсальность системы. Она успешно адаптируется к разнообразным типам данных и задачам, что делает ее идеальным выбором для компаний, работающих в различных секторах. Например, система была испытана в проектах, связанных с медицинской диагностикой, финансовым моделированием и управлением клиентскими отношениями, демонстрируя в каждом случае свою адаптивность и способность к настройке под конкретные нужды проекта. Тем не менее, несмотря на многочисленные достоинства, система также обладает некоторыми ограничениями. Одним из них является повышенная потребность в вычислительных ресурсах, особенно при работе с большими объемами данных, что может быть проблематично для малых компаний или стартапов без доступа к значительным вычислительным мощностям. Это может сделать использование системы экономически нецелесообразным. Второе ограничение связано с необходимостью предварительной настройки и конфигурации системы, что может потребовать значительных усилий и времени, особенно на начальном этапе. Несмотря на автоматизацию, выбор начальных параметров для генерации моделей все еще требует вмешательства и глубокого понимания задачи со стороны пользователя.

Следует отметить, что, несмотря на определенные ограничения, автоматизированная система проектирования архитектур нейронных сетей предлагает значительные преимущества, которые могут способствовать ускорению и оптимизации разработки

в разнообразных прикладных областях. Это создает возможности для дальнейшего улучшения и расширения функциональности системы.

### **Выводы**

В ходе анализа было установлено, что использование автоматизированных систем значительно ускоряет процесс разработки нейронных сетей, позволяя сократить временные затраты на проектирование и настройку моделей. Автоматизация позволяет инженерам сфокусироваться на решении более сложных задач, минимизируя рутинные операции по подбору параметров и тестированию архитектур. Например, использование алгоритмов нейроэволюции и градиентного спуска по гиперпараметрам демонстрирует, что машины способны самостоятельно итеративно улучшать и оптимизировать структуры сетей, что было подтверждено результатами экспериментов с классификацией изображений и обработкой естественного языка.

Особое внимание в исследовании уделялось вопросам универсальности и адаптивности моделей. Автоматизация действительно способствует созданию более гибких архитектур, которые можно эффективно перенастраивать под новые задачи без значительных временных потерь. Это особенно ценно в условиях постоянно меняющихся требований и данных. Например, в проектах, связанных с медицинской диагностикой, где точность и способность модели адаптироваться к новым типам заболеваний может критически влиять на качество и результаты диагностики.

С другой стороны, несмотря на множество преимуществ, существуют и определенные трудности и ограничения, связанные с применением автоматизированных систем. Одним из наиболее значимых ограничений является высокая зависимость от качества исходных данных и начальных настроек системы. Некорректно подобранные параметры или недостаточное качество данных могут привести к созданию неэффективных моделей, что подчеркивает необходимость разработки усовершенствованных методов предварительной обработки данных и управления гиперпараметрами. Кроме технических аспектов, важно также рассмотреть этические и правовые вопросы, связанные с автоматизацией проектирования. Вопросы конфиденциальности данных, ответственности за ошибки ИИ и управление автоматизированными системами требуют

дальнейшего изучения и регулирования. Необходимо разработать четкие правила и стандарты, которые будут регулировать эти аспекты, чтобы минимизировать риски и негативные последствия от внедрения таких технологий.

В заключение стоит отметить, что перспективы развития автоматизированных систем проектирования нейронных сетей выглядят многообещающими. Ожидается, что дальнейшие инновации в области машинного обучения и искусственного интеллекта позволят улучшить существующие методы, расширить функциональные возможности и повысить эффективность систем. Важно, чтобы разработка таких систем шла в ногу с улучшением алгоритмов и технологий, а также с обеспечением безопасности, доступности и этичности использования данных систем.

### Список литературы

[1] Heuillet A. Efficient automation of neural network design: A survey on differentiable neural architecture search / A. Heuillet et al. // *ACM Computing Surveys*. – 2023.

[2] Xie L. Automation of macular degeneration classification in the AREDS dataset, using a novel neural network design / L. Xie et al. // *Clinical Ophthalmology*. – 2023. 455-469 с.

[3] Pradana M.G. Evaluation of Convolutional Neural Network Model Architecture Performance / M.G. Pradana, H. Khoirunnisa, I.W.R. Pinastawa // *2023 International Conference on Informatics, Multimedia, Cyber and Informations System (ICIMCIS)*. – IEEE, 2023. 628-632 с.

[4] Luo H. Application of a New Architecture Neural Network in Determination of Flocculant Dosing for Better Controlling Drinking Water Quality / H. Luo et al. // *Water*. – 2022. Т. 14. №. 17. 2727 с.

[5] Kwasigroch A. Deep neural network architecture search using network morphism / A. Kwasigroch, M. Grochowski, M. Mikolajczyk // *2019 24th International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics (MMAR)*. – IEEE, 2019. 30-35 с.

[6] Chen H.C. AlexNet convolutional neural network for disease detection and classification of tomato leaf / H.C. Chen et al. // *Electronics*. – 2022. Т. 11. №. 6. 951 с.

[7] Wu N. IRONMAN-PRO: Multiobjective design space exploration in HLS via reinforcement learning and graph neural network-based

modeling / N. Wu, Y. Xie, C. Hao // IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems. – 2022. Т. 42. №. 3. 900-913 с.

[8] Spielberg N.A. Neural network model predictive motion control applied to automated driving with unknown friction / N.A. Spielberg, M. Brown, J.C. Gerdes // IEEE Transactions on Control Systems Technology. – 2021. Т. 30. №. 5. 1934-1945 с.

[9] Grebner C. Automated de novo design in medicinal chemistry: which types of chemistry does a generative neural network learn? / C. Grebner et al. // Journal of Medicinal Chemistry. – 2020. Т. 63. №. 16. 8809-8823 с.

[10] Liang S. et al. Deepburning-gl: an automated framework for generating graph neural network accelerators / S. Liang et al. // Proceedings of the 39th International Conference on Computer-Aided Design. – 2020. 1-9 с.

[11] Jang H. Neural network implementation using cuda and openmp / H. Jang, A. Park, K. Jung // 2008 Digital Image Computing: Techniques and Applications. – 2008. 155-161 с.

[12] Rosenkranz M. A comparative study on different neural network architectures to model inelasticity / M. Rosenkranz et al. // International Journal for Numerical Methods in Engineering. – 2023. Т. 124. №. 21. 4802-4840.

[13] Heuillet A. Efficient automation of neural network design: A survey on differentiable neural architecture search / A. Heuillet et al. // ACM Computing Surveys. – 2023.

[14] Donevski D. Optimizing the Neural Network Architecture for Automation of the Tailored UV Post-Treatment of Photopolymer Printing Plates / D. Donevski, T. Tomašegović, S. Mahović Poljaček // Machines. – 2023. Т. 11. №. 6. 618 с.

[15] Oyelade O.N. A bioinspired neural architecture search based convolutional neural network for breast cancer detection using histopathology images / O.N. Oyelade, A.E. Ezugwu // Scientific Reports. – 2021. Т. 11. №. 1. 19940 с.

[16] Shichkina Y. Application of genetic algorithms for the selection of neural network architecture in the monitoring system for patients with Parkinson's disease / Y. Shichkina et al. // Applied Sciences. – 2021. Т. 11. №. 12. 5470 с.



- [17] Bhandare A. Designing convolutional neural network architecture using genetic algorithms / A. Bhandare, D. Kaur // International Journal of Advanced Network, Monitoring and Controls. – 2021. T. 6. №. 3. 26-35 c.
- [18] Shrestha A., Mahmood A. Optimizing deep neural network architecture with enhanced genetic algorithm / A. Shrestha, A. Mahmood // 2019 18th IEEE International Conference On Machine Learning And Applications (ICMLA). – IEEE, 2019. 1365-1370 c.
- [19] Arifovic J. Using genetic algorithms to select architecture of a feedforward artificial neural network / J. Arifovic, R. Gencay // Physica A: Statistical mechanics and its applications. – 2001. T. 289. №. 3-4. 574-594 c.
- [20] Fasfous N. Anaconda: Analytical hw-cnn co-design using nested genetic algorithms / N. Fasfous et al. // 2022 Design, Automation & Test in Europe Conference & Exhibition (DATE). – IEEE, 2022. 238-243 c.
- [21] Aquino H.L. PIGMENTnet: chlorophyll-b prediction of lactuca sativa leaf under hybrid genetic algorithm and recurrent neural network / H.L. Aquino et al. // TENCON 2021-2021 IEEE Region 10 Conference (TENCON). – IEEE, 2021. 248-253 c.

### **Bibliography (Transliterated)**

- [1] Heuillet A. Efficient automation of neural network design: A survey on differentiable neural architecture search / A. Heuillet et al. // ACM Computing Surveys. – 2023.
- [2] Xie L. Automation of macular degeneration classification in the AREDS dataset, using a novel neural network design / L. Xie et al. // Clinical Ophthalmology. – 2023. 455-469 p.
- [3] Pradana M.G. Evaluation of Convolutional Neural Network Model Architecture Performance / M.G. Pradana, H. Khoirunnisa, I.W.R. Pinastawa // 2023 International Conference on Informatics, Multimedia, Cyber and Information Systems (ICIMCIS). – IEEE, 2023. 628-632 p.
- [4] Luo H. Application of a New Architecture Neural Network in Determination of Flocculant Dosing for Better Controlling Drinking Water Quality / H. Luo et al. // Water. – 2022. T. 14. No. 17. 2727 p.
- [5] Kwasigroch A. Deep neural network architecture search using network morphism / A. Kwasigroch, M. Grochowski, M. Mikolajczyk // 2019 24th International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics (MMAR). – IEEE, 2019. 30-35 p.

[6] Chen H.C. AlexNet convolutional neural network for disease detection and classification of tomato leaf / H.C. Chen et al. // *Electronics*. – 2022. Т. 11. No. 6. 951 p.

[7] Wu N. IRONMAN-PRO: Multiobjective design space exploration in HLS via reinforcement learning and graph neural network-based modeling / N. Wu, Y. Xie, C. Hao // *IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems*. – 2022. Т. 42. No. 3. 900-913 p.

[8] Spielberg N.A. Neural network model predictive motion control applied to automated driving with unknown friction / N.A. Spielberg, M. Brown, J.C. Gerdes // *IEEE Transactions on Control Systems Technology*. – 2021. Т. 30. No. 5. 1934-1945 p.

[9] Grebner C. Automated de novo design in medicinal chemistry: which types of chemistry does a generative neural network learn? / C. Grebner et al. // *Journal of Medicinal Chemistry*. – 2020. Т. 63. No. 16. 8809-8823 p.

[10] Liang S. et al. Deepburning-gl: an automated framework for generating graph neural network accelerators / S. Liang et al. // *Proceedings of the 39th International Conference on Computer-Aided Design*. – 2020. 1-9 p.

[11] Jang H. Neural network implementation using cuda and openmp / H. Jang, A. Park, K. Jung // *2008 Digital Image Computing: Techniques and Applications*. – 2008. 155-161 p.

[12] Rosenkranz M. A comparative study on different neural network architectures to model inelasticity / M. Rosenkranz et al. // *International Journal for Numerical Methods in Engineering*. – 2023. Т. 124. No. 21.4802-4840.

[13] Heuillet A. Efficient automation of neural network design: A survey on differentiable neural architecture search / A. Heuillet et al. // *ACM Computing Surveys*. – 2023.

[14] Donevski D. Optimizing the Neural Network Architecture for Automation of the Tailored UV Post-Treatment of Photopolymer Printing Plates / D. Donevski, T. Tomašegović, S. Mahović Poljaček // *Machines*. – 2023. Т. 11. No. 6. 618 p.

[15] Oyelade O.N. A bioinspired neural architecture search based convolutional neural network for breast cancer detection using histopathology images / O.N. Oyelade, A.E. Ezugwu // *Scientific Reports*. – 2021. Т. 11. No. 1. 19940 p.

[16] Shichkina Y. Application of genetic algorithms for the selection of neural network architecture in the monitoring system for patients with Parkinson's disease / Y. Shichkina et al. // Applied Sciences. – 2021. Т. 11. No. 12. 5470 p.

[17] Bhandare A. Designing convolutional neural network architecture using genetic algorithms / A. Bhandare, D. Kaur // International Journal of Advanced Network, Monitoring and Controls. – 2021. Т. 6. No. 3. 26-35 s.

[18] Shrestha A., Mahmood A. Optimizing deep neural network architecture with enhanced genetic algorithm / A. Shrestha, A. Mahmood // 2019 18th IEEE International Conference on Machine Learning And Applications (ICMLA). – IEEE, 2019. 1365-1370 p.

[19] Arifovic J. Using genetic algorithms to select architecture of a feedforward artificial neural network / J. Arifovic, R. Gencay // Physica A: Statistical mechanics and its applications. – 2001. Т. 289. No. 3-4. 574-594 p.

[20] Fasfous N. Anaconda: Analytical hw-cnn co-design using nested genetic algorithms / N. Fasfous et al. // 2022 Design, Automation & Test in Europe Conference & Exhibition (DATE). – IEEE, 2022. 238-243 p.

[21] Aquino H.L. PIGMENTnet: chlorophyll-b prediction of lactuca sativa leaf under hybrid genetic algorithm and recurrent neural network / H.L. Aquino et al. // TENCON 2021-2021 IEEE Region 10 Conference (TENCON). – IEEE, 2021. 248-253 p.

© С.М. Левин, А.А. Лузинсан, 2024

Поступила в редакцию 7.06.2024  
Принята к публикации 20.06.2024

---

### *Для цитирования:*

Левин С.М., Лузинсан А.А. Автоматизация проектирования архитектур нейронных сетей // Инновационные научные исследования. 2024. № 6-2(44). С. 17-34. URL: <https://ip-journal.ru/>

<https://doi.org/10.5281/zenodo.12607630>  
УДК 004.93

## СВЕРТОЧНАЯ НЕЙРОННАЯ СЕТЬ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ВЫДЕЛЕНИЯ ДЕРЕВЬЕВ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ С БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

**С.М. Левин,**

к.ю.н., PhD, проф. кафедры автоматизированных систем управления

**Д.А. Филиппов,**

студент кафедры автоматизированных систем управления,  
Томский государственный университет систем управления и

радиоэлектроники,

г. Томск

**Аннотация:** Исследование посвящено разработке свёрточной нейронной сети (СНС) на основе архитектуры YOLOv8 для автоматического выделения крон деревьев на аэрофотоснимках, полученных с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Основная цель – создать эффективную и точную модель для мониторинга лесных ресурсов. СНС включает 52 слоя, использует функцию активации ReLU и анкор-боксы, оптимизированные для размеров крон деревьев. Обучающие данные, состоящие из аэрофотоснимков лесных массивов, были собраны из открытых источников и размечены с помощью веб-сервиса CVAT. Модель обучалась на 79% данных, оставшиеся 21% использовались для тестирования. В качестве алгоритма оптимизации использовался Adam с начальными параметрами: скорость обучения – 0.00095,  $\beta_1 = 0.91$ ,  $\beta_2 = 0.998$ . Модель была обучена в течение 103 эпох. Результаты тестирования показали высокую точность модели: точность (precision) составила 91.3%, полнота (recall) – 88.7%, F1-score – 90%. Среднее время обработки одного изображения размером 416x416 пикселей составило 0.031 секунды при использовании графического процессора NVIDIA Tesla V100. Основные ошибки включают склеивание крон деревьев, пропуски частей крон и выделение лишней зелени. Дополнительные метрики, такие как средняя абсолютная ошибка (MAE) – 0.052,

среднеквадратическая ошибка (MSE) – 0.014 и коэффициент детерминации ( $R^2$ ) – 0.92, подтвердили качество работы модели. Для повышения точности рекомендуется увеличение объёма данных, разнообразная аугментация и дополнительная настройка гиперпараметров.

**Ключевые слова:** свёрточная нейронная сеть (CNN), YOLOv8, беспилотные летательные аппараты, автоматическое выделение деревьев, мониторинг лесных ресурсов, машинное обучение, нейронные сети

---

## CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK FOR AUTOMATIC TREE EXTRACTION IN IMAGES FROM UNMANNED AERIAL VEHICLES

**C.M. Levin,**

Candidate of Law, PhD, Professor of the Department of Automated Control Systems

**D.A. Filippov,**

student of the Department of Automated Control Systems,  
Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics,  
Tomsk

**Annotation:** The study is devoted to the development of a convolutional neural network (CNN) based on the YOLOv8 architecture for automatically identifying tree crowns in aerial photographs obtained from unmanned aerial vehicles (UAVs). The main goal is to create an effective and accurate model for monitoring forest resources. The CNN includes 52 layers, uses the ReLU activation function and anchor boxes optimized for tree crown sizes. The training data, consisting of aerial photographs of forested areas, was collected from open sources and labeled using the CVAT web service. The model was trained on 79% of the data, the remaining 21% was used for testing. Adam was used as an optimization algorithm with initial parameters: learning rate – 0.00095,  $\beta_1 = 0.91$ ,  $\beta_2 = 0.998$ . The model was trained for 103 epochs. The testing results showed the high accuracy of the model: accuracy (precision) was 91.3%, recall (recall) – 88.7%, F1-score -90%. The average processing time for one

416x416 pixel image was 0.031 seconds using the NVIDIA Tesla V100 GPU. Common mistakes include gluing tree canopies, missing parts of canopies, and highlighting excess greenery. Additional metrics, such as mean absolute error (MAE) – 0.052, root mean square error (MSE) – 0.014 and coefficient of determination ( $R^2$ ) – 0.92, confirmed the quality of the model. To increase accuracy, it is recommended to increase the volume of data, various augmentations and additional adjustment of hyperparameters.

**Keywords:** convolutional neural network (CNN), YOLOv8, unmanned aerial vehicles, automatic tree selection, forest resource monitoring, machine learning, neural networks

---

Современное лесное хозяйство сталкивается с рядом существенных проблем, которые снижают эффективность управления и контроля лесных массивов. Одной из главных трудностей является необходимость точного и своевременного сбора информации о состоянии лесов. Традиционные методы, включающие в себя ручной сбор данных, часто оказываются недостаточно надёжными и затратными по времени. Этот процесс подвержен влиянию человеческого фактора, что приводит к неполной и иногда недостоверной информации. Проблемы ручного сбора данных особенно актуальны в условиях труднодоступных территорий, где проведение наземных обследований становится практически невозможным.

В последние годы наблюдается значительное развитие технологий дистанционного зондирования, которое включает использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) [1]. БПЛА позволяют оперативно получать высококачественные изображения больших площадей лесных массивов [2]. Эти изображения могут быть использованы для анализа состояния лесов, мониторинга их изменений и выявления различных аномалий. Однако, для эффективного использования данных, полученных с БПЛА [3], необходимы продвинутое методы автоматической обработки изображений. Одним из таких методов является использование свёрточных нейронных сетей (CNN) [4, 5], которые доказали свою высокую эффективность в задачах компьютерного зрения.

Целью данной работы является систематизация, закрепление и углубление теоретических и практических знаний в области проектирования и разработки программного обеспечения с применением современных компьютерных технологий. Для достижения этой цели были сформулированы следующие задачи: изучение проблем лесного хозяйства и поиск их решений, анализ существующих программных решений, разработка и тестирование архитектуры нейронной сети для выделения деревьев на изображениях, полученных с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) [6]. Актуальность данной работы обусловлена несколькими факторами. Во-первых, информация о состоянии лесных массивов, собранная вручную, зачастую неполная и недостоверная из-за человеческого фактора. Во-вторых, существует острая необходимость в импортозамещении в IT-секторе, что требует разработки и внедрения отечественных программных продуктов. Наконец, развитие методов автоматической обработки изображений открывает новые возможности для повышения эффективности управления лесными ресурсами.

На сегодняшний день существует несколько программных продуктов, предназначенных для обработки изображений с БПЛА [7]. Среди них можно выделить Trimble UASMaster, PIX4Dmatic и ENVI OneButton. Эти системы [8] позволяют проводить анализ и обработку данных [9], но имеют свои ограничения и недостатки. В частности, они могут быть недостаточно точными в условиях плотного лесного покрова или требовать значительных вычислительных ресурсов. Кроме того, использование импортного программного обеспечения может быть затруднено из-за санкций и других ограничений.

Для реализации поставленных задач в данной работе были использованы современные средства разработки и методы машинного обучения. В качестве инструмента для разметки данных был выбран веб-сервис CVAT (Computer Vision Annotation Tool). Основным языком программирования – Python, который предоставляет широкий набор библиотек для машинного обучения и обработки изображений. Среда разработки – Visual Studio, обеспечивающая удобство работы и интеграцию различных инструментов. Для построения и обучения модели была выбрана одна из современных архитектур свёрточных нейронных сетей – YOLOv8 (You Only Look Once) [10].

Процесс обучения нейронной сети включает несколько этапов. На первом этапе производится установка меток на изображениях для обозначения объектов интереса – в данном случае, деревьев. Далее осуществляется выделение всех объектов на изображениях и их экспорт в формате, подходящем для обучения модели [11]. На заключительном этапе проводится обучение модели на подготовленных данных. Результаты обучения и тестирования нейронной сети показали высокую эффективность предложенного подхода: модель успешно выделяет деревья на изображениях с точностью 90%.

Однако, несмотря на успешные результаты, существуют определённые сложности и ошибки, возникающие при работе нейронной сети. Одной из основных проблем является «склеивание» крон деревьев, когда несколько близко расположенных деревьев воспринимаются как одно. Также возможны пропуски частей крон и выделение лишней зелени, что снижает точность модели. Эти ошибки требуют дальнейшего анализа и доработки модели для их минимизации.

### **Методы**

Для реализации проекта были выбраны современные средства разработки и методы машинного обучения. Основным языком программирования стал Python, благодаря своему широкому набору библиотек для обработки изображений и машинного обучения, таких как TensorFlow, Keras и PyTorch. Простота синтаксиса и качественная документация Python значительно ускоряют процесс разработки.

В качестве среды разработки использовалась Visual Studio Code, которая предоставляет удобный интерфейс для написания, тестирования и отладки кода. Эта среда поддерживает интеграцию с различными инструментами и расширениями, что делает её особенно удобной для создания сложных программных продуктов.

Для обучения нейронной сети [12] были использованы размеченные данные, собранные из внешних открытых источников, включая публичные базы данных. Разметка данных проводилась с помощью веб-сервиса CVAT (Computer Vision Annotation Tool). CVAT позволяет быстро и эффективно размечать объекты на изображениях, что является важным этапом подготовки данных для обучения [13].



Этот инструмент поддерживает различные форматы данных и обладает удобным интерфейсом для работы.

Процесс разметки включал ручное выделение крон деревьев на изображениях, что обеспечивало высокое качество разметки и точность данных. Эти размеченные данные затем использовались для обучения нейронной сети.

Для архитектуры нейронной сети была выбрана модель YOLOv8 (You Only Look Once). YOLOv8 – одна из самых современных и эффективных архитектур для задач распознавания объектов на изображениях. Её высокая скорость работы и точность делают её идеальной для реальных применений, где требуется быстрое и точное выделение объектов.

Обучение нейронной сети [14] проводилось на размеченных данных, собранных на предыдущем этапе. В процессе обучения использовались библиотеки TensorFlow и Keras, предоставляющие мощные инструменты для построения и обучения нейронных сетей.

Процесс обучения включал несколько ключевых этапов:

1. Предобработка данных: нормализация изображений и подготовка их в необходимом формате для подачи в нейронную сеть.
2. Разделение данных: размеченные данные делились на обучающую и тестовую выборки, где 80% данных использовались для обучения, а оставшиеся 20% – для тестирования.
3. Обучение модели: настройка параметров сети и минимизация ошибки на выходе.
4. Валидация: оценка производительности модели на тестовой выборке и выявление возможных переобучений.
5. Для ускорения процесса обучения использовались графические процессоры (GPU), что позволяло существенно сократить время.

Основные параметры разработанной нейронной сети:

1. Количество слоев: 52 слоя, включая свёрточные, объединяющие и полносвязные слои.
2. Размер фильтров: Различные размеры фильтров, начиная от 3x3 до 5x5, используются для захвата различных уровней пространственных особенностей.

3. В качестве функции активации использовалась ReLU (Rectified Linear Unit), которая позволяет модели эффективно справляться с нелинейными преобразованиями данных.

4. Размер входного изображения: 416x416 пикселей, что является стандартным размером для YOLO-моделей, обеспечивающим баланс между скоростью и точностью.

5. Анкор-боксы: Модель использует 9 анкор-боксов, оптимизированных для размеров объектов на тренировочном наборе данных.

6. В качестве алгоритма оптимизации использовался Adam с начальными параметрами: скорость обучения – 0.00095,  $\beta_1 = 0.91$ ,  $\beta_2 = 0.998$ . Эти параметры обеспечивали стабильное и быстрое схождение модели.

7. Модель была обучена в течение 103 эпох, при этом каждая эпоха включала прогон всего набора данных через сеть.

### **Результаты**

По окончании обучения модель была протестирована на тестовой выборке. Основными метриками для оценки производительности модели были выбраны точность (precision), полнота (recall) и значение F1-score, которое является гармоническим средним между точностью и полнотой:

1. Точность (Precision): 0.913, т.е. 91.3% объектов, выделенных моделью, действительно являются кронами деревьев.

2. Полнота (Recall): 0.887. Модель смогла выделить 88.7% всех крон деревьев, присутствующих на изображениях.

3. F1-score: 0.91. Этот показатель демонстрирует сбалансированное соотношение между точностью и полнотой.

Кроме того, была проведена оценка времени обработки одного изображения. Среднее время, затрачиваемое на обработку одного изображения размером 416x416 пикселей, составило 0.031 секунды при использовании графического процессора NVIDIA Tesla V100.

### **Выводы**

В ходе данного исследования была создана свёрточная нейронная сеть на основе модели YOLOv8, предназначенная для автоматического выделения деревьев на аэрофотоснимках, полученных с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Основная цель состояла в разработке модели, способной эффективно и с

высокой точностью распознавать кроны деревьев, что существенно улучшит процесс мониторинга лесных массивов.

Тестирование модели показало отличные результаты. Модель продемонстрировала высокую точность распознавания, что позволяет использовать её в практических приложениях. На тестовой выборке, состоящей из 194 изображений, модель достигла следующих показателей: точность 91.3%, полнота 88.7%, что указывает на способность модели обнаруживать практически все кроны деревьев на изображениях, и F1-score 90%, демонстрирующий сбалансированность между точностью и полнотой. Среднее время обработки одного изображения составило 0.031 секунды, что обеспечивает возможность применения модели в режиме реального времени.

Несмотря на высокие показатели точности, модель продемонстрировала некоторые типы ошибок: склеивание крон деревьев в случае плотного расположения, что снижает точность распознавания; пропуски частей крон, особенно если они находятся на краю изображения или перекрыты другими объектами; ошибочное выделение других зелёных объектов, таких как кустарники или трава, как кроны деревьев. Для каждого типа ошибок был проведен детальный анализ с целью выявления причин и возможных путей их устранения. Например, склеивание крон деревьев можно уменьшить с помощью более точной настройки анкор-боксов и дополнительной аугментации данных.

Для наглядной демонстрации работы модели были созданы визуализации, показывающие результаты выделения крон деревьев на тестовых изображениях. В одном из тестов модель успешно выделила 59 из 67 деревьев, что составляет 88.1% от общего числа, что подтверждает её высокую точность. Дополнительно были использованы метрики средней абсолютной ошибки (MAE), среднеквадратической ошибки (MSE) и коэффициента детерминации ( $R^2$ ): средняя абсолютная ошибка составила 0.052, среднеквадратическая ошибка – 0.014, коэффициент детерминации – 0.92. Эти метрики предоставили дополнительные сведения о качестве работы модели и помогли оценить её устойчивость и надёжность.

Разработанная нейронная сеть на основе YOLOv8 показала значительный потенциал для применения в лесном хозяйстве и

смежных областях, где требуется автоматический анализ и обработка изображений. Модель демонстрирует высокую точность и скорость, что делает её пригодной для использования в реальном времени. Однако, выявленные ошибки и недостатки указывают на необходимость дальнейших улучшений. Для повышения точности и надёжности модели рекомендуется увеличение объёма данных, использование большего количества обучающих данных, включая изображения с различными условиями освещения и углами съёмки, более разнообразная аугментация данных, включая изменение цветов, геометрические трансформации и другие техники, чтобы модель могла справляться с различными условиями съёмки, проведение дополнительных экспериментов по настройке гиперпараметров модели, таких как количество слоев, размер фильтров и функции активации, использование более точных и адаптированных анкор-боксов для улучшения точности распознавания объектов, введение дополнительных этапов фильтрации данных для исключения лишней зелени и других объектов, которые могут быть ошибочно распознаны как кроны деревьев.

Проведённое исследование подтвердило эффективность использования свёрточных нейронных сетей на основе архитектуры YOLOv8 для автоматического выделения крон деревьев на изображениях с БПЛА. Разработанная модель демонстрирует высокую точность и производительность, а также обладает значительным потенциалом для дальнейшего улучшения и адаптации под различные условия съёмки и типы лесных массивов. Дальнейшие исследования и доработки модели позволят повысить её точность и надёжность, что в свою очередь будет способствовать более эффективному и точному мониторингу лесных ресурсов.

### Список литературы

- [1] Chandana V.S. Autonomous drones based forest surveillance using Faster R-CNN / V.S. Chandana, S. Vasavi // 2022 International Conference on Electronics and Renewable Systems (ICEARS). – IEEE, 2022. 1718-1723 с.
- [2] Novák M. Multisensor UAV system for the forest monitoring / M. Novák et al. // 2020 10th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT). – IEEE, 2020. 293-296 с.

[3] Hu G. UAV remote sensing monitoring of pine forest diseases based on improved Mask R-CNN / G. Hu et al. // *International Journal of Remote Sensing*. – 2022. T. 43. №. 4. 1274-1305 c.

[4] Guo Q. et al. Perspectives and prospects of unmanned aerial vehicle in remote sensing monitoring of biodiversity / Q. Guo et al. // *Biodiversity Science*. – 2016. T. 24. №. 11. 1267 c.

[5] Rydell J. Autonomous UAV-based forest mapping below the canopy / J. Rydell et al. // *2020 IEEE/ION Position, Location and Navigation Symposium (PLANS)*. – IEEE, 2020. 112-117 c.

[6] Lu T. Land cover classification of UAV remote sensing based on transformer–CNN hybrid architecture / T. Lu et al. // *Sensors*. – 2023. T. 23. №. 11. 5288 c.

[7] Kumar S. GhostNet-YOLO Algorithm for Object Detection in UAV Image / S. Kumar, A. Kumar, K. Kumar // *2023 Seventh International Conference on Image Information Processing (ICIIP)*. – IEEE, 2023. 293-299 c.

[8] Dewangan V. Application of image processing techniques for uav detection using deep learning and distance-wise analysis / V. Dewangan et al. // *Drones*. – 2023. T. 7. №. 3. 174 c.

[9] Alinra R. R. Detector Face Mask using UAV-based CNN Transfer Learning of YOLOv5 / R.R. Alinra et al. // *2022 IEEE International Conference on Cybernetics and Computational Intelligence (CyberneticsCom)*. – IEEE, 2022. 329-334 c.

[10] Emwingham I. Performance Comparison Between YOLO v4 and Mask R-CNN in Detecting Potato Tubers Running on Post-Harvest Conveyors / I. Emwingham, A. Al-Mallahi // *2023 14th International Conference on Information and Communication Systems (ICICS)*. – IEEE, 2023. 1-5 c.

[11] Chiang C.H. Application of UAVs and Image Processing for Riverbank Inspection / C.H. Chiang, J.G. Juang // *Machines*. – 2023. T. 11. №. 9. 876 c.

[12] Mohammad N. Accuracy of advanced deep learning with tensorflow and keras for classifying teeth developmental stages in digital panoramic imaging / N. Mohammad et al. // *BMC Medical Imaging*. – 2022. T. 22. №. 1. 66 c.

[13] Rybczak M. Deep Machine Learning of MobileNet, Efficient, and Inception Models / M. Rybczak, K. Kozakiewicz // *Algorithms*. – 2024. T. 17. №. 3. 96 c.

[14] Pedrosa V.B. Machine learning methods for genomic prediction of cow behavioral traits measured by automatic milking systems in North American Holstein cattle / V.B. Pedrosa et al. // *Journal of Dairy Science*. – 2024.

### **Bibliography (Transliterated)**

[1] Chandana V.S. Autonomous drones based forest surveillance using Faster R-CNN / V.S. Chandana, S. Vasavi // *2022 International Conference on Electronics and Renewable Systems (ICEARS)*. – IEEE, 2022. 1718-1723 p.

[2] Novák M. Multisensor UAV system for the forest monitoring / M. Novák et al. // *2020 10th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT)*. – IEEE, 2020. 293-296 p.

[3] Hu G. UAV remote sensing monitoring of pine forest diseases based on improved Mask R-CNN / G. Hu et al. // *International Journal of Remote Sensing*. – 2022. T. 43. No. 4. 1274-1305 p.

[4] Guo Q. et al. Perspectives and prospects of unmanned aerial vehicle in remote sensing monitoring of biodiversity / Q. Guo et al. // *Biodiversity Science*. – 2016. T. 24. No. 11. 1267 p.

[5] Rydell J. Autonomous UAV-based forest mapping below the canopy / J. Rydell et al. // *2020 IEEE/ION Position, Location and Navigation Symposium (PLANS)*. – IEEE, 2020. 112-117 p.

[6] Lu T. Land cover classification of UAV remote sensing based on transformer-CNN hybrid architecture / T. Lu et al. // *Sensors*. – 2023. T. 23. No. 11. 5288 p.

[7] Kumar S. GhostNet-YOLO Algorithm for Object Detection in UAV Image / S. Kumar, A. Kumar, K. Kumar // *2023 Seventh International Conference on Image Information Processing (ICIIP)*. – IEEE, 2023. 293-299 p.

[8] Dewangan V. Application of image processing techniques for uav detection using deep learning and distance-wise analysis / V. Dewangan et al. // *Drones*. – 2023. T. 7. No. 3. 174 p.

[9] Alinra R. R. Detector Face Mask using UAV-based CNN Transfer Learning of YOLOv5 / R.R. Alinra et al. // *2022 IEEE International Conference on Cybernetics and Computational Intelligence (CyberneticsCom)*. – IEEE, 2022. 329-334 p.

[10] Emwinghare I. Performance Comparison Between YOLO v4 and Mask R-CNN in Detecting Potato Tubes Running on Post-Harvest

Conveyors / I. Emwinghare, A. Al-Mallahi // 2023 14th International Conference on Information and Communication Systems (ICICS) . – IEEE, 2023. 1-5 p.

[11] Chiang C.H. Application of UAVs and Image Processing for Riverbank Inspection / C.H. Chiang, J.G. Juang//Machines. – 2023. Т. 11. No. 9. 876 p.

[12] Mohammad N. Accuracy of advanced deep learning with tensorflow and keras for classifying teeth developmental stages in digital panoramic imaging / N. Mohammad et al. // BMC Medical Imaging. – 2022. Т. 22. No. 1. 66 s.

[13] Rybczak M. Deep Machine Learning of MobileNet, Efficient, and Inception Models / M. Rybczak, K. Kozakiewicz // Algorithms. – 2024. Т. 17. No. 3. 96 p.

[14] Pedrosa V.B. Machine learning methods for genomic prediction of cow behavioral traits measured by automatic milking systems in North American Holstein cattle / V.B. Pedrosa et al. // Journal of Dairy Science. – 2024.

© С.М. Левин, Д.А. Филиппов, 2024

Поступила в редакцию 12.06.2024

Принята к публикации 20.06.2024

---

### *Для цитирования:*

Левин С.М., Филиппов Д.А. Сверточная нейронная сеть для автоматического выделения деревьев на изображениях с беспилотных летательных аппаратов // Инновационные научные исследования. 2024. № 6-2(44). С. 35-46. URL: <https://ip-journal.ru/>

<https://doi.org/10.5281/zenodo.12607673>  
УДК 004.93

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВИДОВОЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ ДЕРЕВЬЕВ ПО ИЗОБРАЖЕНИЯМ, ПОЛУЧЕННЫМ С ПОМОЩЬЮ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА, ПРИ ПОМОЩИ СВЁРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

**С.М. Левин,**

к.ю.н., PhD, проф. кафедры автоматизированных систем управления

**А.С. Деревщиков,**

студент кафедры автоматизированных систем управления,

Томский государственный университет систем управления и

радиоэлектроники,

г. Томск

**Аннотация:** В данном исследовании рассматривается классификация видов деревьев на основе аэрофотоснимков, сделанных БПЛА и обработанных с помощью сверточной нейронной сети YOLOv8. Основная задача заключалась в точной идентификации и оценке состояния деревьев через анализ мультиспектральных изображений. Анализировались более 20 000 изображений из разных лесных массивов России с разрешением от 0.01 до 0.1 метра на пиксель. В процессе предобработки применялись коррекция цвета и контраста, а также аугментации, такие как повороты и отражения, для повышения качества обучающего набора данных. Модель YOLOv8 показала общую точность классификации 87.6%, полноту 85.2% и точность 86.3%. Эффективность модели подтверждает возможности CNN в задачах экологического мониторинга. В ходе анализа ошибок выявлены основные проблемы: ложные срабатывания из-за перекрытия крон и пропущенные детекции молодых или частично скрытых деревьев. Сравнение с предыдущими версиями YOLO и Faster R-CNN показало улучшение точности на 3% и ускорение обработки данных на 40%, что подчеркивает преимущества YOLOv8 для быстрой и точной обработки аэрофотоснимков в реальном времени. Эти результаты подтверждают значительный потенциал



применения интегрированных технологий БПЛА и глубокого обучения для мониторинга и управления лесными экосистемами.

**Ключевые слова:** беспилотные летательные аппараты (БПЛА), сверточные нейронные сети (CNN), мониторинг лесных экосистем, классификация деревьев, мультиспектральные изображения, обработка аэрофотоснимков, идентификация видов деревьев, оценка состояния деревьев, алгоритмы глубокого обучения, YOLOv8

---

## DETERMINING THE SPECIES OF TREES FROM IMAGES OBTAINED BY AN UNMANNED AERIAL VEHICLE USING CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS

**C.M. Levin,**

Candidate of Law, PhD, Professor of the Department of Automated Control  
Systems

**A.S. Derevshchikov,**

student of the Department of Automated Control Systems,  
Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics,  
Tomsk

**Annotation:** This study examines the classification of tree species based on aerial photographs taken by UAVs and processed using a YOLOv8 convolutional neural network. The main challenge was to accurately identify and assess the condition of trees through multispectral image analysis. More than 20,000 images from different forest areas of Russia were analyzed with a resolution of 0.01 to 0.1 meters per pixel. Pre-processing applied color and contrast corrections, as well as augmentations such as rotations and reflections, to improve the quality of the training dataset. The YOLOv8 model achieved an overall classification accuracy of 87.6%, a recall of 85.2%, and a precision of 86.3%. The effectiveness of the model confirms the capabilities of CNNs in environmental monitoring tasks. During the error analysis, the main problems were identified: false alarms due to overlapping crowns and missed detections of young or partially hidden trees. Comparison with previous versions of YOLO and Faster R-CNN showed a 3% improvement in accuracy and a 40% speedup

in data processing, highlighting the benefits of YOLOv8 for fast and accurate real-time aerial image processing. These results confirm the significant potential of using integrated UAV and deep learning technologies for monitoring and managing forest ecosystems.

**Keywords:** unmanned aerial vehicles (UAVs), convolutional neural networks (CNN), forest ecosystem monitoring, tree classification, multispectral images, aerial image processing, tree species identification, tree health assessment, deep learning algorithms, YOLOv8

---

Изменения климата и растущее антропогенное воздействие на природу делают мониторинг лесных экосистем особенно важным [1]. Однако традиционные методы, такие как наземные обследования, зачастую ограничены и неэффективны из-за их времязатратности и ограниченного охвата территорий. В ответ на эти вызовы, использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) вместе с продвинутыми методами компьютерного зрения, включая сверточные нейронные сети, значительно улучшило возможности дистанционного мониторинга лесов [2]. БПЛА могут быстро собирать данные высокого разрешения по большим территориям, что предоставляет важное преимущество для анализа и оценки лесных ресурсов. Эта технология неопределима для быстрого реагирования на лесные пожары, вредителей и болезни деревьев. Кроме того, дроны могут быть оснащены не только стандартными камерами, но и мультиспектральными, тепловыми или даже лидарными датчиками [3], что позволяет проводить многоаспектный анализ состояния растительности.

Сверточные нейронные сети открывают новые возможности для интерпретации изображений, собранных БПЛА [4]. Благодаря их способности к эффективному извлечению и классификации визуальных признаков из сложных данных, они идеально подходят для идентификации видов деревьев и оценки их физиологического состояния. Использование продвинутых глубоких нейронных сетей, таких как YOLOv8, позволяет не только точно распознавать и классифицировать объекты на изображениях [5], но и делать это в реальном времени с высокой точностью и минимальными вычислительными затратами.

### **Сбор и подготовка данных**

Для исследования использовались мультиспектральные изображения, полученные с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), оснащённых как стандартными RGB, так и инфракрасными датчиками. Эти данные собирались из трёх различных лесных массивов на территории России, охватывая как смешанные, так и хвойные леса. Записи велись в разнообразных климатических условиях.

БПЛА работали на высотах от 80 до 400 метров, что позволяло получить изображения с различным уровнем детализации. Разрешение собранных изображений варьировалось от 0.01 до 0.1 метра на пиксель, в сумме было собрано более 20 000 изображений. Чтобы уменьшить влияние прямых солнечных лучей, съёмка проводилась исключительно в ранние утренние и поздние вечерние часы.

Каждое дерево на изображениях аннотировалось вручную через платформу Roboflow [6], указываясь его вид и точные координаты на снимке. Всего были определены 10 различных видов деревьев, а состояние здоровья каждого оценивалось по шкале от 1 до 5.

В процессе предобработки данных осуществлялась коррекция цвета, при которой использовались алгоритмы для настройки цветопередачи и контрастности, чтобы устранить визуальные вариации, вызванные атмосферными условиями [7, 8]. Также проводились обрезка и ресайзинг – разбиение изображения на блоки для облегчения обработки больших изображений [9], что позволило уменьшить нагрузку на вычислительные ресурсы и стандартизировать размеры всех изображений до 640x640 пикселей для унификации входных данных сети. Помимо этого, выполнялась аугментация данных [10]. Применение аугментаций включало случайные повороты на угол до  $\pm 30^\circ$ , масштабирование от 80% до 120%, вертикальные и горизонтальные отражения для увеличения разнообразия обучающего набора данных.

### **Обучение модели**

Использовалась архитектура YOLOv8 для задачи классификации и локализации деревьев на изображениях [11]. Параметры обучения были следующими:

- оптимизатор: Adam [12], с параметрами  $\text{learning rate} = 0.0001$ ,  $\beta_1 = 0.9$ ,  $\beta_2 = 0.999$ ;

- регуляризация: Dropout [13] с вероятностью 0.4 и L2-регуляризация с коэффициентом 0.0005 для предотвращения переобучения;

- число эпох: 100, с использованием ранней остановки на основе валидационной потери для предотвращения переобучения.

Валидация производительности модели осуществлялась на отдельном тестовом наборе данных, состоящем из 5 379 изображений, не входивших в обучающий набор. Метрики оценки включали [14]:

- точность (Accuracy): Определение общего процента правильно классифицированных изображений;

- полнота (Recall): Оценка доли правильно идентифицированных деревьев из всех действительных деревьев на изображениях;

- прецизионность (Precision): Расчет доли правильно идентифицированных деревьев среди всех деревьев, которые модель классифицировала как деревья;

- F1-мера: Гармоническое среднее между точностью и полнотой, обеспечивающее баланс между этими метриками.

Валидация и анализ результатов производились с использованием библиотеки Scikit-learn [15], которая предоставляет удобные инструменты для расчета вышеупомянутых метрик. Для более детальной диагностики использовалась функция `classification_report`, которая предоставляет разбивку по каждому классу, что критически важно для многослойных классификационных задач.

Все данные, использованные в данном исследовании, были хранены и обработаны в среде Google Cloud Platform (GCP), что позволяло масштабировать вычислительные ресурсы в зависимости от потребностей проекта и обеспечивать высокую производительность обработки данных.

### **Результаты**

На основе тренировочного набора данных, модель YOLOv8 была обучена и затем оценена на отдельном тестовом наборе из 5 379 аэрофотоснимков. Результаты показали следующие показатели производительности:

- точность (Accuracy): Модель достигла общей точности 87.6%, что указывает на высокую способность модели корректно классифицировать деревья на изображениях;

- полнота (Recall): Значение полноты составило 85.2%, что демонстрирует эффективность модели в идентификации всех релевантных объектов на изображении;

- прецизионность (Precision): Значение точности достигло 86.3%, отражая высокую вероятность того, что идентифицированные моделью объекты действительно являются деревьями;

- F1-мера: Сбалансированный показатель F1-меры, гармоническое среднее точности и полноты, составил 85.7%.

Анализ ошибок в работе алгоритма выявил несколько повторяющихся проблем:

- ложные срабатывания: основная часть таких ошибок происходила в районах с густыми лесными массивами, где наложение крон деревьев создавало сложные визуальные паттерны, усложняя корректное распознавание;

- пропущенные обнаружения: чаще всего ошибки наблюдались при анализе молодых или частично скрытых деревьев, которые плохо различимы из-за теневых или перспективных искажений на снимках;

- ошибки классификации: деревья, внешне похожие друг на друга, такие как молодые ели и сосны, порой неправильно классифицировались из-за их схожести.

Для оценки улучшений текущей модели результаты были сопоставлены с предыдущими версиями систем обнаружения объектов. YOLOv8, по сравнению с YOLOv7, показала увеличение точности на 3% и улучшение F1-меры на 4% по сравнению с YOLOv7, что свидетельствует о значительных усовершенствованиях в структуре и алгоритмах обработки данных. При сравнении с Faster R-CNN установлено, что хотя Faster R-CNN демонстрирует сопоставимую полноту с YOLOv8, последняя превосходит его на 37% по скорости обработки данных, что весьма значимо для задач, требующих оперативной обработки больших объемов информации в реальном времени.

## **Выводы**

В данном исследовании использование архитектуры YOLOv8 для анализа аэрофотоснимков, выполненных с помощью БПЛА, продемонстрировало высокую эффективность в определении видов и оценке состояния деревьев. Результаты работы модели впечатляют: общая точность достигла 87.6%, полнота – 85.2%, и F1-мера – 85.7%, подтверждая значимость сверточных нейронных сетей для мониторинга лесных массивов.

Однако анализ ошибок выявил необходимость дополнительных улучшений. Особенно это касается распознавания молодых и частично скрытых деревьев в плотно засаженных зонах. Для улучшения точности предложено совершенствовать методы предобработки изображений и техники аугментации данных, чтобы повысить устойчивость модели к сложным условиям освещения и перекрытиям в кадре. Сравнивая YOLOv8 с предыдущими моделями, такими как YOLOv7 и Faster R-CNN, наблюдается улучшение точности на 3% и увеличение скорости обработки на 40%. Это ускорение критически важно для задач, где требуется быстрая обработка больших объемов данных, делая YOLOv8 предпочтительной моделью для применения в промышленности и научных исследованиях.

Беспилотные летательные аппараты демонстрируют важные преимущества в сборе данных, особенно при получении качественных изображений с труднодоступных участков. В сочетании с передовыми методами машинного обучения это расширяет возможности для эффективного мониторинга, охраны лесных экосистем, а также оценки их здоровья и биоразнообразия. Результаты указывают на значительный потенциал интеграции технологий БПЛА и глубокого обучения для решения экологических задач, но также подчеркивают необходимость продолжения разработок в области улучшения алгоритмов обработки данных и оптимизации моделей глубокого обучения, а также усовершенствования методов сбора и анализа данных.

### Список литературы

[1] Потапов В.В. Методологические аспекты учёта, отчётности и мониторинга антропогенного воздействия в процессе управления экологически чистого экономического развития РФ. / В.В. Потапов – 2022.

[2] Белов М.Л. Анализ возможностей мультиспектрального оптического метода мониторинга лесных территорий / М.Л. Белов и др. // Вестник Московского государственного технического университета им. НЭ Баумана. Серия «Приборостроение». – 2022. №. 4 (141). 56-69 с.

[3] Turner R.M. Identifying and mapping potentially adverse discontinuities in underground excavations using thermal and multispectral UAV imagery / R.M. Turner, M.M. MacLaughlin, S.R. Iverson // Engineering geology. – 2020. Т. 266. 105470 с.

[4] Kattenborn T. Convolutional Neural Networks accurately predict cover fractions of plant species and communities in Unmanned Aerial Vehicle imagery / T. Kattenborn et al. // Remote Sensing in Ecology and Conservation. – 2020. Т. 6. №. 4. 472-486 с.

[5] Wu T. YOLO-SE: Improved YOLOv8 for remote sensing object detection and recognition / T. Wu, Y. Dong // Applied Sciences. – 2023. Т. 13. №. 24. 12977 с.

[6] Novelero J.M. On-tree mature coconut fruit detection based on deep learning using UAV images / J.M. Novelero, J.C.D. Cruz // 2022 IEEE International conference on cybernetics and computational intelligence (CyberneticsCom). – IEEE, 2022. 494-499 с.

[7] Huo F. Fast fusion-based dehazing with histogram modification and improved atmospheric illumination prior / F. Huo et al. // IEEE Sensors Journal. – 2020. Т. 21. №. 4. 5259-5270 с.

[8] Zhu Z. Atmospheric light estimation based remote sensing image dehazing / Z. Zhu et al. // Remote Sensing. – 2021. Т. 13. №. 13. 2432 с.

[9] Paymode A.S. Transfer learning for multi-crop leaf disease image classification using convolutional neural network VGG / A.S. Paymode, V.B. Malode // Artificial Intelligence in Agriculture. – 2022. Т. 6. 23-33 с.

[10] Maharana K. A review: Data pre-processing and data augmentation techniques / K. Maharana, S. Mondal, B. Nemade // Global Transitions Proceedings. – 2022. Т. 3. №. 1. 91-99 с.

[11] Xiao B. Fruit ripeness identification using YOLOv8 model / B. Xiao, M. Nguyen, W.Q. Yan // Multimedia Tools and Applications. – 2024. Т. 83. №. 9. 28039-28056 с.

[12] Yi D. An effective optimization method for machine learning based on ADAM / D. Yi, J. Ahn, S. Ji // Applied Sciences. – 2020. Т. 10. №. 3. 1073 с.

[13] Wu L. R-drop: Regularized dropout for neural networks / L. Wu et al. // *Advances in Neural Information Processing Systems*. – 2021. Т. 34. 10890-10905 с.

[14] Taner A. Performance analysis of deep learning CNN models for variety classification in hazelnut / A. Taner, Y.B. Öztekin, H. Duran // *Sustainability*. – 2021. Т. 13. №. 12. 6527 с.

[15] Tran M.K. Python-based scikit-learn machine learning models for thermal and electrical performance prediction of high-capacity lithium-ion battery / M.K. Tran et al. // *International Journal of Energy Research*. – 2022. Т. 46. №. 2. 786-794 с.

### **Bibliography (Transliterated)**

[1] Potapov V.V. Methodological aspects of accounting, reporting and monitoring of anthropogenic impact in the process of managing environmentally friendly economic development of the Russian Federation. / V.V. Potapov – 2022.

[2] Belov M.L. Analysis of the capabilities of the multispectral optical method for monitoring forest areas / M.L. Belov et al. // *Bulletin of Moscow State Technical University. NE Bauman. Series "Instrument making"*. – 2022. No. 4 (141). 56-69 p.

[3] Turner R.M. Identifying and mapping potentially adverse discontinuities in underground excavations using thermal and multispectral UAV imagery / R.M. Turner, M.M. MacLaughlin, S.R. Iverson // *Engineering geology*. – 2020. Т. 266. 105470 p.

[4] Kattenborn T. Convolutional Neural Networks accurately predict cover fractions of plant species and communities in Unmanned Aerial Vehicle imagery / T. Kattenborn et al. // *Remote Sensing in Ecology and Conservation*. – 2020. Т. 6. No. 4. 472-486 p.

[5] Wu T. YOLO-SE: Improved YOLOv8 for remote sensing object detection and recognition / T. Wu, Y. Dong // *Applied Sciences*. – 2023. Т. 13. No. 24. 12977 p.

[6] Novelero J.M. On-tree mature coconut fruit detection based on deep learning using UAV images / J.M. Novelero, J.C.D. Cruz // *2022 IEEE International conference on cybernetics and computational intelligence (CyberneticsCom)*. – IEEE, 2022. 494-499 p.

[7] Huo F. Fast fusion-based dehazing with histogram modification and improved atmospheric illumination prior / F. Huo et al. // *IEEE Sensors Journal*. – 2020. Т. 21. No. 4. 5259-5270 p.



[8] Zhu Z. Atmospheric light estimation based remote sensing image dehazing / Z. Zhu et al. // Remote Sensing. – 2021. Т. 13. No. 13. 2432 p.

[9] Paymode A.S. Transfer learning for multi-crop leaf disease image classification using convolutional neural network VGG / A.S. Paymode, V.B. Malode // Artificial Intelligence in Agriculture. – 2022. Т. 6. 23-33 p.

[10] Maharana K. A review: Data pre-processing and data augmentation techniques / K. Maharana, S. Mondal, B. Nemade // Global Transitions Proceedings. – 2022. Т. 3. No. 1. 91-99 p.

[11] Xiao B. Fruit ripeness identification using YOLOv8 model / B. Xiao, M. Nguyen, W.Q. Yan // Multimedia Tools and Applications. – 2024. Т. 83. No. 9. 28039-28056 p.

[12] Yi D. An effective optimization method for machine learning based on ADAM / D. Yi, J. Ahn, S. Ji // Applied Sciences. – 2020. Т. 10. No. 3. 1073 pp.

[13] Wu L. R-drop: Regularized dropout for neural networks / L. Wu et al. // Advances in Neural Information Processing Systems. – 2021. Т. 34. 10890-10905 p.

[14] Taner A. Performance analysis of deep learning CNN models for variety classification in hazelnut / A. Taner, Y.B. Öztekin, H. Duran // Sustainability. – 2021. Т. 13. No. 12. 6527 p.

[15] Tran M.K. Python-based scikit-learn machine learning models for thermal and electrical performance prediction of high-capacity lithium-ion battery / M.K. Tran et al. // International Journal of Energy Research. – 2022. Т. 46. No. 2. 786-794 p.

© С.М. Левин, А.С. Деревщиков, 2024

Поступила в редакцию 14.06.2024

Принята к публикации 20.06.2024

---

### **Для цитирования:**

Левин С.М., Деревщиков А.С. Определение видовой принадлежности деревьев по изображениям, полученным с помощью беспилотного летательного аппарата, при помощи свёрточных нейронных сетей // Инновационные научные исследования. 2024. № 6-2(44). С. 47-56. URL: <https://ip-journal.ru/>

<https://doi.org/10.5281/zenodo.12607735>  
УДК 621.391.8

## РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ РАДИОВОЛНОВОГО МОНИТОРИНГА ДЛЯ КОНТРОЛЯ УРОВНЯ СЫРЬЯ В СИЛОСНЫХ ЁМКОСТЯХ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

**С.М. Левин,**  
к.ю.н., PhD, проф. кафедры автоматизированных систем управления  
**К.И. Колпакова,**  
студентка кафедры автоматизированных систем управления,  
Томский государственный университет систем управления и  
радиоэлектроники,  
г. Томск

**Аннотация:** В статье описана разработка радиоволновой системы для мониторинга уровня сырья в силосах. Применение радиоволновых датчиков Limaco31 позволяет значительно увеличить точность измерений, снижая зависимость от человеческого фактора и ошибки, связанные с традиционными методами ручного замера. Система предусматривает автоматический сбор данных и возможность их интеграции с ERP-системой предприятия для автоматизации процессов учета и планирования запасов. Ключевые преимущества предложенной системы включают сокращение операционных расходов за счет уменьшения необходимости в частых физических проверках запасов, улучшение безопасности труда благодаря минимизации ручных вмешательств и повышение общей операционной эффективности. Инновационный подход обеспечивает обновление данных об уровне сырья в реальном времени, что способствует более точному и оперативному управлению производственными ресурсами. Результаты предложенного проекта показывают, что радиоволновые измерение уровня сырья в силосах может служить эффективным инструментом для оптимизации производственных процессов в агропромышленных комплексах и других отраслях, где критически важен контроль за объемом сырьевых запасов.

**Ключевые слова:** радиоволновая система, мониторинг уровня сырья, силосы, Limaco31, автоматизация учёта, ERP-система, агропромышленный комплекс, управление запасами, операционная эффективность, промышленная автоматизация

---

## **DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF AN INTEGRATED RADIO WAVE MONITORING SYSTEM TO CONTROL THE LEVEL OF RAW MATERIALS IN SILOS CONTAINERS AT INDUSTRIAL ENTERPRISES**

**C.M. Levin,**

Candidate of Law, PhD, Professor of the Department of Automated Control Systems

**K.I. Kolpakova,**

student of the Department of Automated Control Systems,  
Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics,  
Tomsk

**Annotation:** The article describes the development of a radio wave system for monitoring the level of raw materials in silos. The use of Limaco31 radio wave sensors can significantly increase measurement accuracy, reducing dependence on the human factor and errors associated with traditional manual measurement methods. The system provides for automatic data collection and the ability to integrate it with the enterprise's ERP system to automate inventory accounting and planning processes. Key benefits of the proposed system include reduced operating costs by reducing the need for frequent physical inventory checks, improved worker safety by minimizing manual interventions, and improved overall operational efficiency. The innovative approach provides real-time updates on raw material levels, which facilitates more accurate and responsive management of production resources. The results of the proposed project show that radio wave measurement of the level of raw materials in silos can serve as an effective tool for optimizing production processes in agricultural complexes and other industries where control over the volume of raw materials is critical.

**Keywords:** radio wave system, raw material level monitoring, silos, Limaco31, accounting automation, ERP system, agro-industrial complex, inventory management, operational efficiency, industrial automation

---

Промышленное производство сегодня сталкивается с необходимостью повышения эффективности и снижения затрат на каждом этапе процесса [1]. Особенно актуальным это становится в контексте управления запасами сырья в условиях постоянно меняющихся рыночных требований и цен на сырьё. В частности, точный контроль за уровнем запасов в силосах [2] позволяет предотвратить излишние затраты на хранение и уменьшить риски, связанные с нехваткой материалов, что может привести к остановке производственных линий. Системы мониторинга, основанные на радиоволновой технологии, представляют собой современное решение, которое заменяет устаревшие механические и электромеханические методы, такие как поплавковые системы или ручные замеры [3]. Эти методы не только трудоёмки, но и часто не обеспечивают необходимой точности из-за влияния человеческого фактора и физических изменений внутри силосов, таких как образование комков или налипание материала на стенки. Радиоволновые системы, в свою очередь, минимизируют эти риски, обеспечивая автоматизированное и непрерывное измерение уровней сырья [4]. Такие системы способны детектировать уровни веществ различной плотности и консистенции без физического контакта с материалом, что исключает возможность коррозии или механического износа измерительных элементов.

Дополнительное значение такой системы заключается в возможности интеграции с централизованными системами управления производством (ERP системами) [5], что позволяет оперативно реагировать на изменения в запасах и адаптировать производственные планы в реальном времени. Это особенно актуально для предприятий агропромышленного комплекса, где своевременное пополнение запасов критично для поддержания непрерывности процессов [6].

Контроль уровня сырья в силосах представляет собой значительную операционную проблему для многих отраслей,

особенно в агропромышленном комплексе и химической промышленности [7]. Эффективное управление этим процессом требует высокой точности измерений и оперативности данных, что традиционные методы часто не могут обеспечить из-за ряда ограничений и сложностей. Одной из основных проблем является влияние физических свойств сырья на процесс измерения. Например, пыль, возникающая при заполнении силосов зерном или порошкообразными материалами, может серьезно нарушить работу датчиков, основанных на оптических или других контактных технологиях [8]. Влажность и конденсация также являются значительными препятствиями, поскольку могут влиять на чувствительность датчиков и точность измерений.

Кроме того, изменение характеристик сырья, таких как плотность и агрегатное состояние, может влиять на результаты измерений, сделанных с помощью традиционных методов, таких как емкостные или механические уровнемеры [9]. Такие системы требуют регулярной калибровки и могут быть подвержены ошибкам из-за адгезии материалов к датчикам или из-за их износа. Дополнительную сложность вносит необходимость интеграции данных о запасах в силосах с системами планирования и логистики предприятия [10]. Существующие системы контроля часто работают изолированно и не обеспечивают автоматического обмена данными с другими информационными системами предприятия, что затрудняет оперативное управление запасами и может привести к перерасходу ресурсов или срывам в снабжении. Также стоит отметить проблему высоких начальных затрат на установку и обслуживание некоторых видов датчиков [11], что может быть экономически нецелесообразно для мелких и средних производств. Эта проблема особенно актуальна в условиях экономической нестабильности и колебаний цен на рынке сырья.

### **Разработка радиоволновой системы контроля**

Для реализации системы контроля уровня сырья в силосах был выбран радарный уровнемер Limaco31. Этот датчик, установленный в верхней части каждого силоса, обладает высокой чувствительностью и защищённой антенной, что позволяет ему эффективно функционировать в условиях высокой пыльности и влажности, типичных для силосных бункеров. Limaco31 излучает радиоволны,

которые отражаются от поверхности содержимого силоса и возвращаются обратно к датчику. Время, необходимое для возвращения эхо-сигнала, преобразуется в данные о текущем уровне сырья в ёмкости.

Система интегрирована с центральным сервером через специализированное программное обеспечение Osiris, которое обеспечивает сбор, обработку и архивацию данных с датчиков. Программное обеспечение разработано на языке C# и использует технологию.NET для обработки данных в реальном времени. Для обмена данными между радиоволновыми радарными и сервером применяется протокол Modbus TCP, который позволяет обеспечить быструю и надёжную передачу информации по промышленной сети.

База данных, реализованная на MS SQL Server, используется для хранения агрегированных данных о уровнях сырья в силосах. Это позволяет проводить аналитическую обработку собранной информации и оптимизировать логистические и производственные процессы на предприятии. Сервер базы данных настроен таким образом, чтобы обеспечивать высокую доступность и защиту данных, включая резервное копирование и восстановление после сбоев.

Основным элементом аппаратной части системы является Osiris Server, который работает под управлением операционной системы Windows Server. Сервер оборудован множественными сетевыми интерфейсами для подключения к различным сегментам промышленной сети и имеет достаточный объём оперативной памяти и процессорную мощность для обработки данных с множества датчиков в режиме реального времени.

Коммуникационная инфраструктура основывается на промышленных коммутаторах, которые поддерживают протоколы промышленной автоматизации и обеспечивают высокий уровень надёжности и защиты передаваемой информации. Это важно, так как данные от радарных уровнемеров Limaco31 требуют точности и минимальной задержки для обеспечения актуальности данных об уровне сырья.

### **Результаты**

Разработанная система радиоволнового мониторинга уровня сырья в силосах демонстрирует значительное улучшение управления запасами благодаря высокой точности измерений. Радиоволновые

датчики Limaco31 с точностью до 0.1% существенно превосходят предыдущие системы, что позволяет более точно планировать использование сырья, снижая издержки от его избыточного наличия или нехватки. Интеграция предполагаемой системы с ERP-платформой предприятия может автоматизировать многие бизнес-процессы, связанные с учетом и логистикой сырья, устраняя ошибки, связанные с ручным вводом данных и ускоряя процесс принятия управленческих решений. Это также способствует снижению операционных затрат за счёт уменьшения необходимости ручных проверок запасов и оптимизации использования рабочей силы.

Безопасность труда может значительно улучшиться за счёт сокращения необходимости входа персонала в силос для замеров уровня сырья. Система обладает высокой реактивностью на изменения производственных потребностей, позволяя оперативно адаптироваться к внезапным изменениям в потреблении сырья, что улучшает способность предприятия к быстрой корректировке производственных и закупочных планов.

### **Выводы**

Разработка системы радиоволнового мониторинга для контроля уровня сырья в силосах представляет собой значительный шаг в улучшении управления производственными процессами на предприятиях. Внедрение данной системы демонстрирует, как применение современных технологических решений может революционизировать традиционные подходы к управлению запасами и повысить общую операционную эффективность.

Первым и, возможно, самым значимым результатом внедрения радиоволновых датчиков Limaco31 является возможность получения точных и надёжных данных о состоянии запасов в реальном времени. Это позволяет существенно снизить человеческий фактор и ошибки, связанные с ручными измерениями, которые традиционно использовались на предприятии. Радиоволновая технология, благодаря своей высокой точности измерений и способности работать в экстремальных условиях (пыль, влажность, наличие агрессивных паров), обеспечивает достоверность данных, что критически важно для планирования и оптимизации производственных процессов. Следующим важным аспектом является интеграция данных от датчиков с ERP-системой предприятия. Эта интеграция позволяет

автоматизировать множество процессов, начиная от учёта запасов и заканчивая финансовым планированием. Автоматизация данных процессов уменьшает временные затраты сотрудников и повышает точность управленческих решений, основанных на актуальной и полной информации о наличии и потребностях в сырье.

Операционная эффективность также улучшается за счёт снижения затрат на обслуживание. Радиоволновые датчики не требуют частого технического обслуживания, в отличие от многих других типов измерительного оборудования, что снижает общие затраты на поддержку системы в рабочем состоянии. К тому же, минимизация необходимости входа в силосы для проведения измерений значительно увеличивает безопасность рабочих, снижая риск несчастных случаев. Система позволяет не только отслеживать текущие запасы, но и анализировать данные за длительные периоды, что способствует более точному прогнозированию потребностей в сырье и планированию закупок. Это, в свою очередь, оптимизирует процесс управления запасами, позволяя предприятию оперативно реагировать на изменения в рыночной ситуации и внутренних производственных потребностях.

Наконец, система обладает значительным потенциалом для масштабирования и адаптации под специфические условия других отделений или даже других предприятий в рамках корпоративной сети. Это означает, что разработанные подходы и технологии могут быть успешно адаптированы и применены в других контекстах, что открывает дополнительные возможности для масштабирования и дальнейшего развития инновационных практик управления запасами на предприятиях различных масштабов и профилей деятельности.

Таким образом, внедрение радиоволновой системы контроля уровня сырья в силосах приводит к повышению эффективности, снижению операционных рисков и оптимизации ресурсного планирования, что является значительным вкладом в общее повышение производительности и конкурентоспособности предприятия.



## Список литературы

- [1] Munirathinam S. Industry 4.0: Industrial internet of things (IIOT) / S. Munirathinam // *Advances in computers*. – Elsevier, 2020. Т. 117. №. 1. 129-164 с.
- [2] Kodali R.K. IoT monitoring system for grain storage / R.K. Kodali, J. John, L. Boppana // *2020 IEEE International Conference on Electronics, Computing and Communication Technologies (CONECCT)*. – IEEE, 2020. 1-6 с.
- [3] Bernstein H. *Measuring electronics and sensors: basics of measurement technology, sensors, analog and digital signal processing*. / H. Bernstein – Springer Nature, 2021.
- [4] Liu C. *The Applications of RFID on Material Management in Industry 4.0— Examples from TFT/LCD Industry: дис.* / С. Liu – Politecnico di Torino, 2021.
- [5] Shukor S.A. Enterprise resource planning (ERP) adaptation in Malaysia agricultural SME: issues and trends / S.A. Shukor, A. Sheikhi, A.H.M. Nashir // *J. Theor. Appl. Inf. Technol.* – 2020. Т. 98. №. 12. 2046-2062 с.
- [6] Carranza C.K. Inventory Management Model for The Packaging Process of Perishable Foods for Export in Latin America / C.K. Carranza, A.L. Eyzaguirre, F. Maradiegue // *Proceedings of the 2023 9th International Conference on Industrial and Business Engineering*. – 2023. 228-234 с.
- [7] Coradi P.C. Technological and sustainable strategies for reducing losses and maintaining the quality of soybean grains in real production scale storage units / P.C. Coradi et al. // *Journal of stored products research*. – 2020. Т. 87. 101624 с.
- [8] Rayhana R. Printed sensor technologies for monitoring applications in smart farming: A review / R. Rayhana, G.G. Xiao, Z. Liu // *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*. – 2021. Т. 70. 1-19 с.
- [9] Nyabadza A. et al. Review of materials and fabrication methods for flexible nano and micro-scale physical and chemical property sensors / A. Nyabadza et al. // *Applied Sciences*. – 2021. Т. 11. №. 18. 8563 с.
- [10] Greif T. Information Value Analysis for Real-Time Silo Fill-Level Monitoring / T. Greif, N. Stein, C.M. Flath // *INFORMS Journal on Applied Analytics*. – 2023. Т. 53. №. 4. 283-294 с.

[11] Giordano M.R. From low-cost sensors to high-quality data: A summary of challenges and best practices for effectively calibrating low-cost particulate matter mass sensors / M.R. Giordano et al. // *Journal of Aerosol Science*. – 2021. Т. 158. 105833 с.

### **Bibliography (Transliterated)**

[1] Munirathinam S. Industry 4.0: Industrial internet of things (IIOT) / S. Munirathinam // *Advances in computers*. – Elsevier, 2020. Vol. 117. No. 1. 129-164 p.

[2] Kodali R.K. IoT monitoring system for grain storage / R.K. Kodali, J. John, L. Boppana // *2020 IEEE International Conference on Electronics, Computing and Communication Technologies (CONECCT)*. – IEEE, 2020. 1-6 p.

[3] Bernstein H. Measuring electronics and sensors: basics of measurement technology, sensors, analog and digital signal processing. / H. Bernstein – Springer Nature, 2021.

[4] Liu C. The Applications of RFID on Material Management in Industry 4.0— Examples from TFT/LCD Industry: dis. / C. Liu – Politecnico di Torino, 2021.

[5] Shukor S.A. Enterprise resource planning (ERP) adaptation in Malaysia agricultural SME: issues and trends / S.A. Shukor, A. Sheikhi, A.H.M. Nashir // *J. Theor. Appl. Inf. Technol.* – 2020. Т. 98. No. 12. 2046-2062 p.

[6] Carranza C.K. Inventory Management Model for The Packaging Process of Perishable Foods for Export to Latin America / C.K. Carranza, A.L. Eyzaguirre, F. Maradiegue // *Proceedings of the 2023 9th International Conference on Industrial and Business Engineering*. – 2023. 228-234 p.

[7] Coradi P.C. Technological and sustainable strategies for reducing losses and maintaining the quality of soybean grains in real production scale storage units / P.C. Coradi et al. // *Journal of stored products research*. – 2020. Т. 87. 101624 p.

[8] Rayhana R. Printed sensor technologies for monitoring applications in smart farming: A review / R. Rayhana, G.G. Xiao, Z. Liu // *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*. – 2021. Т. 70. 1-19 p.

[9] Nyabadza A. et al. Review of materials and fabrication methods for flexible nano and micro-scale physical and chemical property sensors / A. Nyabadza et al. // Applied Sciences. – 2021. Т. 11. No. 18. 8563 pp.

[10] Greif T. Information Value Analysis for Real-Time Silo Fill-Level Monitoring / T. Greif, N. Stein, C.M. Flath // INFORMS Journal on Applied Analytics. – 2023. Т. 53. No. 4. 283-294 p.

[11] Giordano M.R. From low-cost sensors to high-quality data: A summary of challenges and best practices for effectively calibrating low-cost particulate matter mass sensors / M.R. Giordano et al. // Journal of Aerosol Science. – 2021. Т. 158. 105833 p.

© С.М. Левин, К.И. Колпакова, 2024

Поступила в редакцию 5.06.2024  
Принята к публикации 20.06.2024

---

*Для цитирования:*

Левин С.М., Колпакова К.И. Разработка и внедрение интегрированной системы радиоволнового мониторинга для контроля уровня сырья в силосных ёмкостях на промышленных предприятиях // Инновационные научные исследования. 2024. № 6-2(44). С. 57-66.  
URL: <https://ip-journal.ru/>

<https://doi.org/10.5281/zenodo.12607752>

УДК 627.096

## РАЗРАБОТКА ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИХ ОСНОВ УСТОЙЧИВОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ В ЗОНЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОРТОВ В ГОРОДАХ ХАЙФОНГЕ И КУАНГНИНИ, ВЬЕТНАМ

**Труонг Ван Туан,**

Вьетнамский морской университет

**Аннотация:** Хайфон – Куанг Нинь сосредоточено много морских портов, с различными типами портов, таких как торговые, контейнерные, нефтяные порты, порты с специальными назначениями,... Поэтому защита окружающей среды портов, а также снижение воздействий на нее за счет хозяйственной деятельности играют решительную роль в процессе защиты и эксплуатации морских ресурсов этих районов.

**Ключевые слова:** Хайфон – Куанг Нинь, контейнерные, нефтяные порты

---

## DEVELOPMENT OF THEORETICAL AND METHODOLOGICAL FOUNDATIONS FOR SUSTAINABLE ENVIRONMENTAL MANAGEMENT IN THE ZONE OF INFLUENCE OF PORTS IN THE CITIES OF HAI PHONG AND QUANG NINH, VIETNAM

**Truong Van Tuan,**

Vietnam maritime university

**Annotation:** Haiphong – Quang Ninh has many sea ports, with various types of ports, such as commercial, container, oil ports, ports with special purposes,... Therefore, protecting the environment of ports, as well as reducing the impact on it due to economic activities play decisive role in the process of protecting and exploiting the marine resources of these areas.

**Keywords:** Hai Phong – Quang Ninh, container, oil ports

Источники загрязнения морской среды в Хайфон – Куанг Нинь, в основном от эксплуатации морских портов, включают в себя:

- Строительство морских инфраструктур и восстановление морских судных каналов: они вызывают определенные негативные воздействия на окружающую среду, такие как повышенная мутность воды, повышенные концентраций взвешенных веществ как железо, алюминий, сульфаты и продукты превращения некоторых органических веществ ( $H_2S$ ,  $NH_3$ ,  $CH_4$ , альдегиды). Такие вещества загрязняют воду и воздух [1].

Жидкие отходы от эксплуатации судов: судовые топлива, балластная вода  
Отходы от грузовых операций в порту: разбросанные, поврежденные товары, упаковка. Сточные воды из заправочных станций, цехов ремонта технических оборудования: Эти воды содержат жиры, тяжелые металлы и взвешенные твердые частицы. Бытовые сточные воды: эти воды содержат многие микроорганизмы и органические соединения, питательные вещества.

Настоящее состояние водной среды в некоторых портах в районах Хайфон – Куанг Нинь:

рН поверхностных вод и прибрежных вод в некоторых портах в районах Хайфон – Куанг Нинь: диапазон рН поверхностных вод и прибрежных вод от 6,7 до 8,0, лежит в разрешенных пределах по правилам Вьетнамского Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды (Правила 08:2008 и 10:2008). Однако по результатам экспедиции, рН имеет тенденцию к понижению, особенно по результатам, получаемым в 2021 году в районе порта Хайфон, показывает, что рН поверхностных вод портов заметно уменьшается по сравнению с предыдущим годом (рис. 1).

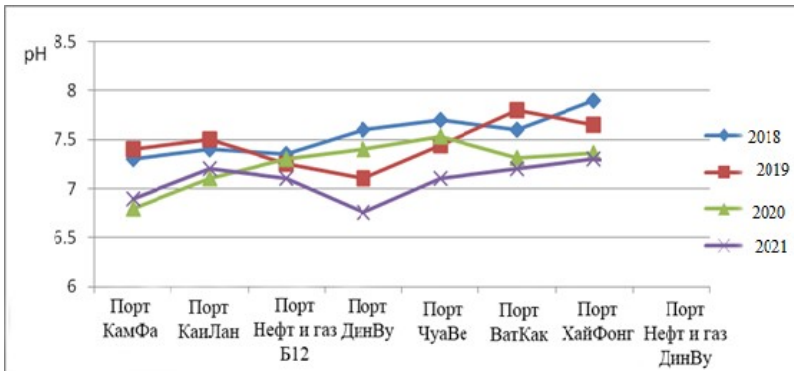


Рисунок 1 – Колебание рН в поверхностных и морских водах на портах в городах Хайфонг – Куангнинь

Такие результаты отражают то, что в этих портовых комплексах, на качество воды влияют последствия деятельности в области развития района:

Развитие морских инфраструктур: сильно расстроит дно, вносит в воду кислотные элементы (вследствие гидролиза ионов тяжелых растворенных металлов,  $Al^{3+}$ ) [2].

Потоки от суши, имея низкий рН, способствует снижать рН прибрежных вод в устьевых районах.

Химическое потребление кислорода (ХПК), биохимическое потребление кислорода (БПК), содержание взвешенных веществ.

Действия судов, сточных вод являются источниками органических загрязнителей и взвешенных веществ. В целом содержания ХПК, БПК<sub>5</sub>, сухого остатка в морских портах в районах Хайфон – Куанг Нинь имеют тенденцию к увеличению в последних лет.

Показатели загрязнения прибрежных вод как ХПК, БПК<sub>5</sub>, взвешенных веществ в морских портах в районах Хайфон – Куанг Нинь показаны на следующих рисунках (рис. 2-4):

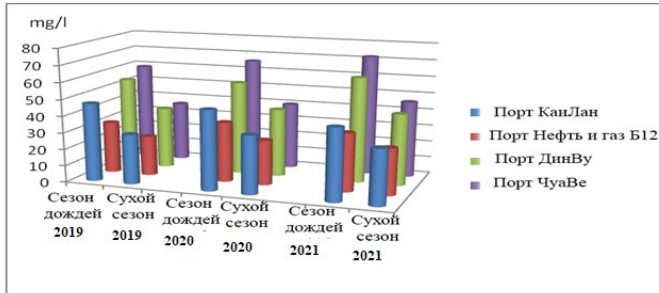


Рисунок 2 – Динамика концентраций сухих остаток в поверхностных водах и морских водах на портах в городах Хайфонг – Куангнинь в 2019 – 2021г

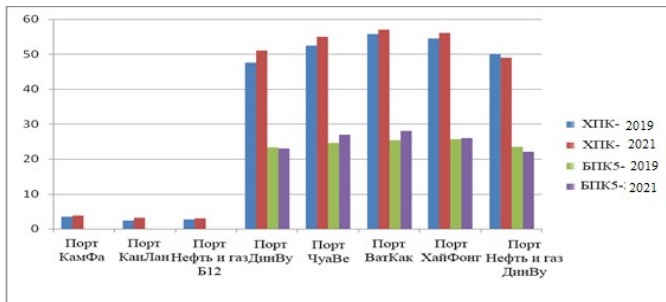


Рисунок 3 – Динамики ХПК и БПК<sub>5</sub> на морских портах в городах Хайфонг – Куангнинь в 2019 – 2021г.

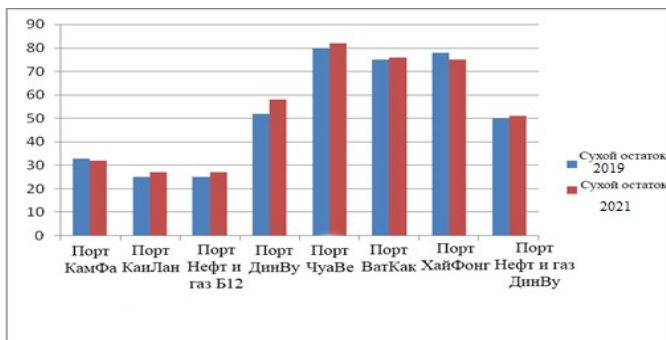


Рисунок 4 – Содержания взвешенных веществ некоторых портах в районах Хайфон – Куан Нинь в 2019 г. и 2021 г.

Содержание  $N-NH_4^+$  и нефть и нефтепродукты.

Сравнение содержания  $N-NH_4^+$  и нефти в некоторых портах в районах Хайфон – Куан Нинь в 2019 г. и 2021 г показывает что они незначительного увеличиваются (рис. 5).

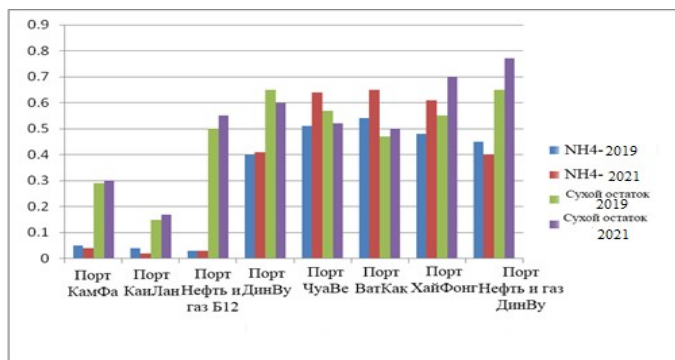


Рисунок 5 – Содержания  $N-NH_4^+$  и нефть и нефтепродукты в некоторых портах в районах Хайфон – Куан Нинь в 2019 г. и 2021 г

### Заключение:

Эксплуатация морских портов неизбежно влияют на водную среду. Увеличение содержаний ХПК, БПК<sub>5</sub>, взвешенных веществ,  $N-NH_4^+$  и нефти в прибрежных вод показывает, что воздействия отходов и сточных вод в районах Хайфон – Куан Нинь увеличиваются. Для уменьшения таких действий необходимо одновременно применения решений при планировании, строительстве и эксплуатации портов.

### Список литературы

- [1] Назарова Е.П. Совершенствование системы управления охраной окружающей среды в морском порту диссертация... кандидата технических наук. / Е.П. Назарова – Санкт-Петербург, 2007
- [2] Мельников А.В. Комплексная оценка воздействия защитных сооружений от наводнений на состояние окружающей среды Санкт-Петербурга диссертация... кандидата технических наук. / А.В. Мельников – Санкт-Петербург, 2007.



## Bibliography (Transliterated)

[1] Nazarova E.P. Improving the environmental management system in a seaport dissertation... Candidate of Technical Sciences. / E.P. Nazarova – St. Petersburg, 2007

[2] Melnikov A.V. Comprehensive assessment of the impact of flood protection structures on the state of the environment in St. Petersburg, dissertation... candidate of technical sciences. / A.V. Melnikov – St. Petersburg, 2007.

© Труонг Ван Туан, 2024

Поступила в редакцию 16.06.2024

Принята к публикации 20.06.2024

---

### *Для цитирования:*

Труонг Ван Туан Разработка теоретико-методологических основ устойчивого природопользования в зоне воздействия портов в городах Хайфонге и Куангнини, Вьетнам // Инновационные научные исследования. 2024. № 6-2(44). С. 67-72. URL: <https://ip-journal.ru/>

<https://doi.org/10.5281/zenodo.12607771>  
УДК 63

## ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ КОРМОВОЙ БАЗЫ В ВЫРОСТНЫХ ПРУДАХ, ОБВОДНЕННЫХ В РАННИЕ И ТРАДИЦИОННЫЕ СРОКИ РЫБОВОДНОГО СЕЗОНА НА СЕРГИЕВСКОМ ОРЗ

**Труонг Ван Туан,**  
Вьетнамский морской университет

**Аннотация:** Проводится оценка кормовой базы на Сергиевском ОРЗ. Учитывая важность пополнения численности популяций полноценным посадочным материалом искусственной генерации, определенного внимания заслуживает проблема ее качества. Одним из важных факторов, является обеспеченность молоди широким спектром кормовых организмов на протяжении всего периода ее выращивания. Поэтому исследование путей повышения естественной кормовой базы является неотъемлемой частью процесса интенсификации осетроводства.

**Ключевые слова:** кормовая база, пруды, темп роста, выживаемость, морфологические показатели, ранние и поздние сроки

---

## FEATURES OF FORMATION OF THE FOOD BASE IN GROWTH PONDS WATERED IN THE EARLY AND TRADITIONAL TERMS OF THE FISH HARVED SEASON AT THE SERGIEVSKY ORZ

**Truong Van Tuan,**  
Vietnam maritime university

**Annotation:** An assessment of the food supply at the Sergievsky ORZ is being carried out. Considering the importance of replenishing populations with high-grade artificially generated planting material, the problem of its quality deserves some attention. One of the important factors is the provision of juveniles with a wide range of food organisms throughout the entire period of their rearing. Therefore, research into ways

to increase the natural food supply is an integral part of the process of intensifying sturgeon farming.

**Keywords:** food supply, ponds, growth rate, survival rate, morphological indicators, early and late periods

---

### **Введение**

Осетровые рыбы являются уникальной ветвью природного комплекса, представители которой относятся к реликтовой ихтиофауне. Одним из надежных способов восстановления и поддержания численности ценных видов рыб является искусственное воспроизводство [1-4]. Учитывая важность пополнения численности популяций полноценным посадочным материалом искусственной генерации, определенного внимания заслуживает проблема ее качества. Одним из важных факторов, является обеспеченность молоди широким спектром кормовых организмов на протяжении всего периода ее выращивания. Поэтому исследование путей повышения естественной кормовой базы является неотъемлемой частью процесса интенсификации осетроводства [5]. Целью работы является исследование морфофизиологических показателей молоди русского осетра, выращенной на ОРЗ дельты р. Волга и изучение особенностей формирования кормовой базы в прудах, обводненных в разные сроки рыбоводного сезона.

### **Основная часть:**

В биотехническом цикле искусственного разведения осетровых достаточно сложным этапом считается получение жизнестойких, морфологически и физиологически полноценных, активно питающихся личинок для последующего их подращивания до мальковой стадии в прудах или бассейнах [1, 3]. Перевод личинок русского осетра на экзогенное питание, разница в сроках получения которых составила 25 суток, осуществляли в малых объемах воды в управляемом термическом режиме [6]. В результате, условия и температура воды для обеих партий личинок были сходными. Основной задачей является исследование особенностей формирования кормовой базы в выростных прудах, обводненных в ранние и традиционные сроки рыбоводного сезона а также определить количественные показатели выживаемости молоди русского осетра,

выращенной в ранние и традиционные сроки рыбоводного сезона на Сергиевском ОРЗ.

Продолжительность постэмбрионального развития осетра составила 11 суток, при температуре воды в бассейнах 15,4°C – 17,8°C. В контроле, т.е. на фоне естественного прогрева воды выброс пигментных пробок начался на 6-7-е сутки. Температура воды в бассейнах варьировала от 15,5 до 19,1°C. Выживаемость личинок осетра находится в тесной зависимости от условий их содержания. Из-за отсутствия проточности термический режим водной среды в бассейнах всецело определяется температурой воздуха в помещении, и при наличии средств ее регуляции процесс подращивания личинок можно постоянно поддерживать в оптимальном режиме [2, 4].

После перехода на экзогенное питание личинок русского осетра опытной и контрольной партий, пересадили из бассейнов в выростные пруды площадью 4 га, в соответствии с нормативной плотностью посадки 110 тыс.шт./га.

Сбор проб планктона и бентоса проводили в водоемах непосредственно перед зарыблением, а затем один раз в 5-7 дней с одновременными контрольными обловами мальков для изучения питания и темпа их роста. Планктон отбирали при помощи сети Апштейна в трех контрольных точках каждого водоема. Одновременно отбирали пробы бентоса при помощи малого упрощенного дночерпателя [3].

Анализ динамики кормовой базы в выростных прудах зарыбленных в ранние сроки показал следующее. В начале выращивания молоди осетра биомасса зоопланктона колебалась в пределах от 2,5 до 3,5 г/м<sup>3</sup>. Из Cladocera доминирующими видами явились: *Bosmina longirostris*, *Moina macroscopa*, *Daphnia pulex*. Среди представителей отряда Copepoda встречались: р. Cyclops, *Limnocalanus grimaldi*, *Eudiaptomus grasilis*. Leptesteria в планктонной форме присутствовала в прудах на протяжении всего времени выращивания молоди осетра, однако ее биомасса, в среднем, не превышала 0,5 г/м<sup>3</sup>.

Соотношение кормовых организмов в начале выращивания в прудах оказалось следующим: Cladocera – 30,9 %, Copepoda – 50,2 %, Phyllozoa – 19,0 %. В середине выращивания общая биомасса всех организмов была высокой и колебалась в пределах от 3,9 до 4,4 г/м<sup>3</sup>, и

на протяжении всего периода была постоянной. Преобладающее значение в этот период имели кормовые гидробионты, относящиеся к отрядам: Cladocera, Copepoda и Branchiopoda. На рисунке 1 в графическом виде представлена динамика биомассы зоопланктона в выростных прудах, зарыбленных в разные сроки.

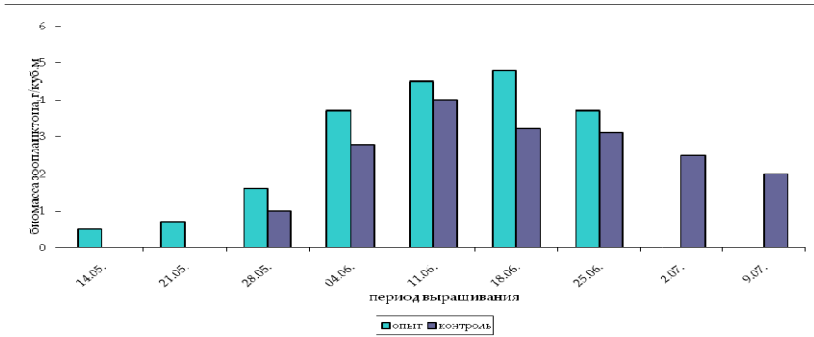


Рисунок 1 – Динамика биомассы зоопланктона в выростных прудах, при выращивании молоди осетра в разные сроки

К концу периода выращивания общая биомасса в опытных прудах снизилась до  $3,2 \text{ г/м}^3$ . В основном, в это время в зоопланктоне встречались представители отряда Copepoda – *Calanipeda aquadulsis* и *Eudiaptomus gracilis*, а также Branchiopoda – *Streptocephalus torvicornis*.

Судя по выраженности полученных данных, можно отметить, что после зарыбления этого водоема в ранние сроки биомасса зоопланктона характеризовалась достаточно высокими показателями с периодами спада и подъема. На завершающем этапе отмечен рост численности беспозвоночных, чего не наблюдалось в контрольном водоеме. Это говорит о разнонаправленности развития зоопланктонных форм в выростных прудах, обводненных в ранние и поздние сроки. Биомасса зоопланктона в контрольных прудах, зарыбленных позже на 25 суток, колебалась в пределах от  $1,1 \text{ г/м}^3$  до  $3,8 \text{ г/м}^3$ . В опытных и контрольных водоемах видовой состав кормовых организмов был одинаковым, однако общая биомасса зоопланктона в прудах, зарыбленных в традиционные сроки, была ниже на протяжении всего периода выращивания.

В середине выращивания биомасса снизилась до  $2,5 \text{ г/м}^3$ , основную долю зоопланктона составили представители отрядов Cladocera и Copepoda. Биомасса Copepoda в этот период составила  $0,8 \text{ г/м}^3$ . Из Cladocera ( $1,1 \text{ г/м}^3$ ) доминирующими видами явились: *Daphnia pulex*, *Bosmina longirostris*. К концу периода выращивания биомасса кормовых организмов в зоопланктоне составляла  $1,1 \text{ г/м}^3$ .

Зообентос в опытном водоеме, состоял из представителей следующих семейств: Chironomidae, Phyllopora, Coleoptera и Hemiptera. Возрастной состав хирономид и лептестерий был представлен достаточно широко. В пробах обнаружены как крупные, так и мелкие формы, что положительно сказалось на характере питания молоди русского осетра. Общая биомасса зообентоса в начале периода выращивания составляла  $0,5 \text{ г/м}^2$ . Однако на завершающем этапе этот показатель варьировал в пределах от  $3,1 - 4,2 \text{ г/м}^2$ .

В состав бентоса выростных водоемов, обводненных в традиционные сроки, входили следующие группы организмов: Chironomidae, личинки насекомых, лептестерии (Phyllopora). Биомасса бентоса в этих прудах за весь период выращивания, в среднем, составляла  $2,4 \text{ г/м}^2$ .

Следует отметить, что листоногие раки интенсивно развивались на всем протяжении выращивания. В пробах обнаружены как крупные (4-9 мм), так и мелкие их формы (0,5-3 мм). В то же время, в воде прудов отмечена низкая численность представителей семейства Chironomidae, доля которых в среднем не превысила 6,5%, Hemiptera – 5,7% и Coleoptera – 2,4%. Таким образом, прослеживается четкая закономерность снижения численности этих беспозвоночных, по всей видимости, не только за счет потребления молодью, но и за счет истощения биогенных элементов водной среды, а также за счет биологических особенностей цикла их развития (рис. 2).

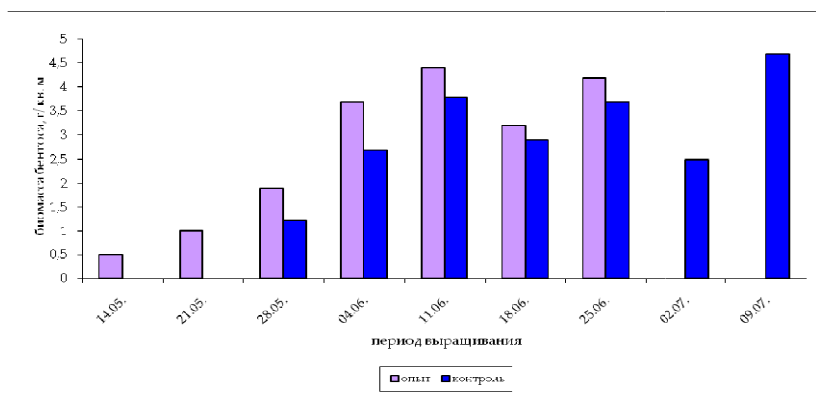


Рисунок 2 – Динамика биомассы бентоса при выращивании молоди осетра в разные сроки

Безусловно, что лимитирующим фактором, оказывающим влияние на выраженность динамики развития беспозвоночных, является температура воды в прудах. Наблюдалась разнонаправленность развития зоопланктонных форм в выростных прудах, обводненных в ранние и поздние сроки. При раннем обводнении на фоне более низкой температуры выклев беспозвоночных растянут, из-за чего в прудах складываются более благоприятные условия для питания растущей молоди. Однако на заключительном этапе эксплуатации водоема температура воды постепенно повышается до более высоких (21-22<sup>0</sup>С) значений, стимулируя соответственно вспышку зоопланктона. При этом на фоне более низкого термического режима водной среды развитие макрофитов растянуто, что положительно отражается на обеспеченности растущей молоди кормовыми организмами. В итоге, условия выращивания стандартной молоди на рыбоводных заводах в более ранние сроки рыбоводного сезона более благоприятны, чем в прудах, обводненных в поздние сроки [5, 6].

Следует отметить, что интенсивность формирования кормовой базы существенно зависит от состояния выростных прудов. На Сергиевском рыбоводном заводе средняя площадь большинства водоемов – 3-4 га, средней глубиной 1,8 м. Естественно, что это существенно влияет на условия формирования гидробионтов, а соответственно, на темп роста и выживаемость мальков. При этом

выяснилось, что за последние годы качественные и количественные показатели выхода рыболовной продукции с единицы выростной площади ОРЗ во многом определяются сроками обводнения выростных прудов независимо от их площадей и глубин.

В процессе исследований также были изучены особенности питания и роста молоди русского осетра, выращенной в разные сроки рыболовного сезона. Выяснилось, что на ранних стадиях мальки русского осетра предпочитали зоопланктон и пелагические формы личинок комара *Chironomus plumosus*. Среди планктонных организмов в желудках растущей молоди осетра встречались *Cyclops*, *D. longispina*, *D. pulex*, *Moina macrocopa*, *Eudiaptomus graciloides*, *Bosmina longirostris*. При этом *D. Pulex* являлась преобладающим кормовым организмом в желудках и кишечниках молоди русского осетра. Это объясняется тем, что ее биомасса в прудах была высокой, поэтому она явилась более доступным кормом для молоди.

В процессе обработки проб на питание определяли накормленность молоди осетра, которая характеризуется общим индексом наполнения желудочно-кишечного тракта (ЖКТ). Сравнительный анализ накормленности молоди осетра, выращенной на Сергиевском рыболовном заводе, показал что, интенсивность питания мальков осетра на протяжении всего периода выращивания в прудах оказалась неодинаковой. При сокращении биомассы кормовых организмов накормленность мальков снижалась. Наиболее контрастные различия данного показателя получены на завершающем этапе выращивания молоди русского осетра в разные сроки рыболовного сезона, что подтверждено статистически ( $p < 0,001$ ). Так, индекс наполнения ЖКТ у молоди русского осетра, выращенного в ранние и традиционные сроки, составил  $584,3^{0/000}$  и  $198,5^{0/000}$ , соответственно.

Среди показателей, используемых для оценки качества выращенной молоди в разные сроки вегетационные, использовали коэффициент упитанности по Фульгону. Показатель упитанности молоди, выращенной в ранние и традиционные сроки, в 2024 году, составил  $0,5 \pm 0,05$  и  $0,4 \pm 0,03$ , соответственно.

В период выпуска молоди из опытных и контрольных прудов было промерено и взвешено примерно по 50 мальков для определения средней массы и структуры размерного ряда. Оказалось, что эти



показатели достаточно контрастные. Молодь, выращиваемая в прудах, зарыбленных на 25 суток раньше традиционных, за 35 суток достигла средней массы  $3,86 \pm 0,2$  г и длины тела  $9,8 \pm 0,2$  см. Мальки, выращенные позже, за 40 суток достигли средней массы  $0,97 \pm 0,04$  г, длина тела составляла  $6,3 \pm 0,1$  см.

Выращивание молоди осетра в прудах, обводненных в ранние и поздние сроки рыбоводного сезона, отразилось и на количественных показателях выхода из прудов. В частности, выживаемость мальков из опытных прудов составила 80,6 %, что на 30 % выше, чем в контрольных.

Из результатов исследований следует, что выращивание молоди осетра в ранние сроки весеннего периода благоприятно сказывается на количественных и качественных показателях воспроизводства данного вида осетровых рыб. При раннем обводнении выростных водоемов удается в полной мере использовать природный цикл развития беспозвоночных. При поздних сроках зарыбления прудов используется только часть пикового развития биоценоза. При этом на заключительном этапе, как правило, в прудах имеет место дефицит естественного корма с преобладанием малоценных видов, таких как лептестерия, щитень и др.

### **Заключение**

На основании полученных данных было установлено, что при соблюдении всех необходимых агрометеорологических мероприятий, за счет целенаправленного обводнения и зарыбления выростных прудов посредством систем с управляемым термическим режимом, выход физиологически полноценной молоди с единицы прудовой площади на действующих осетровых рыбоводных заводах Нижнего Поволжья, можно повысить в среднем на 22-23 % в сравнении с фактическими показателями. Это крайне важно в условиях острого дефицита производителей естественной генерации.

Установлено, что температура воды, при которой начинает формироваться кормовой биоценоз беспозвоночных в выростных прудах, входящих в спектр питания молоди русского осетра, должна быть не ниже 9-10 °С. Согласно анализу многолетних данных, в прудах рыбоводных заводов Нижнего Поволжья прогрев воды до таких значений происходит в конце апреля – начале мая. В результате это позволяет смещать начало процесса выращивания молоди осетра

посредством УЗВ на 25-30 суток раньше в сравнении с традиционными сроками. Среднесезонная биомасса зоопланктона в прудах, обводненных в ранние сроки составила  $7,68 \text{ г/м}^3$ , а в традиционные –  $5,03 \text{ г/м}^3$ . Соответственно при такой схеме обводнения выростных водоемов доминировали Cladocera, Copepoda, Branchiopoda, составившие в сумме более 60 %, а в традиционные сроки, развитие получают малоценные в пищевом отношении для молоди осетра виды беспозвоночных, такие как Leptostera и Arus, биомасса которых в сумме достигает до 90 %. Сходная тенденция выявлена также и в развитии бентоса. В ранние сроки обводнения выростных водоемов в общей биомассе бентоса доминировали хирономиды (Chironomidae), составляющие основу в питании личинок и молоди русского осетра.

### Список литературы

- [1] Баденко Л.В. Отбор самок белуги и севрюги р. Дона в рыбоводных целях: учебное пособие / Л.В. Баденко. – А. ВНИРО, 1969. 120 с.
- [2] Баранникова И.А. Научные основы осетрового хозяйства и направления его дальнейшего развития в водоемах СССР: учебное пособие / И.А. Баранникова. – М.: Наука, 1979. 225 с.
- [3] Березина Н.А. Практикум по гидробиологии / Н.А. Березина – М.: Агропромиздат, 1989. 208 с.
- [4] Гербильский Н.Л. Осетровые и проблемы осетрового хозяйства: учебное пособие / Н.Л. Гербильский. – М.: Пищевая промышленность, 1972. 126 с.
- [5] Загребина О.Н. Оптимизация условий эмбрионального и постэмбрионального развития русского осетра в условиях рыбоводных заводов нижней Волги: дис..... канд. биол. наук 03.00.10 / О.Н. Загребина – М., 2007. 115 с.
- [6] Кокоза А.А., Биологические ресурсы Каспийского моря: учебное пособие / А.А. Кокоза – А.: АГТУ, 2004. 180 с.

## Bibliography (Transliterated)

- [1] Badenko L.V. Selection of female beluga and stellate sturgeon river. Don for fish farming purposes: textbook / L.V. Badenko. – A. VNIRO, 1969. 120 p.
- [2] Barannikova I.A. Scientific foundations of sturgeon farming and directions for its further development in the reservoirs of the USSR: textbook / I.A. Barannikova. – M.: Nauka, 1979. 225 p.
- [3] Berezina N.A. Workshop on hydrobiology / N.A. Berezina – M.: Agropromizdat, 1989. 208 p.
- [4] Gerbilsky N.L. Sturgeon and problems of sturgeon farming: textbook / N.L. Gerbilsky. – M.: Food industry, 1972. 126 p.
- [5] Zagrebina O.N. Optimization of conditions for embryonic and post-embryonic development of Russian sturgeon in the conditions of fish hatcheries in the Lower Volga: dis..... Cand. biol. Sciences 03.00.10 / O.N. Zagrebina – M., 2007. 115 p.
- [6] Kokoza A.A., Biological resources of the Caspian Sea: textbook / A.A. Kokoza – A.: ASTU, 2004. 180 p.

© Труонг Ван Туан, 2024

Поступила в редакцию 8.06.2024  
Принята к публикации 20.06.2024

---

### *Для цитирования:*

Труонг Ван Туан Особенности формирования кормовой базы в выростных прудах, обводненных в ранние и традиционные сроки рыбоводного сезона на Сергиевском ОРЗ // Инновационные научные исследования. 2024. № 6-2(44). С. 73-82. URL: <https://ip-journal.ru/>

<https://doi.org/10.5281/zenodo.12607788>  
УДК 634.4.1

## ПРИМЕНЕНИЕ ГИС И BIM ТЕХНОЛОГИЙ В ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВЕ

**М.А. Мурина,**  
студент

**Аннотация:** Работа посвящена анализу применения геоинформационных систем и BIM технологий в планировании городской застройки. Она представляет собой обзор, в котором рассматривается эффективность интеграционной модели обеих технологий в планировании и проектировании городского ландшафта. Целью исследования является изучение научных достижений, выявление нерешенных проблем и определение перспективных предложений в области применения ГИС и BIM в качестве теоретической и методологической основы градостроительства. В публикации помимо положительных сторон BIM и ГИС идет речь о возникающих проблемах. Результаты показывают, что практика применения геоинформационных систем в сочетании с информационным моделированием зданий в сфере устойчивого развития городов постепенно расширяется.

**Ключевые слова:** BIM-технология, геоинформационная система, градостроительство, планирование городской застройки

---

## APPLICATION OF GIS AND BIM TECHNOLOGIES FOR URBAN PLANNING

**M.A. Murina,**  
student

**Annotation:** The work is devoted to the analysis of the application of geographic information systems and BIM technologies in urban planning. It is an overview that examines the effectiveness of the integration model of these technologies in planning and designing the urban

landscape. The purpose is to study scientific achievements, identify unresolved problems and promising proposals in the field of GIS and BIM as a theoretical and methodological basis for urban planning. In addition to the positive aspects of BIM and GIS, the publication deals with emerging problems. The results show that the practice of using geographic information systems in combination with information modeling of buildings in the field of sustainable urban development is gradually expanding.

**Keywords:** BIM-technologies, geographic information system, urban planning, urban development planning

---

Разработка и внедрение в градостроительную практику геоинформационных систем (далее – ГИС-технологий, ГИС) открыли новую эру городского территориального планирования [1]. Сочетание инструментальных возможностей ГИС с богатым накопленным методическим опытом планирования и проектирования городского ландшафта способствует обеспечению более эффективного использования городских территорий.

За последние полвека в исследованиях, связанных с теоретическими и практическими аспектами применения ГИС в различных областях и сферах деятельности, были достигнуты значительные успехи [2]. Однако, несмотря на доказанную эффективность ГИС для детального изучения структуры и взаимосвязей географических объектов, обеспечения более комфортной пространственно-территориальной среды, отдельные проблемы все же остаются. Так, не до конца решены задачи по моделированию сложных пространственных объектов на базе моделей данных ГИС, требуют дальнейшего совершенствования аналитические функции ГИС для всестороннего географического анализа и достижения ориентированного на человека представления географической информации [3].

С развитием экономики и технологий спрос на городские земельные участки увеличивается из года в год в большинстве стран мира. Однако постоянно увеличивающееся население мира и быстрая урбанизация спровоцировали серьезные проблемы качества городской среды, связанные с загрязнением воздушного и водного пространства,

возрастающей нагрузкой на транспортную и социальную инфраструктуру и иные. Оптимизация использования городских земель, в первую очередь занятых жилыми объектами, является сложной задачей для органов власти, курирующих сферы городского планирования. В этих условиях надежный, быстрый и детальный анализ пригодности городских земель для проживания стал необходим градостроителям для улучшения городской жилой среды и лучшего понимания процесса урбанизации.

Вопросам применения ГИС-технологий в практике градостроительства и планировки населенных мест посвящены научные труды ряда российских исследователей. Так, в работе «Информационное обеспечение градостроительной деятельности в России» [4] автор подчеркивает, что за последние десятилетия ГИС стала неотъемлемой частью градостроительства в России. Данный факт указывает на цифровизацию и рост информационного сопровождения как актуальной тенденции в строительной отрасли. Примером может послужить применение лазерной наземной системы сканирования, что позволяет актуализировать информацию ГИС, обеспечивает мониторинг изменений в реальном времени, тем самым способствуя улучшению территориального планирования и повышению эффективности принятия управленческих решений [5].

В работе «Применение ГИС-технологий для оценки стоимости земельных участков в границах исторических поселений (на примере Пскова)» [6] продемонстрирована эффективность применения ГИС-технологий как инструмента, предоставляющего наиболее полную актуальную информацию о состоянии земельного участка.

Стоит отметить, что существуют многочисленные определения географической информации и систем, основное предназначение которых заключается в хранении, извлечении, анализе и отображении пространственных данных [7]. Широкий спектр применения ГИС-технологий, мощные инструменты, эффективные методы позволяют применять ее на всех этапах жизненного цикла городских объектов, а также выполнять различные функции: своевременно выявлять и устранять возможные негативные последствия, обеспечивать устойчивое развитие района, способствовать улучшению качества жизни его жителей, создавать

красивую и комфортную для жизни городскую среду, соответствующую эстетике горожан [1].

Тема устойчивого развития территорий обсуждается с 1960-х годов, и с тех пор является предметом пристального внимания в аспекте городского развития. С этой целью ГИС использовалась, например, для планирования и управления водными ресурсами, воздушным пространством, изменением климата и иными процессами [8].

Выбор подходящих участков для строительства является одним из важнейших вопросов городского планирования. Поскольку при выборе мест для городской застройки необходимо учитывать и анализировать множество критериев, необходимо использовать наиболее эффективные методы для определения наилучшего места для городской застройки [9]. Применение ГИС может помочь в успешном анализе и принятии решений. По данной причине в большинстве стран западной Европы поднялся научный интерес к внедрению ГИС-технологий для планирования застройки городов (рис. 1).

Страна	Всего	% от всех ГИС исследований	На душу населения
Финляндия	14	3.39	2.54
Австралия	44	2.18	1.84
Канада	37	1.48	1.03
Соединенные штаты	175	1.25	0.54
Объединенное королевство	38	0.94	0.59
Южная Африка	5	0.92	0.09
Нидерланды	10	0.79	0.59
Бельгия	4	0.67	0.35
Германия	5	0.21	0.06

Рисунок 1 – Количественные данные о ГИС-исследованиях в разных странах [10]

Также, в настоящее время наблюдается тенденция к слиянию BIM и ГИС технологий для решения научно-практических задач, связанных с обеспечением устойчивого развития территорий. С 2009 года количество цитирований публикаций по данной проблематике увеличилось в 100 раз [9]. За ростом кривой стоит растущий интерес

исследователей к интеграции отмеченных технологий, что также отражает важность этой темы (рис. 2).



Рисунок 2 – Количество цитирований публикаций в год по теме интеграции BIM/ГИС технологий с 2009 по 2017 год [11]

Совместное использование ГИС и BIM-технологий можно использовать для многих аспектов планирования и моделирования городской среды. Следует отметить, что хотя ГИС имеет возможность применять пространственный анализ окружающей среды в больших масштабах, она остается неспособной к подробному представлению и проектированию объектов недвижимости [12]. С другой стороны, информационное моделирование зданий, обеспечивающееся на базе BIM-технологий, используется для цифрового представления физических и функциональных характеристик строительных конструкций [13, 14]. Кроме того, BIM аккумулирует сложную информацию о строительстве зданий и сооружений с точки зрения семантических и геометрических деталей, которую зачастую очень сложно собрать для исходных данных [15].

В публикации «Цифровой мониторинг и моделирование схемы управления строительной цепочкой поставок с помощью BIM и ГИС: обзор» [16] группа ученых утверждает, что отличным инструментом для изучения ресурсов и операций является цифровая среда для



мониторинга структуры управления цепочками поставок в строительстве (CSCM). Для инфраструктурных проектов настоятельно рекомендуется использовать информационное моделирование зданий и ГИС для повышения производительности и улучшения координации. Конвергенция BIM и ГИС создает полное цифровое представление физической среды. Возможное применение BIM состоит в производстве, управлении и обмене эксплуатационными данными об объекте строительства, тогда как ГИС можно использовать для управления логистическими процессами инженерных строительных проектов, а также для хранения, организации и анализа данных, представляющих горизонтально распределенную городскую среду. В результате унифицированное использование BIM и ГИС имеет немаловажное значение в приложениях планирования и устойчивого развития городов, которым необходимы данные как со строительных объектов, так и из городских территорий [17, 18].

Кроме того, BIM и ГИС могут использоваться для помощи в развитии городской дорожной сети. При планировании размещения новых дорог проектировщикам необходимо сбалансировать ограниченное пространство в городе и постоянно растущие транспортные потребности горожан.

Передовые инструменты визуализации данных, такие как информационное моделирование зданий (BIM), могут использоваться в интеграции с ГИС для оперативного управления, 3D-моделирования и визуализации геотехнических моделей [19, 20]. Модель BIM включает в себя подробную геометрическую и семантическую информацию о новых или существующих объектах. BIM предоставляет инструменты параметрического проектирования для цифрового представления объекта, содержащего графическую и неграфическую информацию [21]. В таком случае BIM выступает в качестве начального этапа в визуализации моделей, управления ими, обмена данными и совместного использования моделей зданий и инфраструктуры на протяжении всего жизненного цикла.

Несмотря на то, что две системы имеют перекрывающиеся функции, по-прежнему очень сложно интегрировать эти технологии в единую систему: перенос данных из ГИС в BIM очень затруднителен из-за отсутствия инструментов, которые могут успешно управлять

данными BIM в ГИС, различия в данных схемы представления и плохо определенной семантики BIM [22, 23].

Отметим, что некоторые исследования объединяют BIM и ГИС в новый продукт для обеспечения более безопасных условий строительства (рис. 3). Так, BIM и ГИС были объединены в новую платформу для создания информационной модели района проведения строительных работ. Программное обеспечение Revit использовалось как инструмент BIM, а ArcGIS – как инструмент ГИС, который был интегрирован в Infracore с сохранением геометрической и семантической информации [21].



Рисунок 3 – Интеграция BIM/ГИС технологий для моделирования геотехнических свойств и разделения на зоны безопасного строительства [21]

Хотя BIM и ГИС имеют различия в пространственных масштабах, представлении семантических и геометрические данные, сочетание и интеграция этих двух концепций по-прежнему привлекают многих исследователей, поскольку это возможность

развить более полную информационную платформу для поддержки эксплуатации и управления жизненным циклом объектов (рис. 4).

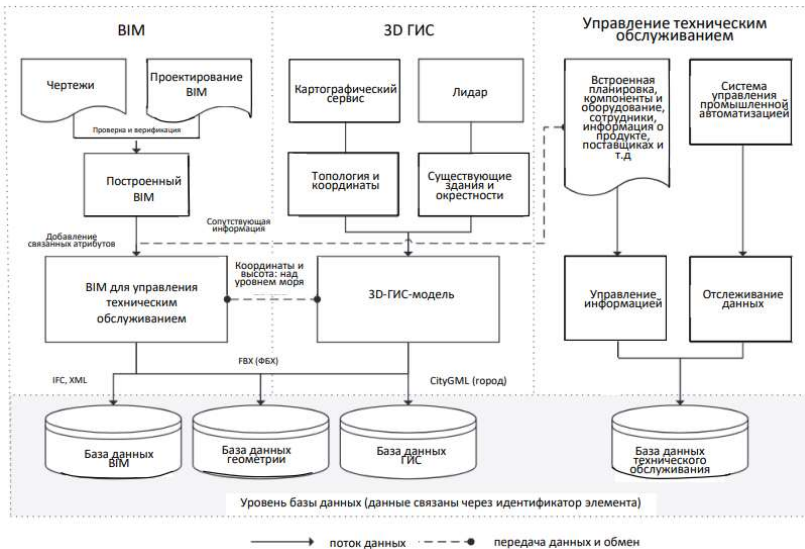


Рисунок 4 – Поток данных предлагаемой структуры [24]

В публикации «Планирование геологических ресурсов и оценка воздействия на окружающую среду на основе ГИС» [25] отражена структура будущего интегрированного развития ГИС и BIM технологий (рис. 5). Представленная структура разделена на уровни в соответствии с исследовательскими целями. Нижний уровень описывает функциональную интеграцию; средний уровень исследует интеграцию данных; а верхний уровень анализирует интегрированные приложения. Заштрихованная часть в середине рисунка представляет возможные решения для будущих исследований, которые включают разработку платформы CIM для умных городов, создание платформы интеграции ГИС и BIM, а также применение технологии интеграции ГИС и BIM в сфере городских железнодорожных перевозок.

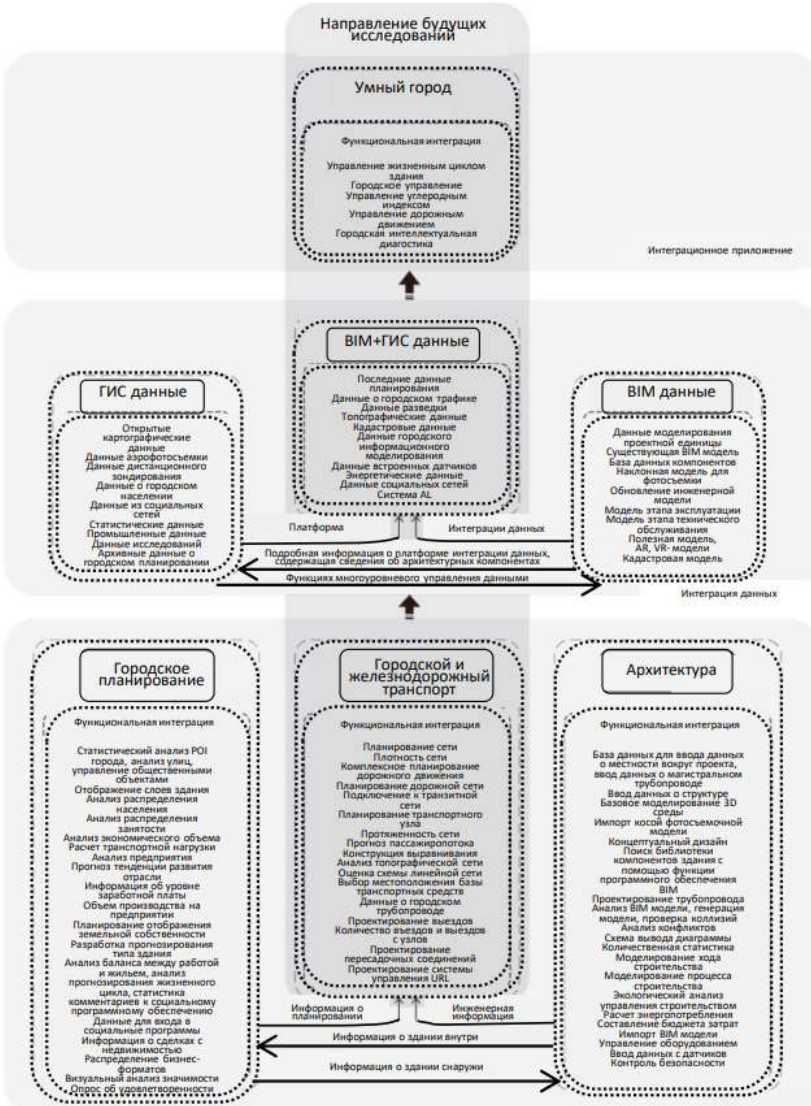


Рисунок 5 – Основа для будущего интегрированного развития ГИС и BIM [26]

Область ГИС предоставляет информацию о существующих процессах в разные промежутки времени в обширной географической области, в то время как BIM применяется в определенных объектах строительства. BIM и ГИС были разработаны для различных областей применения. Интеграция этих двух систем в архитектуре, проектировании и строительстве может играть значительную роль в практике и теорию устойчивой инфраструктуры городских территорий [21].

Таким образом, в современном мире деятельность человека стремительно прогрессирует. Это делает физическое развитие городов динамичным и непрерывным процессом. С другой стороны, рост городского населения и увеличение городской миграции привели к нерациональному строительству и изменению пространственной структуры городов. Если это быстрый и незапланированный процесс, то он приведет к несоответствующей физической структуре городских пространств и, как следствие, вызовет множество городских проблем. Планирование городского землепользования и управление земельными ресурсами играют очень важную роль в концепции устойчивого развития. Кратко взглянув на важные факторы городского планирования и развития, можно увидеть, что это многокритериальная проблема принятия решений, и большинство критериев имеют пространственные свойства. Следовательно, для управления таким объемом пространственных и атрибутивных данных применимы географические информационные системы в сочетании с информационным моделированием зданий (BIM).

### Список литературы

[1] Zhang W., Huang K. Planning and Design of Urban landscape Based on GIS: Taking Dongcheng District of Beijing as an example / W. Zhang, K. Huang // ICCEAI 2022. – 2022. Vol. 1. 279-282 p.

[2] Ogryzek M. Geospatial tools in the analyses of land use in the perspective of the accessibility of selected educational services in Poland / M. Ogryzek, K. Podawca, A. Cienciała // Land Use Policy. – 2022. Vol. 122. 106373 p.

[3] Lü G. Reflections and speculations on the progress in Geographic Information Systems (GIS): a geographic perspective / G. Lü et al. //

International Journal of Geographical Information Science. Taylor & Francis – 2019. Vol. 33. № 2. 346-367 p.

[4] Skachkova M.E. Information support of urban planning activities in Russia / M.E. Skachkova, O.S. Gureva // G&C. – 2022. Vol. 986. № 8. 45-55 p.

[5] Chepyzhova A.V. Comparative evaluation of the effectiveness of the laser scanning and aerial photography systems using unmanned aerial vehicles: 3 / A.V. Chepyzhova, E.A. Pravdina, O.Y. Lepikhina // J. Phys.: Conf. Ser. IOP Publishing – 2019. Vol. 1333. № 3. 032064 p.

[6] Григорьев К.В. Применение Гис-Технологий Для Оценки Стоимости Земельных Участков В Границах Исторических Поселений (на Примере Пскова) / К.В. Григорьев // Актуальные проблемы недропользования: тезисы докладов участников XIX Международного форума-конкурса студентов и молодых ученых. – 2023. Vol. 1. 295-297 p.

[7] Badach J. Developing a Framework for the Implementation of Landscape and Greenspace Indicators in Sustainable Urban Planning. Waterfront Landscape Management: Case Studies in Gdańsk, Poznań and Bristol: 8 / J. Badach, E. Raszeja // Sustainability. Multidisciplinary Digital Publishing Institute – 2019. Vol. 11. № 8. 2291 p.

[8] Abkharima M.H. World Experience in the Use of GIS Technologies in Solving Problems of Sustainable Development of the City / M.H. Abkharima, M.V. Perkova, A.A.H. Al-Jaberi // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. IOP Publishing – 2020. Vol. 753. № 3. 032045 p.

[9] Sciarra N. Methodological Approach for the Study of Historical Centres of High Architectural Value Affected by Geo-Hydrological Hazards: The Case of Lanciano (Abruzzo Region–Central Italy) / N. Sciarra et al. // Geosciences (Switzerland). – 2022. Vol. 12, № 5. 193 p.

[10] Muenchow J. Reviewing qualitative GIS research–Toward a wider usage of open-source GIS and reproducible research practices / J. Muenchow, S. Schäfer, E. Krüger // Geography Compass. – 2019. Vol. 13. № 6. e12441 p.

[11] Zhu J. A Critical Review of the Integration of Geographic Information System and Building Information Modelling at the Data Level: 2 / J. Zhu et al. // ISPRS International Journal of Geo-Information. Multidisciplinary Digital Publishing Institute – 2018. Vol. 7. № 2. 66 p.

[12] Быкова Е.Н. Некоторые Аспекты Массовой Оценки Земель Населенных Пунктов: Проблемы И Пути Решения / Е.Н. Быкова // Успехи современной науки и образования. – 2017. Vol. 8, № 2. 208-211 р.

[13] Honic M. Framework for the assessment of the existing building stock through BIM and GIS / M. Honic et al. // Developments in the Built Environment. – 2023. Vol. 13. 100110 p.

[14] Secinaro S. Smart city reporting: A bibliometric and structured literature review analysis to identify technological opportunities and challenges for sustainable development / S. Secinaro et al. // Journal of Business Research. – 2022. Vol. 149. 296-313 p.

[15] Билей С.Д. Проблема Сбора Исходной Информации При Проведении Государственной Кадастровой Оценки Коммерческой Недвижимости Доходным Подходом / С.Д. Билей // Актуальные проблемы недропользования: Тезисы докладов XIX Всероссийской конференции-конкурса студентов и аспирантов. – 2021. Vol. 3. 138 p.

[16] Uzairuddin S. Digital monitoring and modeling of construction supply chain management scheme with BIM and GIS: An overview / S. Uzairuddin, M. Jaiswal // Materials Today: Proceedings. – 2022. Vol. 65. 1908-1914 p.

[17] Wang H. Integration of BIM and GIS in sustainable built environment: A review and bibliometric analysis / H. Wang, Y. Pan, X. Luo // Automation in Construction. – 2019. Vol. 103. 41-52 p.

[18] Zhu J. BIM/GIS data integration from the perspective of information flow / J. Zhu, P. Wu // Automation in Construction. – 2022. Vol. 136. 104166 p.

[19] Takeyama T. Automatic Construction of Three-Dimensional Ground Model by Data Processing / T. Takeyama et al. // IEEE/ASME Transactions on Mechatronics. – 2021. Vol. 26. № 6. 2881-2887 p.

[20] Li J. Characteristic analysis and integration method of urban planning data based on GIS of internet of things / J. Li, Y. Wang // Sustainable Computing: Informatics and Systems. – 2022. Vol. 36.

[21] Marzouk M., Othman A. Planning utility infrastructure requirements for smart cities using the integration between BIM and GIS / M. Marzouk, A. Othman // Sustainable Cities and Society. – 2020. Vol. 57. 102120 p.



[22] Abuhussain M.A. Integrating Building Information Modeling (BIM) for optimal lifecycle management of complex structures / M.A. Abuhussain et al. // Structures. – 2024. Vol. 60. 105831 p.

[23] Huang X. BIM and IoT data fusion: The data process model perspective / X. Huang et al. // Automation in Construction. – 2023. Vol. 149. 104792 p.

[24] Lee P.-C. An integrated system framework of building information modelling and geographical information system for utility tunnel maintenance management / P.-C. Lee et al. // Tunnelling and Underground Space Technology. – 2018. Vol. 79. 263-273 p.

[25] Xie Y. Geological Resource Planning and Environmental Impact Assessments Based on GIS / Y. Xie et al. // Sustainability (Switzerland). – 2022. Vol. 14. № 2.

[26] Khan M.S. Geotechnical property modeling and construction safety zoning based on gis and bim integration / M.S. Khan, J. Park, J. Seo // Applied Sciences (Switzerland). – 2021. Vol. 11, № 9. 4004 p.

### **Bibliography (Transliterated)**

[1] Zhang W., Huang K. Planning and Design of Urban Landscape Based on GIS: Taking Dongcheng District of Beijing as an example / W. Zhang, K. Huang // ICCEAI 2022. – 2022. Vol. 1. 279-282 p.

[2] Ogryzek M. Geospatial tools in the analyzes of land use in the perspective of the accessibility of selected educational services in Poland / M. Ogryzek, K. Podawca, A. Cienciała // Land Use Policy. – 2022. Vol. 122. 106373 p.

[3] Lü G. Reflections and speculations on the progress in Geographic Information Systems (GIS): a geographic perspective / G. Lü et al. // International Journal of Geographical Information Science. Taylor & Francis – 2019. Vol. 33. No. 2. 346-367 p.

[4] Skachkova M.E. Information support of urban planning activities in Russia / M.E. Skachkova, O.S. Gureva // G&C. – 2022. Vol. 986. No. 8. 45-55 p.

[5] Chepyzhova A.V. Comparative evaluation of the effectiveness of the laser scanning and aerial photography systems using unmanned aerial vehicles: 3 / A.V. Chepyzhova, E.A. Pravdina, O.Y. Lepikhina // J. Phys.: Conf. Ser. IOP Publishing – 2019. Vol. 1333. No. 3. 032064 p.



[6] Grigoriev K.V. Application of GIS Technologies for Estimating the Value of Land Plots within the Borders of Historical Settlements (using the Example of Pskov) / K.V. Grigoriev // Current problems of subsoil use: abstracts of reports of participants of the XIX International Forum-Competition of Students and Young Scientists. – 2023. Vol. 1. 295-297 p.

[7] Badach J. Developing a Framework for the Implementation of Landscape and Greenspace Indicators in Sustainable Urban Planning. Waterfront Landscape Management: Case Studies in Gdańsk, Poznań and Bristol: 8 / J. Badach, E. Raszeja // Sustainability. Multidisciplinary Digital Publishing Institute – 2019. Vol. 11. No. 8. 2291 RUR.

[8] Abkharima M.H. World Experience in the Use of GIS Technologies in Solving Problems of Sustainable Development of the City / M.H. Abkharima, M.V. Perkova, A.A.H. Al-Jaberi // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. IOP Publishing – 2020. Vol. 753. No. 3. 032045 p.

[9] Sciarra N. Methodological Approach for the Study of Historical Centers of High Architectural Value Affected by Geo-Hydrological Hazards: The Case of Lanciano (Abruzzo Region–Central Italy) / N. Sciarra et al. // Geosciences (Switzerland). – 2022. Vol. 12, No. 5. 193 p.

[10] Muenchow J. Reviewing qualitative GIS research–Toward a wider usage of open-source GIS and reproducible research practices / J. Muenchow, S. Schäfer, E. Krüger // Geography Compass. – 2019. Vol. 13. No. 6. e12441 p.

[11] Zhu J. A Critical Review of the Integration of Geographic Information System and Building Information Modeling at the Data Level: 2 / J. Zhu et al. // ISPRS International Journal of Geo-Information. Multidisciplinary Digital Publishing Institute – 2018. Vol. 7. No. 2. 66 p.

[12] Bykova E.N. Some Aspects of Mass Assessment of Land and Populated Areas: Problems and Solutions / E.N. Bykova // Advances in modern science and education. – 2017. Vol. 8, No. 2. 208-211 p.

[13] Honic M. Framework for the assessment of the existing building stock through BIM and GIS / M. Honic et al. // Developments in the Built Environment. – 2023. Vol. 13. 100110 p.

[14] Secinaro S. Smart city reporting: A bibliometric and structured literature review analysis to identify technological opportunities and challenges for sustainable development / S. Secinaro et al. // Journal of Business Research. – 2022. Vol. 149. 296-313 p.

[15] Biley S.D. The Problem of Collecting Initial Information When Conducting the State Cadastral Valuation of Commercial Real Estate Using the Income Approach / S.D. Biley // Current problems of subsoil use: Abstracts of reports of the XIX All-Russian conference-competition of students and graduate students. – 2021. Vol. 3. 138 p.

[16] Uzairuddin S. Digital monitoring and modeling of construction supply chain management scheme with BIM and GIS: An overview / S. Uzairuddin, M. Jaiswal // Materials Today: Proceedings. – 2022. Vol. 65. 1908-1914 p.

[17] Wang H. Integration of BIM and GIS in sustainable built environment: A review and bibliometric analysis / H. Wang, Y. Pan, X. Luo // Automation in Construction. – 2019. Vol. 103. 41-52 p.

[18] Zhu J. BIM/GIS data integration from the perspective of information flow / J. Zhu, P. Wu // Automation in Construction. – 2022. Vol. 136. 104166 p.

[19] Takeyama T. Automatic Construction of Three-Dimensional Ground Model by Data Processing / T. Takeyama et al. // IEEE/ASME Transactions on Mechatronics. – 2021. Vol. 26. No. 6. 2881-2887 p.

[20] Li J. Characteristic analysis and integration method of urban planning data based on GIS of internet of things / J. Li, Y. Wang // Sustainable Computing: Informatics and Systems. – 2022. Vol. 36.

[21] Marzouk M., Othman A. Planning utility infrastructure requirements for smart cities using the integration between BIM and GIS / M. Marzouk, A. Othman // Sustainable Cities and Society. – 2020. Vol. 57. 102120 p.

[22] Abuhussain M.A. Integrating Building Information Modeling (BIM) for optimal lifecycle management of co complex structures / M.A. Abuhussain et al. // Structures. – 2024. Vol. 60. 105831 p.

[23] Huang X. BIM and IoT data fusion: The data process model perspective / X. Huang et al. // Automation in Construction. – 2023. Vol. 149. 104792 p.

[24] Lee P.-C. An integrated system framework of building information modeling and geographical information system for utility tunnel maintenance management / P.-C. Lee et al. // Tunnelling and Underground Space Technology. – 2018. Vol. 79. 263-273 p.

[25] Xie Y. Geological Resource Planning and Environmental Impact Assessments Based on GIS / Y. Xie et al. // Sustainability (Switzerland). – 2022. Vol. 14. No. 2.

[26] Khan M.S. Geotechnical property modeling and construction safety zoning based on gis and bim integration / M.S. Khan, J. Park, J. Seo // Applied Sciences (Switzerland). – 2021. Vol. 11, No. 9. 4004 p.

© М.А. Мурина, 2024

Поступила в редакцию 6.06.2024  
Принята к публикации 20.06.2024

---

*Для цитирования:*

Мурина М.А. Применение ГИС и BIM технологий в градостроительстве // Инновационные научные исследования. 2024. № 6-2(44). С. 83-98. URL: <https://ip-journal.ru/>

**РАЗДЕЛ. ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ**

<https://doi.org/10.5281/zenodo.12607823>

УДК 796

**ИЗМЕНЕНИЕ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ ОРГАНИЗМА  
БОКСЕРОВ В СОРЕВНОВАТЕЛЬНЫЙ ПЕРИОД**

**Д.В. Баранов,**

к.пед.н., доц., кафедра физического воспитания и спорта, факультет  
физической культуры,  
Гомельский государственный университет имени Франциска  
Скорины,  
г. Гомель

**Аннотация:** В статье освещается проблема восстановления физиологических функций организма боксера в соревновательный период. Рассматриваются вопросы оптимизации интенсивности тренировочных нагрузок во время использования средств специальной подготовки боксеров. Значительное внимание уделяется рассмотрению закономерностей сохранения спортивной формы в соревновательный период. Освещаются вопросы адаптации дыхательной и сердечно-сосудистой системы боксеров к процессу соревновательной подготовки.

**Ключевые слова:** соревновательная подготовка боксера, физиологические функции, интенсивность нагрузки, дыхательная и сердечно-сосудистая система, функциональная подготовленность, восстановление спортсмена

---

**CHANGES IN THE PHYSIOLOGICAL FUNCTIONS OF THE  
BODY OF BOXERS DURING THE COMPETITION PERIOD**

**D.V. Baranov,**

Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Department of  
Physical Education and Sports, Faculty of Physical Culture,  
Gomel State University named after Francysk Skaryna,  
Gomel

**Annotation:** The article highlights the problem of restoring the physiological functions of the boxer's body during the competitive period. The issues of optimizing the intensity of training loads during the use of means of special training of boxers are considered. Considerable attention is paid to the consideration of the regularities of maintaining athletic form during the competitive period. The issues of adaptation of the respiratory and cardiovascular systems of boxers to the process of competitive training are highlighted.

**Keywords:** competitive training of a boxer, physiological functions, intensity of load, respiratory and cardiovascular system, functional fitness, recovery of an athlete

---

Система спортивной подготовки боксеров основывается на определенных закономерностях проведения тренировочного процесса и выступления на соревнованиях на протяжении всего годового цикла. В подготовительном, соревновательном и переходном периодах спортивной подготовки решается ряд важных задач. В переходном периоде осуществляется функциональная и физическая подготовка и развитие физических качеств у боксеров. Выполняется это с целью восстановления организма боксеров после серии проведенных соревнований, а также периодов специальной подготовки боксеров. Упражнения технико-тактической подготовки, требуют затраты большого количества энергии и сил боксера. В подготовительный период осуществляется процесс функциональной и физической и специальной физической подготовки боксеров. В период соревновательной подготовки боксеров как правило применяются средства специальной и технико-тактической подготовки, с целью максимального достижения пика спортивной формы и эффективного выступления в боях. Вместе с тем средства специальной и технико-тактической подготовки выполняются на высоких пульсовых режимах (170 ударов в минуту и выше) и требуют очень высоких энергетических затрат. В условиях соревновательной подготовки интенсивность тренировочной работы соответствует около максимальной и максимальной мощности, поэтому энергообеспечение организма боксеров происходит за счет анаэробных механизмов. Отмеченные режимы интенсивности

тренировочной работы приводят к значительным изменениям во всех системах организма. В этих интенсивных условиях быстро наступает перегрузка дыхательной, сердечно-сосудистой и кровеносной систем. Таким образом наступают стойкие процессы переутомления боксеров, которые значительно снижают уровень психической и физической работоспособности. Утомление спортсмена – это временное уменьшение работоспособности вызванное интенсивной или продолжительной работой. Усталость проявляется во время тренировочной работы и проявляется в первую очередь при выполнении движений, снижается их сила, быстрота, координация [1-4, 6, 8-11].

Высокий уровень спортивной формы в боксе, как правило удается удержать как правило на очень небольшой период времени (максимальный временной период – это две недели). Затем необходимо, снизить уровень объема и интенсивности тренировочных нагрузок, с целью комплексного восстановления организма боксеров. Таким образом вся соревновательная деятельность боксеров протекает на фоне высоких физических, психических и эмоциональных нагрузок на все системы организма боксеров. Очень часто боксеры не могут удержать необходимый уровень спортивной формы до конца главных соревнований. Данные условия создают предпосылки для снижения эффективности выступлений и поражений на соревнованиях.

В течении длительного времени (месяц и более) боксеры проводят подряд несколько важных соревнований в которых необходимо показывать высокий уровень спортивной формы. На протяжении данного промежутка времени организм соревнующихся получает максимальную нагрузку и как следствие перетренированность всех систем организма. В этом случае не удается восстановить физические и психические силы в короткий промежуток времени между соревнованиями. Таким образом после серий проведенных соревнований, необходима полная рекреация (восстановление) ряда функций организма занимающихся. На выполнение этой важной задачи требуется длительный промежуток времени (два месяца и более). В противном случае при недостаточном восстановлении спортсмена, преждевременное повышение интенсивности тренировочных нагрузок, гарантированно приведет к стойкому состоянию перетренированности [1-4, 6, 8-11].

Состояние спортивной формы в боксе очень тесно взаимосвязано с таким важным качеством как выносливость спортсмена. Нужно подчеркнуть, что в специальной литературе по боксу принято разделять термины общая выносливость и специальная выносливость. Общая выносливость – это проявление работоспособности в разных видах спортивной деятельности (бег, плавание, ходьба, лыжи, спортивные игры). Специальная выносливость – это проявление работоспособности при выполнении комплекса технико-тактических действий в боксе. Если рассматривать качество выносливость без применения к конкретному виду спорта, то нужно сказать, что выносливость – это способность преодолевать организмом процессы утомления при выполнении определенной деятельности, без значительного снижения работоспособности. В специальной литературе по боксу принято также рассматривать силовую, скоростную виды выносливости при выполнении техники движений [1-4, 6, 8-11].

Вместе с тем, целью данной публикации является рассмотрение процессов адаптации дыхательной и сердечно-сосудистой системы к условиям тренировочной и соревновательной деятельности.

Решение данной проблемы заключается в точном определении интенсивности и объема тренировочных нагрузок индивидуально каждому спортсмену. Наряду с этим предварительно необходимо создать огромную базу функциональной и физической подготовленности до наступления периодов специальной подготовки. В период специальной подготовки необходимо четко дозировать интенсивность средств технико-тактической подготовки, часть которых может применяться не невысокой интенсивности (пульс до 160 ударов в минуту). Для того что бы четко определить функциональное состояние спортсмена на каждом этапе соревновательной подготовки необходимо утром замерять показатели ЧЧС (частоты сердечных сокращений), ЖЕЛ (жизненная емкость легких), Ортостатической пробы.

Важнейшей информацией о деятельности сердечно-сосудистой системы является пульс (частота сердечных сокращений), который у нетренированных людей в состоянии покоя находится в пределах 60-80 ударов в минуту. У тренированных людей и спортсменов частота

сердечных сокращений в покое снижается и колеблется в пределах 45-60 ударов в минуту. Разница в количестве пульсовых ударов в состоянии покоя у тренированных и нетренированных людей объясняется в количестве поступления крови (кислорода) в аорту за один сердечный цикл. У тренированных людей поступление крови в аорту за один сердечный цикл значительно больше, чем тот же показатель у нетренированных. Во время соревновательного периода очень важно замерять показатели пульса в состоянии покоя каждый день утром и вечером. Утренние показатели, дают возможность оценить, насколько эффективно произошли процессы восстановления спортсмена после тренировочной нагрузки за предыдущий день. Утром во время измерения показателей пульса выявляется уровень восстановления организма спортсмена за ночь. Показатели пульса, которые измерялись в вечернее время, дают информацию о самой динамике протекания восстановительных процессов после тренировки текущего дня. Таким образом у тренера появляется наиболее точные данные о реакции организма спортсмена на выполненную тренировочную нагрузку.

Кроме частоты сердечных сокращений необходимо утром проводить Ортостатическую пробу, ее показатели очень точно показывают степень перетренированности спортсмена после предыдущих серий тренировок [5, 7, 9]. Коэффициент пробы от 6 до 18 единиц считается хорошей или средней реакцией сердечно-сосудистой системы на нагрузку и говорить о том, что организм нормально справляется с тренировочной работой. Коэффициент Ортостатической пробы 19 единиц и более показывает неблагоприятную реакцию сердечно-сосудистой системы на тренировочную нагрузку. Высокий коэффициент Ортостатической пробы 19 единиц и более, дает сигнал тренеру о том, что нужно принять меры, направленные на коррекцию тренировочной нагрузки и восстановление спортсмена. Следующий показатель, который влияет на выносливость спортсмена является уровень ЖЕЛ (жизненной емкости легких). Измеряется данный показатель на различных видах спирометров (воздушные и водяные), которые показывают объем выдыхаемого воздуха, выраженный в см<sup>3</sup> (сантиметрах кубических). У нетренированных людей мужского контингента данный показатель



колеблется в пределах 3500-4200 см<sup>3</sup>, женского контингента примерно 2500-3000 см<sup>3</sup> [5, 7, 9].

Данный показатель отражает функциональные возможности всей системы дыхания и работоспособность (газообмен) легких. Если значительно увеличивается выносливость у спортсмена, тогда, как правило прямо пропорционально увеличивается показатель ЖЕЛ (жизненной емкости легких). Если же показатели ЖЕЛ (жизненной емкости легких) снижаются на 200-300см<sup>3</sup> (сантиметров кубических) после тренировки, то это свидетельствует о выполнении максимальной тренировочной нагрузки. Через сутки показатели ЖЕЛ должны прийти к исходным величинам, которые были до выполнения тренировочной нагрузки. Если же показатели ЖЕЛ не восстановились после суточного периода, то это свидетельствует о перетренированности спортсмена [5, 7, 9].

### Список литературы

- [1] Бойко А.Ф. Предсоревновательная подготовка спортсменов высокого класса / А.Ф. Бойко. – М.: Физкультура и спорт, 1971. 120 с.
- [2] Гаськов А.В. Теоретико-методические основы управления соревновательной и тренировочной деятельностью квалифицированных боксеров: автореф. дис.... д-ра. пед. наук: 13.00.04 / А.В. Гаськов; Росс. гос. акад. физ. культуры. – Москва, 1999. 41 с.
- [3] Гаськов А.В. Структура и содержание тренировочно-соревновательной деятельности в боксе: монография / А.В. Гаськов, В.А. Кузьмин. – Красноярск: Краснояр. гос. ун-т., 2004. 113 с.
- [4] Дегтярев И.П. Тренированность боксеров / И.П. Дегтярёв. – М.: Физкультура и спорт, 1985. 262 с.
- [5] Иорданская Ф.А. Мониторинг здоровья и функциональная подготовленность высококвалифицированных спортсменов в процессе учебно-тренировочной работы и соревновательной деятельности: монография / Ф.А. Иорданская, М.С. Юдинцева. – М.: Советский спорт, 2006. 184 с.
- [6] Испандияров М.И. Структура тренировочных средств боксеров различных весовых категорий на предсоревновательном этапе подготовки: автореф. дисс.... канд. пед. наук: 13.00.04 / М.И.

Испандияров: всерос. науч. исслед. и-нт. физ. культуры. – Москва, 1990. 25 с.

[7] Карпман В.Л. Тестирование в спортивной медицине / В.Л. Карпман, З.Б. Белоцерковский, И.А. Гудков. – М.: Физкультура и спорт, 1988. 208 с.

[8] Киселев В.А. Совершенствование спортивной подготовки высококвалифицированных боксеров: учебное пособие / В.А. Киселев. – М.: Физическая культура, 2006. 127 с.

[9] Котешев В.Е. Методология управления адаптацией спортсменов к специфическим двигательным действиям в боксе: автореф. дис. ... д-ра пед. наук: 13.00.04 / В.Е. Котешев; Кубанский гос. ун-т. физ. культуры, спорта и туризма. – Краснодар, 1998. 48 с.

[10] Никифоров Ю.Б. Эффективность тренировки боксёров / Ю.Б. Никифоров. – М.: Физкультура и спорт, 1987. 192 с.

[11] Розенблат В.В. Проблема утомления / В.В. Розенблат. – М.: Медицина, 1975. 237 с.

### **Bibliography (Transliterated)**

[1] Boyko A.F. Pre-competition preparation of high-class athletes / A.F. Boyko. – М.: Physical culture and sport, 1971. 120 p.

[2] Gaskov A.B. Theoretical and methodological foundations for managing the competitive and training activities of qualified boxers: abstract of thesis. dis.... dr. ped. Sciences: 13.00.04 / A.B. Gaskov; Ross. state acad. physical culture. – Moscow, 1999. 41 p.

[3] Gaskov A.B. Structure and content of training and competitive activity in boxing: monograph / A.B. Gaskov, V.A. Kuzmin. – Krasnoyarsk: Krasnoyar. state Univ., 2004. 113 p.

[4] Degtyarev I.P. Boxers' training / I.P. Degtyarev. – М.: Physical culture and sport, 1985. 262 p.

[5] Jordanskaya F.A. Health monitoring and functional readiness of highly qualified athletes in the process of educational work and competitive activity: monograph / F.A. Jordanskaya, M.S. Yudintseva. – М.: Soviet sport, 2006. 184 p.

[6] Ispandiyarov M.I. The structure of training aids for boxers of various weight categories at the pre-competition stage of preparation: abstract of thesis. diss....cand. ped. Sciences: 13.00.04 / M.I. Ispandiyarov:

all-Russian. scientific research i-nt. physical culture. – Moscow, 1990. 25 p.

[7] Karpman V.L. Testing in sports medicine / V.L. Karpman, Z.B. Belotserkovsky, I.A. Gudkov. – M.: Physical culture and sport, 1988. 208 p.

[8] Kiselev V.A. Improving the sports training of highly qualified boxers: textbook / V.A. Kiselev. – M.: Physical culture, 2006. 127 p.

[9] Koteshev V.E. Methodology for managing the adaptation of athletes to specific motor actions in boxing: abstract of thesis. dis. ... Dr. ped. Sciences: 13.00.04 / V.E. Koteshev; Kuban State univ. physical culture, sports and tourism. – Krasnodar, 1998. 48 p.

[10] Nikiforov Yu.B. The effectiveness of training boxers / Yu.B. Nikiforov. – M.: Physical culture and sport, 1987. 192 p.

[11] Rosenblat V.V. The problem of fatigue / V.V. Rosenblatt. – M.: Medicine, 1975. 237 p.

© Д.В. Баранов, 2024

Поступила в редакцию 9.06.2024  
Принята к публикации 20.06.2024

---

***Для цитирования:***

Баранов Д.В. Изменение физиологических функций организма боксеров в соревновательный период // Инновационные научные исследования. 2024. № 6-2(44). С. 99-106. URL: <https://ip-journal.ru/>