

электронный научно-практический журнал
ELECTRONIC SCIENTIFIC-PRACTICAL JOURNAL

актуальные вопросы аграрной науки

**ACTUAL ISSUES
OF AGRARIAN SCIENCE**

**выпуск 2(55)
ИЮНЬ
VOLUME 2 (55)
JUNE**

ISSN: 2411-6483

МОЛОДЁЖНЫЙ 2025



Электронный научно-практический журнал
**“Актуальные вопросы аграрной
науки”**

2025 Выпуск 2(55)

Electronic scientific-practical journal

“Actual issues of agrarian science”

2025 Volume 2(55)

Электронный научно-практический журнал “Актуальные вопросы аграрной науки” зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.

Регистрационный номер: Эл №ФС77-76761 от 06 сентября 2019 года.

Учредитель: ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ.

DOI 10.51215/2411-6483-2025-55

Электронный научно-практический журнал “Актуальные вопросы аграрной науки”, 2025, выпуск 2(55), июнь.

Издается по решению Ученого совета Иркутской государственной сельскохозяйственной академии с ноября 2011 г.

Главный редактор: Я.М. Иваньо – д.т.н.

Зам. главного редактора: М.К. Бураев – д.т.н.

Ответственный секретарь: И.В. Наумов – д.т.н.

Члены редакционного совета: *ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ:* С.Н. Шуханов, д.т.н.; В.Н. Хабардин, д.т.н.; О.В. Репецкий, д.т.н.

Иные организации: *Россия:* Байкальский государственный университет: В.И. Зоркальцев, д.т.н. Иркутский государственный университет путей сообщения Ю.М. Краковский, д.т.н.

Монголия: Монгольский государственный аграрный университет: Гомбо Гантулга, к.т.н.

Республика Узбекистан: Ташкентский государственный аграрный университет: Ш. Жаникулов, к.т.н.

В журнале публикуются работы авторов по разным тематикам: проблемам развития агроинженерных систем и технологий, математическим и информационным технологиям решения прикладных задач.

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.

Регистрационный номер Эл № ФС77 – 76761 от 06 сентября 2019 г.

URL: <http://agronauka.igsha.ru/>

Журнал включен в Российский индекс научного цитирования электронной библиотеки eLIBRARY.RU.

Рукописи, присланные в журнал, не возвращаются. Авторы несут полную ответственность за подбор и изложение фактов, содержащихся в статьях; высказываемые ими взгляды могут не отражать точку зрения редакции. Любые нарушения авторских прав преследуются по закону. Перепечатка материалов журнала допускается только по согласованию с редакцией. Рецензии хранятся в редакции не менее 5 лет в бумажном и электронном вариантах и могут быть предоставлены в Министерство образования и науки РФ по запросу.

Статьи проверены с использованием Интернет-сервиса “Антиплагиат”.

Учредитель – ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ.

ISSN 2411-6483

Electronic scientific-Practical journal “Actual issues of agrarian science”, 2025, issue 2(55), June.
It is edited under the decision of the Scientific Council of the Irkutsk State Academy of Agriculture since November, 2011.

Chief editor: Ya.M. Ivanyo – Doctor of Technical Sc.

Deputy chief editor: M.K. Buraev – Doctor of Technical Sc.

Executive secretary: I.V. Naumov – Doctor of Technical Sc.

The members of the editorial board: *FSBEI HE Irkutsk SAU:* **S.N. Shukhanov** – Doctor of Technical Sc.; **V.N. Khabardin** – Doctor of Technical Sc.; **O.V. Repetsky** – Doctor of Technical Sc.

Other organizations: *Russia:* Baikal State University: **V.I. Zorkaltsev**, Doctor of Technical Sc.

Irkutsk State Transport University IrGUPS: **Yu.M. Krakovsky** – Doctor of Technical Sc.

Mongolia: Mongolian State Agrarian University: **Gombo Gantulga**, Candidate of Technical Sc.

Republic of Uzbekistan: Tashkent State Agrarian University: **Sh. Zhanikulov**, Candidate of Technical Sc.

In the journal there are articles on different topics, such as: problems of development of agroengineering systems and technologies, mathematical and information technologies for solving applied problems.

The journal is registered by the Federal Service for Supervision in the Sphere of Telecom, Information Technologies and Mass Communications.

Certificate El № FS77 – 76761. Registration date: 06.09.2019.

URL: <http://agronauka.igsha.ru/>

The journal is included to the Russian Federation index of scientific quoting of electronic library eLIBRARY.RU.

Manuscripts are not returned to the authors. The authors are fully responsible for the compilation and presentation of information contained in their papers; their views may not reflect the Editorial Board's point of view. Copyright. All rights protected. No part of the Journal materials can be reprinted without permission from the Editors. Reviews are stored in the office of editorial board at least 5 years in the paper and electronic versions and they can be provided on request to the Ministry of Education and Science of the Russian Federation. In addition, the editorial board provides its opinion on the compliance of the scientific work and the possibility of the publication.

Articles are verified with Internet-service “Anti-plagiary”.

The founder – FSBEI HE Irkutsk SAU.

ISSN 2411-6483

СОДЕРЖАНИЕ

МЕХАНИЗАЦИЯ, ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ, АГРОИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ

- Аносова А.И., Белоусов И.В., Кривцова Т.И., Бураева Г.М.* Повреждения и износ деталей ходовых систем гусеничных тракторов 8
- Клибанова Ю.Ю., Павлов С.А., Барахтенко Р.Е., Гусаров А.Е.* Прототип системы мониторинга микроклиматических и физических параметров в животноводческом помещении с технологией интернета вещей 17
- Наумов И.В.* О повреждаемости электрических сетей и причинах возникновения отказов в филиалах ПАО “Россети Сибирь” 306
- Хабардин В.Н., Фальчевская Ю.А., Шелкунова Н.О.* Эффективность утилизации нефтесодержащих отходов производства при эксплуатации машин биологическим методом 46

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА, УПРАВЛЕНИЕ, МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

- Краковский Ю.М., Киргизбаев В.П.* Вычисление показателей эффективности в виде рисков при защите информации с применением имитационного моделирования 57
- Лобыцин И.А., Федурин Н.И.* Создание дашборда для визуализации данных о посевных работах в Иркутской области посредством POWER BI 66
- Массель Л.В., Массель А.Г., Туктарова П.А.* Современное состояние и тренды развития искусственного интеллекта 78
- Петрова С.А., Тобоева Д.С.* Моделирование производственно-экономических показателей аграрного производства с использованием индексов вегетации 87

CONTENS

MECHANIZATION, ELECTRIFICATION, AGRO-ENGINEERING SYSTEMS

- Anosova A.I., Belousov I.V., Krivtsova T.I., Buraeva G.M.* Damage and wear of parts of the undercarriage systems of tracked tractors 8
- Klibanova Yu.Yu., Pavlov S.A., Barakhtenko R.E., Gusarov A.E.* Prototype of monitoring system of microclimate and physical parameters in livestock building with internet of things technology 17
- Naumov I.V.* On the damage to electrical networks and the causes of failures in the branches of PJSC “Rosseti Siberia” 30
- Khabardin V.N., Falchevskaya Yu.A., Shelkunova N.O.* Efficiency of disposal of oil-containing production waste during machine operation by biological method 46

INFORMATICS, COMPUTER ENGINEERING, MANAGEMENT, MATHEMATICAL MODELING

- Krakovskii Yu.M., Kirgizbaev V.P.* Calculation of efficiency indicators in the form of risks in information security using simulation modeling 57
- Lobytsin I.A., Fedurina N.I.* Creating a dashboard for visualizing data on sowing works in the Irkutsk region using Power BI 66
- Massel L.V., Massel A.G., Tuktarova P.A.* Current state and trends of artificial intelligence development 78
- Petrova S.A., Toboeva D.S.* Modeling of production and economic indicators of agricultural production using vegetation indices 87



МЕХАНИЗАЦИЯ, ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ, АГРОИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ
MECHANIZATION, ELECTRIFICATION, AGRO-ENGINEERING SYSTEMS

DOI 10.51215/2411-6483-2025-55-8-16
УДК 631.3.004.67(075.8)

Научная статья

**ПОВРЕЖДЕНИЯ И ИЗНОС ДЕТАЛЕЙ ХОДОВЫХ СИСТЕМ
ГУСЕНИЧНЫХ ТРАКТОРОВ**

¹А.И. Аносова, ¹И.В. Белоусов, ²Т.И. Кривцова, ¹Г.М. Бураева

¹Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского,
Молодежный, Иркутский район, Иркутская область, Россия

²Иркутский национальный исследовательский технический университет,
г. Иркутск, Иркутская область, Россия

Аннотация. Гусеничные тракторы – это сложные в конструктивном исполнении машины, эксплуатация, обслуживание и ремонт которых сложен и требует значительных ресурсных вложений. Эти тракторы имеют некоторые преимущества перед колесными моделями в маневренности и устойчивости на энергоемких работах на горных, овражных и балочных склонах крутизной до 20 градусов без опрокидывания. Важной задачей является обеспечение работоспособности и сохранности парка гусеничных тракторов и на этой основе создание рынка подержанных машин (вторичного рынка), позволяющего оптимизировать использование ресурсного потенциала эксплуатируемой техники за счет вторичного использования ресурсов и вовлечения их в полезный оборот. Практика попадания деталей со значительным остаточным ресурсом в разряд негодных а, следовательно, необоснованно утилизируемых, встречается довольно часто. Поэтому в ресурсосбережении при ремонте машин в сельском хозяйстве важное место занимает проблема изучения характера повреждений и износа деталей тракторов, на основе чего можно разрабатывать меры рационального использования изношенных деталей, а также деталей имеющих остаточный ресурс.

В данной работе представлен аналитический обзор условий и причин повреждений и износа деталей ходовых систем гусеничных тракторов. В ходе исследования выявлено, что детали ходовой части гусеничных тракторов подвергаются интенсивному воздействию различных негативных факторов. Наиболее значимым из них являются условия эксплуатации, определяемые почвенно-климатическими особенностями. Это приводит к существенному ухудшению состояния основных элементов ходовой части, включая гусеницы, ведущие и ведомые колеса, а также опорные и поддерживающие катки. Помимо этого, наблюдаются поломки и износ деталей подвески - коленчатые оси, внешние балансиры и оси качания.

Ключевые слова: износ, детали, ходовая часть, трактор, гусеницы, факторы, среда.

Для цитирования: Аносова А.И., Белоусов И.В., Кривцова Т.И., Бураева Г.М. Повреждения и износ деталей ходовых систем гусеничных тракторов. *Электронный научно-практический журнал “Актуальные вопросы аграрной науки”*. 2025; 2(55):8-16. DOI: 10.51215/2411-6483-2025-55-8-16.

DAMAGE AND WEAR OF PARTS OF THE UNDERCARRIAGE SYSTEMS OF TRACKED TRACTORS

¹Anna I. Anosova, ¹Igor V. Belousov, ²Tatyana I. Krivtsova, ¹Galina M. Buraeva

Irkutsk state agricultural university named after A.A. Ezhevsky,
Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia

²Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

Abstract. Tracked tractors are complex in design machines, the operation, maintenance and repair of which are difficult and require significant resource investments. These tractors have some advantages over wheeled models in maneuverability and stability in energy-intensive work on mountain, ravine and gully slopes with a steepness of up to 20 degrees without tipping over. An important task is to ensure the operability and safety of the fleet of crawler tractors and, on this basis, to create a market for used machines (secondary market), which allows optimizing the use of the resource potential of the equipment in operation through the secondary use of resources and their involvement in useful circulation. The practice of including parts with a significant residual resource in the category of unusable and, therefore, unreasonably disposed of, is quite common. Therefore, in resource conservation during the repair of machines in agriculture, an important place is occupied by the problem of studying the nature of damage and wear of tractor parts, on the basis of which it is possible to develop measures for the rational use of worn parts, as well as parts with a residual resource. This article presents an analytical review of the conditions and causes of damage and wear of parts of the chassis of crawler tractors. The study revealed that the chassis parts of crawler tractors are exposed to intense exposure to various negative factors. The most significant of these are the operating conditions determined by soil and climatic features. This leads to a significant deterioration in the condition of the main components of the chassis, including tracks, drive and driven wheels, as well as support and support rollers. In addition, there are breakdowns and wear of suspension components - crankshafts, external balancers and swing axles.

Keywords: wear, components, chassis, tractor, tracks, factors, environment.

For citation: Anosova A.I., Belousov I.V., Krivtsova T.I., Buraeva G.M. Damage and wear of parts of the undercarriage systems of tracked tractors. *Electronic scientific-practical journal “Actual issues of agrarian science”*. 2025; 2(55):8-16. DOI: 10.51215/2411-6483-2025-55-8-16.

Введение. Многолетнее использование гусеничных тракторов в сельском хозяйстве показало, что за счет сниженного уплотняющего воздействия на почву гусеничного движителя повышается урожайность сельскохозяйственных культур, потери которой могут достигать больших значений [3]. Исследования ученых и практиков показывают, что прирост урожайности только за счет этого фактора составляет для зерновых культур примерно 4 ц/га [8, 10, 11]. Современные тракторы оснащаются колесными, гусеничными и полугусеничными движителями.

Классификация гусеничных движителей представлена на рисунке 1 [7].



Рисунок 1 – Классификация гусеничных движителей

Figure 1 – Classification of caterpillar tracks

Цель работы. Провести аналитический обзор условий и причин повреждений и износа деталей ходовых систем гусеничных тракторов.

Материалы и методы. При эксплуатации транспортно-технологических машин с гусеничным движением происходит усиление абразивного износа гусениц, ведущих и ведомых колес, опорных катков и роликов. Также подвержены повреждениям и износу другие важные элементы, такие как коленчатые оси, внешние балансиры и оси качания [5, 6].

Основной причиной отбраковки тракторных звеньев, является износ проушин, цевок и беговых дорожек, поскольку износ почвозацепов, не достигает предельных значений [6]. Между износом отверстий проушин и другими поверхностями звена гусеницы существует тесная корреляционно-регрессионная связь, которая приведена в таблице 1.

Обычно, когда гусеница достигает скептического износа, беговые дорожки большинства звеньев изношены наполовину от допустимого предела. Следовательно, при эксплуатации гусениц на суглинистых и песчаных основах главным критерием выбраковки должен быть износ проушин звеньев. Если посмотреть на рисунок 2, то видно, что беговые дорожки и цевки большинства звеньев, проушины, достигшие максимального состояния, обычно не нуждаются в восстановлении [9].

При исследовании литературных источников выяснено, что такое распределение износа трущихся поверхностей звеньев наблюдается довольно часто, однако бывает не всегда, о чем свидетельствуют износ трущихся поверхностей гусеничных звеньев, полученный по результатам микрометража выбракованных звеньев в хозяйствах некоторых областей, а также результаты микрометража звеньев, поступивших на переплавку на

тракторные заводы [4].

Таблица 1 – Характер связи между износом отверстий проушин и другими поверхностями звена гусеницы

Table 1 – Nature of the relationship between wear of lug holes and other track link surfaces

Наименование поверхности звена (y), связанной с износом проушин (x)	Регрессионное уравнение	Почва	Значение коэффициентов		Корреляционное отношение
			a	b	
Цевка	$y = av^x$	Суглинистая	2.47	1.18	0.79
		Песчаная	2.50	1.20	0.76
Беговая дорожка	$y = a + vx$	Суглинистая	0.47	0.95	0.77
		Песчаная	0.51	0.46	0.79

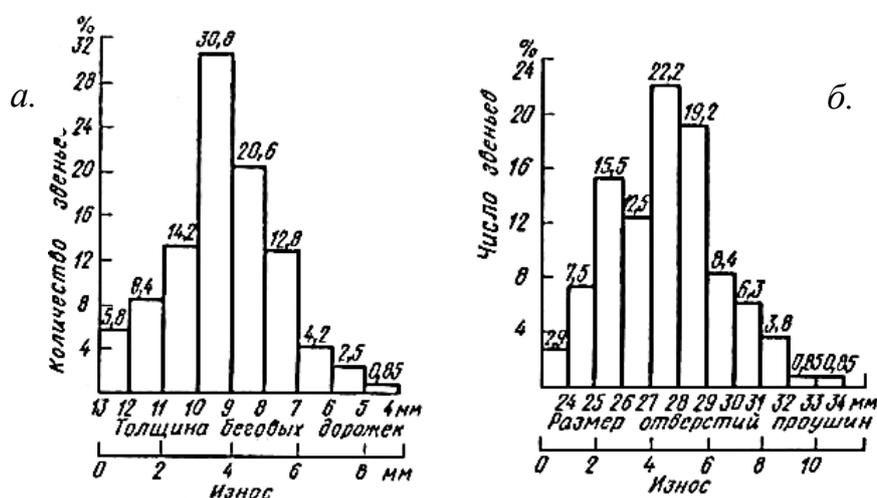


Рисунок 2 – Распределение звеньев по группам в зависимости от:
а) размера изношенных проушин; б) от толщины изношенных беговых дорожек.

Figure 2 – Distribution of links into groups depending on:
a) the size of worn lugs; b) the thickness of worn treads.

В ходе эксплуатации различные части рабочих поверхностей гусениц подвергаются износу с разной интенсивностью, обусловленной условиями их применения [10]. Интенсивность износа деталей ходовой части гусеничных тракторов тесно связана с характеристиками грунта, по которому осуществляется движение. Важно отметить, что воздействие типа грунта на износ различных элементов и узлов ходовой системы различается. Например, из таблицы 2 следует, что влияние типа почвы на интенсивность износа сборочных единиц гусеничной ходовой системы с резинометаллическими шарнирами (РШМ) относительно небольшое на ведущие колеса и опорные катки. В то же время, тип грунта оказывает более значительное влияние на износ звеньев с разным количеством отверстий (проушин) [9].

Таблица 2 – Зависимость интенсивности износа деталей ходовой части гусеничных тракторов от грунта

Table 2 – Dependence of wear of chassis parts of tracked tractors on soil

Почва	Трактор	Интенсивность износа, мм за 100 моточасов				
		почво-зацепов	цевок	беговых дорожек	зубьев ведущих колес	опорных катков
Средний суглинок	ДТ-75М	0.234	0.078	0.079	0.076	0.192
То же	ДТ-75М	0.218	0.082	0.083	0.086	0.174
»	ДТ-75М	0.350	0.220	0.134	0.162	0.296
»	T-150	0.390	0.079	0.090	0.063	0.180
»	T-150	0.331	0.116	0.090	0.105	0.204
Легкий суглинок	ДТ-75М	0.255	0.080	0.080	0.110	—

Значительное влияние тип почв оказывает на степень износа пальцев, (рисунок 3). У ведущих колес гусеничных тракторов наблюдается существенный износ зубьев и впадин. Наиболее подвержены износу участки обода во впадинах между зубьями и основании зубьев. Износ венцов, превышающий 8 мм, зафиксирован у 75-80% ведущих колес тракторов тягового класса 3. Кроме того, примерно у 60% ведущих колес тракторов ДТ-75 наблюдается износ отверстий, превышающий 20.4 мм.

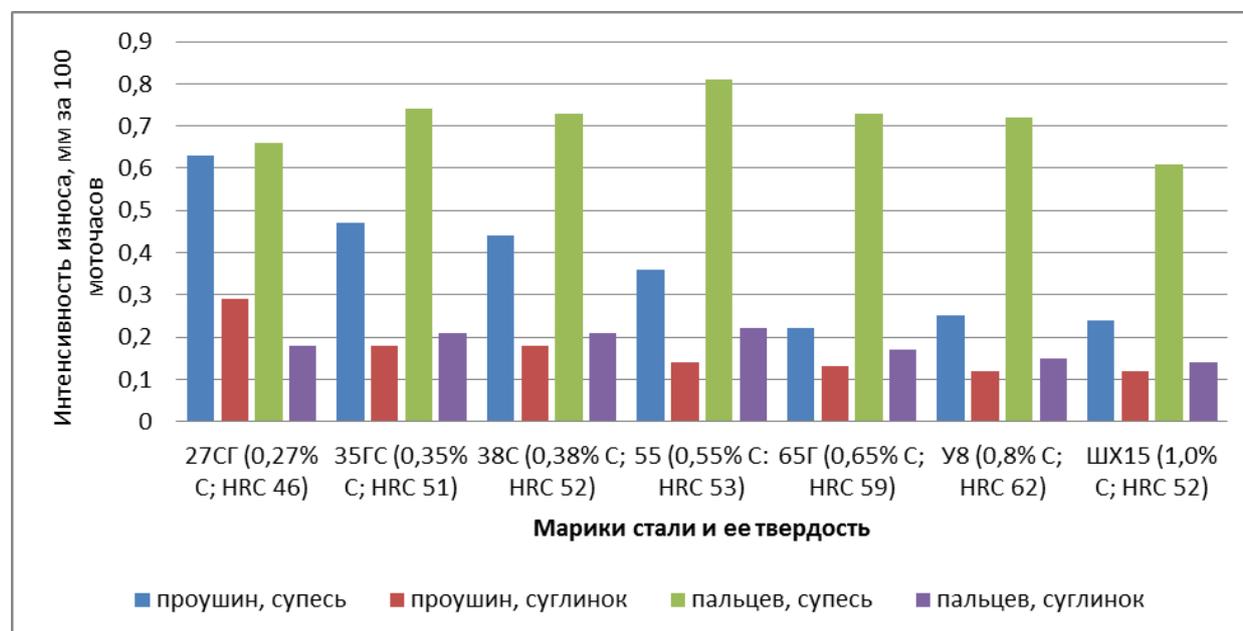


Рисунок 3 – Зависимость скорости износа пальцев и проушин гусениц от типа почвы

Table 3 – Dependence of the wear rate of the pins and lugs of the tracks on the type of soil

Помимо внутренней поверхности, износ также наблюдается и на внешней стороне ведущих колес. При эксплуатации их диаметр должен быть не менее 584 мм, а ширина буртов – не менее 18 мм. Несоблюдение этих параметров может привести к возникновению дефектов, например, трещин на спицах и

ободе, разлому бурта, а также износу резьбовых отверстий, отвечающих за крепление уплотнений и крышек. [9].

Для опорных катков в большинстве случаев (70-80%) происходит износ по диаметру, при этом искажается геометрическая форма обода. Кроме того, у небольшого процента катков (5-6%) рабочая поверхность деформируется из-за заклинивания, вызванного износом посадочного отверстия и оси. На поверхности обода также могут появляться дефекты (раковины), которые часто приводят к его разрушению [2].

В зимний период времени быстрому износу подвержены поддерживающие ролики. Заклинивание ролика происходит из-за загустевания смазки, забивания грязью и снегом, что приводит к одностороннему износу обода и сквозному износу ступицы [1]. Ось поддерживающего ролика изнашивается в зоне шейки под подшипники при утечке масла через зазоры, когда плохо притерты кольца уплотнения или разорвался и разбух чехол.

Основные неисправности коленчатой оси связаны с её деформацией, износом посадочных поверхностей для подшипников и втулок, повреждением шпоночных пазов, а также износом резьбы и защитного кольца. Внешние балансиры часто страдают от износа внутренней стороны втулок, как малых, так и больших размеров, появления трещин, а также износа и повреждения резьбы в местах крепления уплотнений, крышек и конусных пробок. Подвержены износу отверстия для подшипников и втулок. Ось качания изнашивается в зонах соприкосновения с втулками и внутренним балансиром, что может привести к образованию трещин и даже к полному разрушению.

Следует отметить, что в процессе эксплуатации гусеничных тракторов наблюдается неравномерный износ левой и правой гусеницы. При проведении пахоты механизаторы чаще выполняют правые повороты, что приводит к тому, что правая гусеница отстаёт, в то время как левая начинает двигаться быстрее. В результате левая гусеница проходит больший путь, подвергается большему износу и удлиняется. Средний шаг ее звеньев увеличивается, что, в свою очередь, приводит к тому, что при прямолинейном движении трактор будет отклоняться в сторону менее изношенной гусеницы, то есть вправо в данном случае. Один из простых и действенных путей предупреждения неравномерного износа гусениц – выбор соответствующих способов движения агрегата, при которых чередуются левые и правые повороты [6, 7].

На составные части ходовых систем воздействуют коррозионные факторы среды: наличие удобрений в почве и атмосферные осадки. Увеличение скорости коррозии в минеральных удобрениях с ростом содержания углерода в сталях объясняется связанностью углерода в цементит (Fe_3C), что приводит к эффективному катодному включению и повышению интенсивности коррозии. Атмосферная коррозия ощутимо сказывается на деталях ходовых систем при совместном протекании с абразивным изнашиванием.

Выводы. Детали ходовых систем гусеничных тракторов работают под

воздействием большого числа агрессивных факторов, из которых наиболее существенное влияние оказывают почвенно-климатические условия эксплуатации.

В результате эксплуатации происходит значительное ухудшение состояния ходовой части: гусениц, колес (ведущих и ведомых), катков (опорных и поддерживающих). Кроме того, фиксируются поломки и износ деталей подвески, таких как коленчатые оси, внешние балансиры и оси качания.

Список литературы

1. Буреава, Г. М. Обработка отверстия опорного ролика ходовой системы трактора прошивкой / Г.М. Буреава, А.В. Шистеев, М.К. Буреав // Технический сервис машин. – 2024. – Т. 62, № 3. – С. 91-96. – DOI 10.22314/2618-8287-2024-62-3-91-96. – EDN DSROST.
2. Буреава, Г.М. Ремонт опорных роликов ходовой части гусеничных тракторов / Г.М. Буреава, А.В. Шистеев, М.К. Буреав // Машиностроение: инновационные аспекты развития: матер. междунар. научно-практ. конф., Санкт-Петербург, 29 марта 2024 года. – Санкт-Петербург: ИП Жукова Е.В., 2024. – С. 76-81. – EDN OOVIN.
3. Иваньо, Я.М. Пространственно-временная оценка редких потерь урожайности сельскохозяйственных культур / Я.М. Иваньо, С.А. Петрова, И.М. Колокольцева // Актуальные вопросы аграрной науки. – 2024. – № 50. – С. 65-73. – DOI 10.51215/2411-6483-2024-50-65-73. – EDN DWTJZB.
4. Инновационные технологии технического сервиса в агропромышленном комплексе / И.Н. Шило, Н.К. Толочко, Н.Н. Романюк, С.А. Войнаш, В.А. Соколова, С.А. Партко, А.А. Лучинович, Е.В. Тимофеев, А.Ф. Эрк. СПб: ИАЭП. – 2021. – 260 с.
5. Кривцов, С.Н. Оценка показателей надежности амортизационных стоек автомобилей категории М1 в условиях нарушения устоявшихся рыночных отношений между конечными потребителями запасных частей и поставщиками / С.Н. Кривцов, Т.И. Кривцова // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2024. – Т. 21, № 1(95). – С. 98-107. – DOI 10.26518/2071-7296-2024-21-1-98-107. – EDN GZLAHN.
6. Степанов, В.А. Ремонт ходовой части гусеничных тракторов / В.А. Степанов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Колос, 1982. – 127 с.: ил.
7. Топилин, Г.Е. Работоспособность тракторов / Г.Е. Топилин, В.М. Забродский. – Москва: Колос, 1984. – 303 с.
8. Хизов, А.В. Снижение воздействия ходовой системы гусеничного трактора Т-4А на почву: 05.20.01, автореф. дисс. к.т.н. Хизов, Андрей Викторович, 2007.
9. Ходовые системы тракторов: Справочник / В.М. Забродский, А.М. Файнлейб, Л.Н. Кутин, О.Л. Уткин. – М.: Агропромиздат, 1986. – 271 с.
10. Эдигаров, В.Р. Повышение износостойкости деталей ходовой части многоцелевых гусеничных машин комбинированными методами электромеханической обработки / В.Р. Эдигаров, В.В. Малый // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. – 2014. – № 4(38). – С. 57-64. – EDN SQSRNH.
11. Юферев, С.С. Использование гусеничных тракторов в агропромышленном комплексе / С.С. Юферев // Технические науки в России и за рубежом: матер. III междунар. научн. конф., Москва, 20-23 июля 2014 года. – Москва: Буки-Веди, 2014. – С. 100-105. – EDN NFTIBX.

References

1. Buraeva, G.M. et all. Obrabotka otverstiya opornogo rolika hodovoj sistemy traktora proshivkoj [Processing the hole of the support roller of the undercarriage of the tractor by stitching]. *Tekhnicheskij servis mashin*, 2024, vol. 62, no. 3, pp. 91-96, DOI 10.22314/2618-8287-2024-62-3-91-96, EDN DSROST.

2. Buraeva, G.M. et all. Remont опорных роликов ходовой части гусеничных тракторов [Repair of support rollers of the undercarriage of tracked tractors]. Sankt Peterburg, 2024, pp. 76-81. – EDN OOOVIN.

3. Ivan`o, Ya.M. et all. Prostranstvenno-vremennaya ocenka redkix poter` uro-zhajnosti sel'skoxozyajstvenny`x kul'tur [Spatiotemporal assessment of rare crop yield losses]. Aktual'ny'e voprosy` agrarnoj nauki, 2024, no. 50, pp. 65-73. – DOI 10.51215/2411-6483-2024-50-65-73. – EDN DWTJZB.

4. Shilo, I.N. et all. Innovacionnye tekhnologii tekhnicheskogo servisa v agropromyshlennom komplekse [Innovative technologies of technical service in the agro-industrial complex]. Sankt Peterburg: IAEP, 2021, 260 p.

5. Krivtsov, S.N., Krivtsova, T.I. Ocenka pokazatelej nadezhnosti amortizacionnyh stoek avtomobilej kategorii M1 v usloviyah narusheniya ustoyavshihsysa rynochnyh otnoshenij mezhdru konechnymi potrebitelyami zapasnyh chastej i postavshchikami [Assessment of reliability indicators of shock absorber struts of category M1 vehicles in the context of disruption of established market relations between end consumers of spare parts and suppliers]. Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta, 2024, vol. 21, no. 1(95), pp. 98-107. – DOI 10.26518/2071-7296-2024-21-1-98-107. – EDN GZLAHN.

6. Stepanov V.A. Remont ходовой части гусеничных тракторов [Repair of the chassis of tracked tractors]. Moscow: Kolos, 1982, 127 p.: ill.

7. Topilin, G.E., Zabrodsky, V.M. Rabotosposobnost' traktorov [Performance of tractors]. Moscow: Kolos, 1984, 303 p.

8. Khizov, A.V. Snizhenie vozdejstviya ходовой системы гусеничного трактора Т-4А на почву [Reducing the impact of the undercarriage system of the Т-4А tracked tractor on the soil]. Diss. Cand., 2007.

9. Zabrodsky, V.M. et all. Ходовые системы тракторов [Undercarriage systems of tractors]. Handbook, Moscow, Agropromizdat, 1986, 271 p.

10. Edigarov, V.R., Maly, V.V. Povyshenie iznosostojkosti detalej ходовой части mnogocelevyh гусеничных машин kombinirovannymi metodami elektromekhanicheskoj obrabotki [Increasing the wear resistance of undercarriage parts of multi-purpose tracked vehicles by combined methods of electromechanical processing]. Vestnik Sibirskoj gosudarstvennoj avtomobil'no-dorozhnoj akademii, 2014, no. 4 (38), pp. 57-64. – EDN SQSRNH.

11. Yuferov, S.S. Ispol'zovanie гусеничных тракторов v agropromyshlennom komplekse [Use of crawler tractors in the agro-industrial complex]. Moscow: Buki-Vedi, 2014, pp. 100-105. – EDN NFTIBX.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие планировании, выполнении и анализе полученных данных. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие конфликта интересов.

Author's contribution. All authors of this study were directly involved in the planning, execution and analysis of this study. All authors of the article reviewed and approved the final version of the manuscript.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interest.

История статьи / Article history

Дата поступления в редакцию / Received: 24.03.2025

Поступила после рецензирования и доработки / Received: 23.06.2025

Дата принятия к печати / Accepted: 27.06.2025

Сведения об авторах

Аносова Анна Иннокентьевна – кандидат технических наук, доцент кафедры ТС и ОД инженерного факультета. Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского.

Контактная информация: ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, 664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодёжный, тел. 8(983)6938151, email: a.anosova@yandex.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9910-8892>.

Белоусов Игорь Витальевич – аспирант инженерного факультета. Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского.

Контактная информация: ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, 664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодёжный, тел. 83952237431, e-mail: belousov.65@mail.ru. ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-4767-0127>.

Кривцова Татьяна Игоревна – кандидат технических наук, доцент кафедры Автомобильный транспорт. ФГБОУ ВО “Иркутский национальный исследовательский технический университет”.

Контактная информация: ФГБОУ ВО “Иркутский национальный исследовательский технический университет”, 664074, Россия, Иркутская область, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, тел. 89501116407, e-mail: tatyana_krivcova1985@mail.ru. ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-0462-8455>.

Бураева Галина Михайловна – старший преподаватель кафедры ТС и ОД инженерного факультета Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского.

Контактная информация: ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, 664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодёжный, тел. 8(950)1188406, email: lavaki2009@yandex.ru. ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-4829-2052>.

Information about the authors:

Anna I. Anosova – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technical Service and General Engineering Disciplines of the Engineering Faculty. Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Ezhevsky.

Contact information: FSBEI HE Irkutsk SAU, 664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk district, Molodezhny, tel. 8(983)6938151, email: a.anosova@yandex.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9910-8892>.

Igor V. Belousov – Graduate Student of the Engineering Faculty. Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Ezhevsky.

Contact information: FSBEI HE Irkutsk SAU, 664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk district, Molodezhny, tel. 83952237431, e-mail: belousov.65@mail.ru. ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-4767-0127>.

Tatyana I. Krivtsova – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Automobile Transport. Irkutsk National Research Technical University

Contact information: Irkutsk National Research Technical University, 664074, Irkutsk Region, Russia, Irkutsk, 83 Lermontov str., tel. 89501116407, e-mail: tatyana_krivcova1985@mail.ru. ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-0462-8455>.

Galina M. Buraeva – Senior Lecturer of the Department of Technical Service and General Engineering Disciplines of the Engineering Faculty. Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Ezhevsky.

Contact information: FSBEI HE Irkutsk SAU, 664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk district, Molodezhny, tel. 8(950)1188406, email: lavaki2009@yandex.ru. ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-4829-2052>.



DOI 10.51215/2411-6483-2025-55-17-29

УДК 681.51; 621.314; 621.316

Научная статья

ПРОТОТИП СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА МИКРОКЛИМАТИЧЕСКИХ И ФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В ЖИВОТНОВОДЧЕСКОМ ПОМЕЩЕНИИ С ТЕХНОЛОГИЕЙ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

Ю.Ю. Клибанова, С.А. Павлов, Р.Е. Барахтенко, А.Е. Гусаров

Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского,
п. Молодежный, Иркутский район, Иркутская область, Россия

Аннотация. Во всех областях жизни и деятельности интеллектуальные информационные комплексы направлены на создание единой системы хранения, поиска, сбора, анализа большого объёма информации. Динамично развивающиеся отрасли современного сельского хозяйства также активно используют технологии, работа которых реализована с помощью “Интернет вещей” (IoT). Данные технологии при помощи цифровых сетей способны интегрировать взаимодействие различных устройств, физических и виртуальных объектов, процессов и систем, способствуя эффективному развитию сельскохозяйственного производства.

В животноводстве особое внимание уделяется условиям окружающей среды в помещении для содержания животных и птиц. Наибольшее влияние на производительность и продуктивность животных (птиц) оказывают параметры микроклимата (температура и влажность воздуха), в том числе и физические факторы комфортности (освещенность, шум, газовый состав воздуха). Поэтому разработана и предварительно апробирована работа интеллектуальной системы мониторинга микроклиматических параметров помещений для содержания крупного рогатого скота (КРС). Указанная система измеряет и передаёт в режиме реального времени с датчиков основные микроклиматические параметры: температуру окружающей среды, относительную влажность, а также освещенность и концентрацию углекислого газа (CO₂), пыль. Полученные данные передаются по специальным каналам связи на центральный сервер, предполагающий их хранение и обработку. Система мониторинга состоит из нескольких модулей, работа каждого из которых реализована с помощью вычислительной аппаратной платформы Arduino, включающей скомпонованные платы с микроконтроллерами, датчиками и специальной средой разработки для написания скетчей и прошивок.

Ключевые слова: животноводство, параметры микроклимата, IoT технологии, мониторинг, Arduino UNO.

Для цитирования: Клибанова Ю.Ю., Павлов С.А., Барахтенко Р.Е., Гусаров А.Е. Прототип системы мониторинга микроклиматических и физических параметров в животноводческом помещении с технологией интернета вещей. *Электронный научно-практический журнал “Актуальные вопросы аграрной науки”*. 2025; 2(55):17-29. DOI 10.51215/2411-6483-2025-55-17-29.

PROTOTYPE OF MONITORING SYSTEM OF MICROCLIMATE AND PHYSICAL PARAMETERS IN LIVESTOCK BUILDING WITH INTERNET OF THINGS TECHNOLOGY

Yulia Yu. Klibanova, Stanislav A. Pavlov, Roman E. Barakhtenko, Alexey E. Gusarov

Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky,
Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia

Abstract. In all areas of life and activity, intelligent information systems are aimed at creating a unified system for storing, searching, collecting and analyzing large volumes of information. Dynamically developing sectors of modern agriculture also actively use technologies whose operation is implemented using the Internet of Things (IoT). These technologies, using digital networks, are capable of integrating the interaction of various devices, physical and virtual objects, processes and systems, contributing to the effective development of agricultural production. In animal husbandry, special attention is paid to the environmental conditions in the premises for keeping animals and birds. The greatest influence on the productivity and performance of animals (birds) is exerted by microclimate parameters (air temperature and humidity), including physical factors of comfort (illumination, noise, gas composition of the air). Therefore, the operation of an intelligent system for monitoring the microclimatic parameters of premises for keeping cattle (cattle) has been developed and preliminarily tested. This system measures and transmits the main microclimatic parameters from sensors in real time: ambient temperature, relative humidity, as well as illumination and carbon dioxide concentration (CO₂), dust. The received data is transmitted via special communication channels to the central server, which is supposed to store and process them. The monitoring system consists of several modules, each of which is implemented using the Arduino computing hardware platform, including assembled boards with microcontrollers, sensors and a special development environment for writing sketches and firmware.

Keywords: livestock farming, microclimate parameters, IoT technologies, monitoring, Arduino UNO.

For citation: Klibanova Yu.Yu., Pavlov S.A., Barakhtenko R.E., Gusarov A.E. Prototype of monitoring system of microclimate and physical parameters in livestock building with internet of things technology. *Electronic scientific-Practical journal "Actual issues of agrarian science"*. 2025; 2(55):17-29. DOI 10.51215/2411-6483-2025-55-17-29.

Введение. Условия окружающей среды в животноводческом помещении во многом определяют производительность и продуктивность животных [3, 4, 6, 8]. В настоящее время особое внимание уделяется основным микроклиматическим параметрам, а также факторам комфортности окружающей среды в помещениях для содержания животных и птиц. Повышенная температура, влажность, концентрация твердых частиц и различных газов (CO₂, NH₃), шум оказывают негативное влияние на животных. Оптимальные значения температур в помещении для содержания крупного рогатого скота (КРС) находятся в пределах 7-15°C при относительной влажности 60-70% [7]. Оптимальная освещённость составляет 150-200 Лк [3]. Предельно допустимая концентрация CO₂ не

должна превышать 2500-3000 ppm. Нормальным считается показатель 600-1000 ppm. Содержание аммиака в воздухе животноводческих помещений допустимо в пределах, не превышающих 20 мг/м³ (27 ppm) и нормально – от 0 до 2 мг/м³ (2.7 ppm) [7]. Поддержание оптимальных микроклиматических и физических параметров, особенно газового состава воздуха в животноводческих помещениях является достаточно сложной задачей. Связано это с несколькими факторами, например, неустойчивостью климата со значительными изменениями внешней температуры [6, 9], недостаточной оснащённостью техническим оборудованием для непрерывного мониторинга и управления микроклиматом. Кроме того, в помещениях, для которых характерны резкие колебания температуры, влажности, газового состава воздуха, запылённости необходимо специализированное техническое оборудование, способное бесперебойно работать в подобных условиях [3, 5].

“Гигротермон” наиболее распространённая система мониторинга микроклимата, используемая в агропромышленном комплексе в РФ [4]. В основном она располагается в чистых помещениях, таких как молочный цех, колбасный цех, где среда менее агрессивная. Группа компаний “ТехноКом” под собственным брендом “СканЭйр Темп” предлагают полностью автоматизированные системы для контроля температуры и влажности в помещениях, в производственных цехах, на фармацевтических и продовольственных складах. Компания ООО “Инженерные Технологии” занимается разработкой электронных контрольно-измерительных приборов и программного обеспечения для регистрации и контроля параметров микроклимата. Компания АО “ЭКСИС” предлагает стационарные и портативные комплекты приборов для контроля параметров микроклимата офисных и складских помещений, учебных аудиторий, сельскохозяйственных объектов. Международная компания “SAGRADA” ориентирована на оборудование для птицеводства и животноводства. Их контроллеры микроклимата интегрированы в систему вентиляции и отопления. Зарубежные контроллеры систем управления микроклиматом “BlueControl” от компании SKOV (Дания), “ViperTouch” от компании Big Dutchman (Германия), “Fancom F38” от компании Fancom (Нидерланды) разработаны для свиноводства и птицеводства. Стоимость подобных систем достаточно высока, что делает их доступными только крупным сельскохозяйственным комплексам, оставляя большинство мелких фермерских хозяйств без финансовой возможности приобретения и обслуживания подобного оборудования.

В качестве альтернативы дорогостоящему техническому оборудованию, благодаря технологиям интернета вещей (IoT), стало возможным создание различных интеллектуальных устройств, использующих недорогие и доступные цифровые датчики и комплектующие [1, 2, 5]. Их преимущество, в том, что они могут обеспечить мониторинг

микроклиматических и физических параметров в реальном времени в любых помещениях с разными условиями окружающей среды [10, 11].

Применение таких систем на фермах позволят оптимизировать условия микроклимата в помещениях, что способствует улучшению здоровья и благополучия животных, а это напрямую влияет на продуктивность животных и птиц. Онлайн мониторинг параметров микроклимата дает возможность фермеру оперативно принимать решение по созданию оптимальных условий содержания животных [11]. Актуальным стало создание и разработка подходящего многоцелевого и доступного по цене устройства для мониторинга условий окружающей среды в животноводческом помещении [8].

Целью работы является разработка архитектуры прототипа интеллектуальной системы мониторинга микроклиматических и физических параметров в помещениях для содержания животных (птиц).

Для достижения поставленной цели необходимо решение следующих задач:

– изучить существующие системы мониторинга параметров микроклимата;

– разработать устройство модульного типа для сбора, хранения и передачи данных микроклиматических (температура, влажность) и физических (газовый состав, освещенность) параметров в животноводческих помещениях с применением технологий интернета вещей (IoT);

– разработать программное обеспечение для системы мониторинга микроклиматических и физических параметров в животноводческих помещениях;

Разработанная автоматизированная система может быть использована для получения данных в режиме реального времени основных микроклиматических и физических параметров животноводческого помещения для содержания КРС и отправки данных на сервер для хранения и дальнейшей обработки. Это даст возможность фермерам в оптимальные сроки принять действенные меры по регулированию воздухообмена и температурного режима, исходя из объективных данных о микроклиматических параметрах в помещении. Накопленные данные могут быть полезны для моделирования системы управления микроклиматом в животноводческом помещении для каждой возрастной группы животных (птиц) с учетом их физиологических и продуктивных способностей [8]. Предлагаемая полезная модель особенно актуальна для применения в животноводческих помещениях, в которых окружающая среда более агрессивна и может содержать различные газы (кислород, углекислый газ, аммиак, сероводород и др.), примеси (пыль и микроорганизмы).

Материалы и методы. Разработан прототип устройства модульного типа для сбора, хранения и передачи данных микроклиматических параметров, предполагающий представление концепции, проверку работы и

выявление недостатков системы. Рассматриваемый проект создан на аппаратной платформе Arduino, в состав которой входит среда разработки скетчей (программ) Arduino UNO. Среда разработки Arduino содержит текстовый редактор программного кода, области сообщений, окна вывода текста (консоль), кнопки панели инструментов, меню, библиотеки. С помощью скетча программируется платформа Arduino, то есть происходит написание пользователем программы по специальным правилам для работы составляющих устройства. Подобраны мощные недорогие микроконтроллеры ESP8266 и ATmega328 с интегрированным Wi-Fi модулем, позволяющим реализовывать проекты Интернета вещей (IoT) [1, 2, 10]. Оба микроконтроллера обладают высокой вычислительной мощностью и низким потреблением электроэнергии. Для измерения микроклиматических параметров окружающей среды в помещении с содержанием КРС подобраны цифровые датчики, подключаемые к портам ввода-вывода микроконтроллера.

На сегодняшний день существует огромное количество цифровых датчиков для измерения различных показателей. В самой первой модификации разрабатываемого устройства использовались популярные на тот момент датчик температуры и относительной влажности воздуха DH22 (диапазон измерения температуры от -40°C до $+125^{\circ}\text{C}$; влажности от 0% до 100%), датчик освещённости BH1750 (диапазон измерения от 0 до 63 кЛк) и датчик качества воздуха MQ-135, чувствительный к широкому спектру газов (диапазон измерений от 0 до 10000 ppm) [8]. Исследуя работу датчиков и анализируя полученные данные, принято решение использовать более новые датчики, имеющие ряд преимуществ относительно предыдущих датчиков. Датчик DH22 работал стабильно, но выдавал показания сильно заниженными данными, в результате чего вводился поправочный коэффициент. Поэтому решено использовать датчик температуры и относительной влажности HTU21D. Диапазон измерений температуры от -40 до $+125^{\circ}\text{C}$ с точностью измерения 0.3°C и влажности от 0 до 100% с погрешностью 2%. Этот датчик с более точными показаниями, с заводской калибровкой и может бесперебойно работать в агрессивных средах, таких как в животноводческом помещении.

Для измерения качества воздуха решено использовать инновационный цифровой датчик качества воздуха CCS811, определяющий значение eCO_2 (эквивалент значения концентрации углекислого газа), значение летучих органических соединений (ЛОС), имеет диапазон измеряемой концентрации eCO_2 от 400 ppm до 8192 ppm. Данный датчик интегрирует газовый датчик оксида металла (МОХ) для обнаружения широкого спектра летучих органических соединений (ЛОС), то есть позволяет обнаруживать несколько газов с высокой чувствительностью. Датчик МОХ объединяет газочувствительный элемент и нагревательный элемент для селективности газа. Этот датчик вступает в химическую реакцию с газами

(окисление/восстановление), что позволяет ему измерять испаряющиеся в воздухе ЛОС при температуре окружающей среды, на основании чего он оценивает концентрацию CO_2 (eCO_2). В отличие от MQ-135 подключается к микроконтроллеру через интерфейс I2C, что уменьшает время передачи данных от датчика к пишущему устройству. Кроме того у него низкое энергопотребление и он устойчив к резким перепадам микроклиматических параметров окружающей среды, характерных для животноводческих помещений. Обоим датчикам MQ-135 и CCS811 для автоматической калибровки необходим первичный период использования (48 часов), в течение которого они должны работать бесперебойно. Для измерения освещенности в животноводческом помещении использовали цифровой датчик освещенности ВН1750, выдающий показания в люксах и работающий в режиме энергосбережения.

Основные результаты. Интеллектуальная система мониторинга микроклиматических параметров животноводческих помещений подразумевает наличие нескольких отдельных измерительных модулей, включающих цифровые датчики, которые непрерывно в режиме реального времени измеряют различные параметры микроклимата в помещении. Цифровые сигналы со всех датчиков передаются на центральный сервер для дальнейшей обработки, анализа и хранения. На рисунке 1 показана функциональная схема устройства. Архитектура спроектирована таким образом, что можно дополнять новые типы датчиков и источники данных, открывая возможность для дальнейшего усовершенствования системы, включая реализацию полноценного автоматического регулирования микроклимата в животноводческих помещениях.



Рисунок 1 – Функциональная схема устройства для сбора, хранения и передачи данных микроклиматических (температура, влажность) и физических (газовый состав, освещенность) параметров в животноводческих помещениях с применением технологий интернета вещей (IoT)

Figure 1 – Functional diagram of a device for collecting, storing and transmitting data on microclimatic (temperature, humidity) and physical (gas composition, illumination) parameters in livestock buildings using Internet of Things (IoT) technologies

В животноводческом помещении агрессивная окружающая среда с постоянным наличием пыли. Поэтому был спроектирован и с помощью 3D принтера напечатан защитный корпус, устойчивый к механическим повреждениям и неблагоприятным условиям окружающей среды. Блок датчиков также частично защищен с помощью компаундов и влагостойких лаков. Это предотвращает негативное влияние пыли и влаги на работу датчиков, несмотря на возможность их проникновения в корпус.

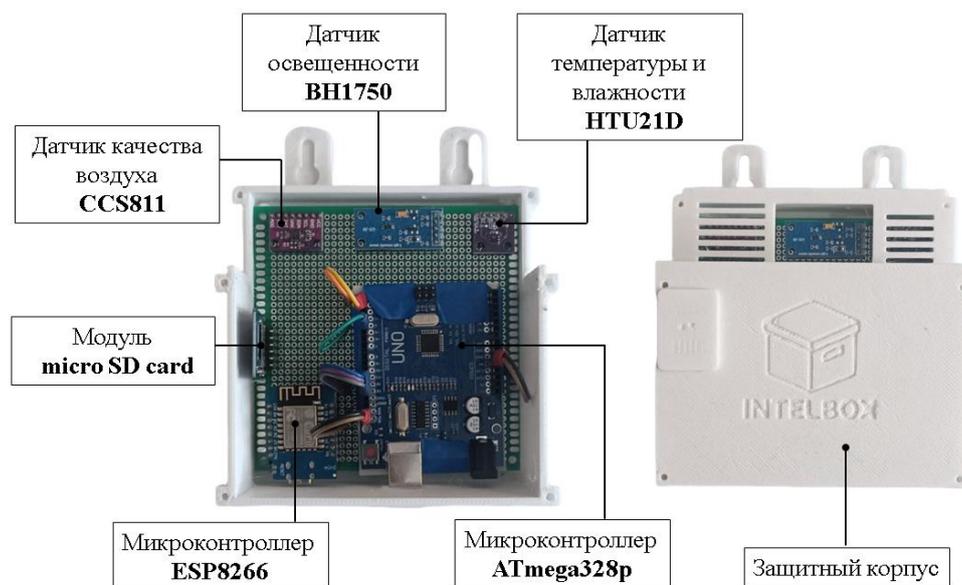


Рисунок 2 – Внешний вид и компоненты измерительного модуля системы мониторинга микроклиматических и физических параметров в животноводческом помещении

Figure 2 – External appearance and components of the measuring module of the system for monitoring microclimatic and physical parameters in a livestock building

Внутри корпуса помещаются плата управления, модуль SD карты. Внешний вид и компоненты измерительного модуля системы мониторинга микроклиматических и физических параметров в животноводческом помещении представлены на рисунке 2.

Каждый модуль системы работает от сети переменного напряжения 220 В, которое подается на выпрямительный блок питания, преобразующий переменное напряжение в постоянное 5 В. Arduino UNO на базе микроконтроллера ATmega328p ежесекундно проверяет показания измеряемых параметров с цифровых датчиков и отправляет их на ESP8266. Программа для сбора данных модуля, сбора и передачи данных для микроконтроллера ATmega328p написана на языке Arduino C. В ней осуществляется инициализация датчиков и определение подключенных к ним контактов, поочередное чтение данных с датчиков и сохранение каждого значения в свою собственную переменную, назначение ключа номера

установки для дальнейшего определения какие данные с какой установки получены. Часть листинга программы представлена на рисунке 3а.

а)	б)
<pre>//Скетч написан на Arduino C //Исходный код на Arduino C для комбинации модулей: HTU21, MQ135, BH1750 #include <GyverHTU21D.h> //Библиотека для работы с датчиком HTU21 #define PIN_MQ135 A0 //Указание пина, к которому подключен MQ135 #include <BH1750.h> //Библиотека для работы с датчиком BH1750 #include <Wire.h> //Библиотека интерфейса подключения по i2c #include <SPI.h> //Библиотека интерфейса подключения по spi #include <SD.h> //Библиотека для работы SD-карты #include <ТройкаMQ.h> //Библиотека для работы с датчиком MQ135 BH1750 lightMeter (0x23); //Инициализация датчика BH1750 MQ135 mq135(PIN_MQ135); //Инициализация датчика MQ135 GyverHTU21D htu; //Инициализация датчика HTU21 const int chipSelect = 4; //Постоянная, хранящая номер пина, к которому подключен float Temp; //Переменная, хранящая показания температуры float Hum; //Переменная, хранящая показания влажности float Gas; //Переменная, хранящая показания качества воздуха float Lum; //Переменная, хранящая показания уровня освещённости String dataString = ""; //Переменная, для хранения строки данных всех датчиков</pre>	<pre>Код написан на Python import socket, threading #Библиотеки для связи import datetime #Библиотека даты и времени LOCALHOST = "192.168.8.101" #Указание ip адреса для подключения PORT = 1488 #Указание порта для подключения dtme = datetime.datetime.now() #Чтение даты и времени с устройства server = socket.socket(socket.AF_INET, socket.SOCK_STREAM) #Настройки соедни server.setsockopt(socket.SOL_SOCKET, socket.SO_REUSEADDR, 1) #настройки соед server.bind((LOCALHOST, PORT)) #Инициализация ip и порта сервера print("Сервер запущен!") print(LOCALHOST) print(PORT) class ClientThread(threading.Thread): #Функция работы сервера def __init__(self,clientAddress,clientsocket): #Инициализация подключено threading.Thread.__init__(self) self.cssocket = clientsocket print ("Новое подключение: ", clientAddress) def run(self): #Функция обработки запросов msg = "" #Переменная для хранения запроса first_ust = ['один', 'два', 'три', 'четыре', 'пять'] second_ust = ['один', 'два', 'три', 'четыре', 'пять'] third_ust = ['один', 'два', 'три', 'четыре', 'пять'] fourth_ust = ['один', 'два', 'три', 'четыре', 'пять']</pre>

Рисунок 3 – Часть листинга программы: а) скетч на языке Arauino C; б) скетч на языке MicroPython

Figure 3 – Part of the program listing: a) sketch in Arauino C language; b) sketch in MicroPython language

Программа передачи данных модуля сбора для микроконтроллера ESP8266 написана языком MicroPython. В ней осуществляется подключение к сети Wi-Fi; сопряжение с центральным серверным модулем по локальной сети, получение строки с микроконтроллера ATmega328p и передача её на центральный серверный модуль по локальной сети Wi-Fi. На рисунке 4а показан внешний вид центрального сервера. Центральный серверный модуль делает свой IP адрес видимым для локальной сети Wi-Fi, создает порт для возможности подключения к нему устройства, находящегося в этой же локальной сети. Микроконтроллер ESP8266 подключается по IP адресу к открытому порту серверного модуля. Esp8266 объединяет два микроклиматических и два физических показателя в строку данных формата “номер модуля; температура; влажность; качество воздуха; освещённость” и отправляет эту строку на сервер. Сервер получает строку и разбивает её на массив, формата [номер установки], [температура], [влажность], [качество воздуха], [освещённость]. Обращаясь к первому элементу массива, он понимает, с какого конкретно модуля пришли данные. Обращаясь к последующим элементам массива, он понимает, где конкретно какой показатель (рис.3б).

Апробация работы системы проходила на учебной ферме ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, расположенной в п. Молодежном Иркутского района в период с 25.06.2024 по 27.06.2024. Шесть модулей и центральный сервер

установлены по периметру животноводческого помещения на расстоянии 4 м друг от друга. На рисунке 4б представлены первые результаты измерений основных микроклиматических и физических параметров по данным третьего модуля системы для периода времени с 14:00 до 23:00 ч:мин, 25 июня 2024 года. Представленные данные получены с устройства, в котором не проводилась калибровка датчиков, так как это первые тестовые измерения. В дальнейшем будет проведен анализ работы всей системы в целом, каждого модуля с последующей необходимой калибровкой датчиков и наладкой работы устройства.

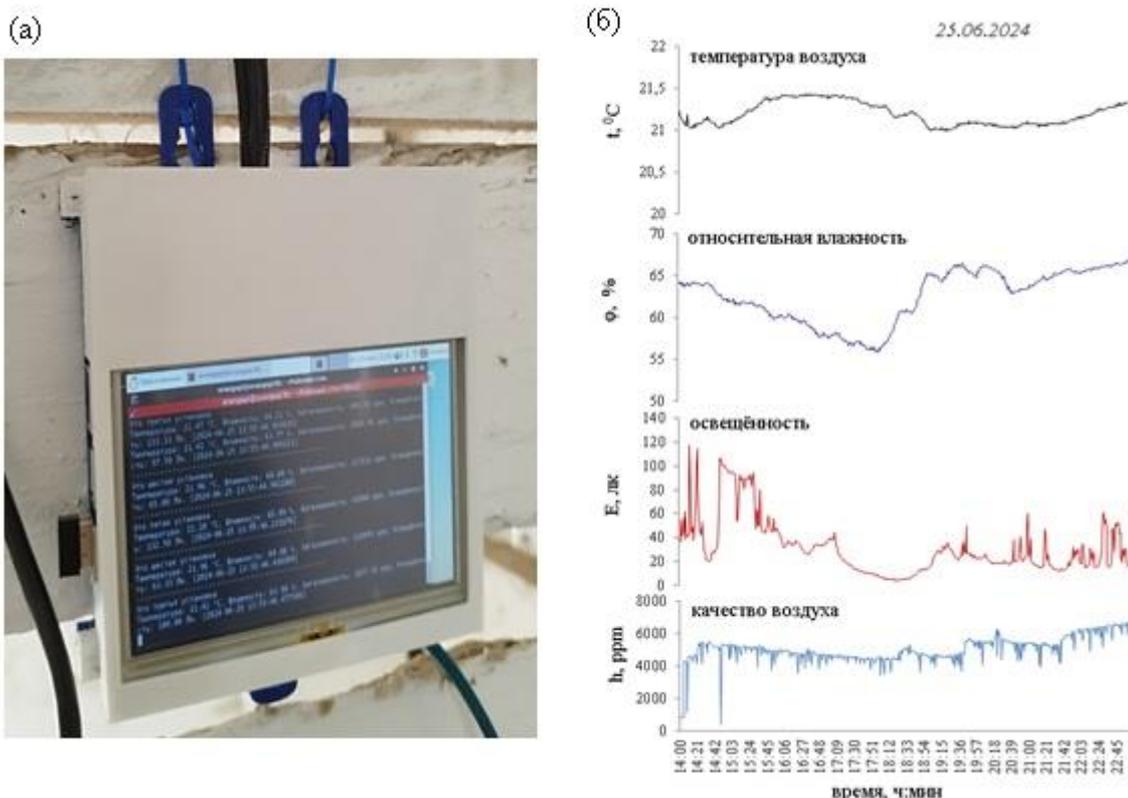


Рисунок 4 –Серверный модуль для сбора и хранения данных микроклиматических и физических параметров (а) и данные температуры, относительной влажности, освещённости и газового состава воздуха на учебной ферме Иркутского ГАУ (б)

Figure 4 – Server module for collecting and storing data on microclimatic and physical parameters (a) and data on temperature, relative humidity, illumination and gas composition of the air at the training farm of the Irkutsk SAU (b)

Заключение. На данном этапе работы разработано устройство модульного типа для сбора, хранения и передачи данных микроклиматических (температура, влажность) и физических (газовый состав, освещенность) параметров в животноводческих помещениях с применением технологий интернета вещей (IoT) на базе Arduino UNO.

Собран прототип системы мониторинга, включающий шесть таких модулей и центральный сервер для сбора и хранения данных, получаемых со всех модулей в режиме реального времени.

В тестовом режиме система показала свою работоспособность и возможность получать и накапливать данные о состоянии окружающей среды в животноводческом помещении. В дальнейшем планируется доработка данного прототипа системы мониторинга микроклиматических и физических параметров в животноводческом помещении.

Благодарность. Работа выполнена в рамках конкурса “Студенческий Стартап” Фонда содействия инновациям, а также в рамках конкурса НИОКР молодых ученых на соискание гранта ФГБОУ ВО “Иркутский государственный университет имени А.А. Ежовского”.

Список литературы

1. Антонова, В.М. Реализация технологии IoT для мониторинга данных через облачный сервис / В.М. Антонова, Е.Е. Маликова, А.Е. Панов, И.В. Спичек, А.Ю. Маликов // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт, 2021. – Том 15. – №2. – С. 46-53.
2. Асалханов, П.Г. Концепция “умная аудитория” для проведения учебных занятий в аграрном вузе / П.Г. Асалханов, С.А. Петрова // Актуальные вопросы аграрной науки. – 2021. – № 40. – С. 37-44
3. Довлатов, И.М. Система обеспечения параметров воздуха в помещении для содержания крупного рогатого скота / И.М. Довлатов, В.В. Кирсанов, И.В. Комков [и др.] // Агроинженерия, 2023. – Т. 25. – № 3. – С. 5-12. DOI: 10.26897/2687-1149-2023-3-5-12.
4. Ильин, Р.М. Обоснование параметров системы мониторинга микроклимата в животноводческих помещениях / Р.М. Ильин, С.В. Вторый // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства, 2017. – № 92. – С. 212-217.
5. Макишвили, А.В. Организация удаленного управления для системы поддержки микроклимата в складских помещениях / А.В. Макишвили, П.Г. Асалханов // Актуальные вопросы аграрной науки, 2021.– № 38. – С. 58-66.
6. Мартынова, Е. Формирование микроклимата животноводческих помещений под воздействием температуры наружного воздуха / Е. Мартынова, Е. Ястребова // Молочное и мясное скотоводство, 2012. – № 4. – С. 24-26.
7. Павлов, С.А. Параметры микроклимата животноводческих помещений и их влияние на организм животного / С.А. Павлов // Климат, экология и сельское хозяйство Евразии: матер. XII междунар. научно-практ. конф., п. Молодежный, 27-28 апреля 2023 года. – п. Молодежный: Иркутский ГАУ, 2023. – С. 281-286.
8. Павлов, С.А. Проектирование модуля для сбора информации о параметрах микроклимата в животноводческом помещении на базе Arduino UNO / С.А. Павлов, Ю.Ю. Клибанова, Р.Е. Барахтенко, А.Е. Гусаров // Journal of Agriculture and Environment, 2024. – № 3(43). DOI: 10.23649/JAE.2024.43.4.
9. Староселов, М.А. Влияние параметров окружающей среды в различные сезоны года на микроклимат животноводческих помещений / М.А. Староселов, Н.Ю. Басова, А.К. Схатум [и др.] // Российский журнал Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии, 2018. – № 1(25). – С. 69-72. DOI: 10.25725/vet.san.hyг.ecol.201801011.
10. Ядровская, М.В. Перспективы технологии интернета вещей / М.В. Ядровская, М.В. Поркшеян, А.А. Синельников // Advanced Engineering Research, 2021. –Т. 21, № 2. – С. 207–217. DOI: 10.23947/2687-1653-2021-21-2-207-217

11. Provolo, G., Brandolese, C., Grotto, M., Marinucci, A., Fossati, N., Ferrari, O., Beretta, E., Riva, E. An Internet of Things Framework for Monitoring Environmental Conditions in Livestock Housing to Improve Animal Welfare and Assess Environmental Impact. *Animals* 2025, 15, 644. DOI:10.3390/ani15050644

References

1. Antonova, V.M. et al. Pealizaciya tekhnologii IoT dlya monitoringa dannykh cherez oblachnyj servis [Implementation of IoT technology for data monitoring via a cloud service]. *T-Comm: Telekommunikacii i transport*, 2021, vol. 15, no. 2, pp. 46-53.

2. Asalkhanov, P.G., Petrova, S.A. Konceptiya “umnaya auditoriya” dlya provedeniya uchebnykh zanyatij v agrarnom vuze [The concept of “smart classroom” for conducting educational classes at an agricultural university]. *Aktual'nye voprosy agrarnoj nauki*, 2021, no. 40, pp. 37-44

3. Dovlatov, I.M. et al. Sistema obespecheniya parametrov vozdukh v pomeshchenii dlya sodержaniya krupnogo rogatogo skota [System for ensuring air parameters in a room for keeping cattle]. *Agroinzhenneriya*, 2023, vol. 25, no. 3, pp. 5-12. DOI: 10.26897/2687-1149-2023-3-5-12.

4. Il'in, R.M., Vtoryj, S.V. Obosnovanie parametrov sistemy monitoringa mikroklimate v zhivotnovodcheskikh pomeshcheniyakh [Justification of the parameters of the microclimate monitoring system in livestock buildings]. *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produkcii rastenievodstva i zhivotnovodstva*, 2017, no. 92, pp. 212-217.

5. Makishvili, A.V., Asalkhanov, P.G. Organizaciya udalennogo upravleniya dlya sistemy podderzhki mikroklimate v skladskikh pomeshcheniyakh [Organization of remote control for the microclimate support system in warehouses]. *Aktual'nye voprosy agrarnoj nauki*, 2021, no. 38, pp. 58-66.

6. Martynova, E., Yastrebova, E. Formirovanie mikroklimate zhivotnovodcheskikh pomeshchenij pod vozdejstviem temperatury naruzhnogo vozdukh [Formation of the microclimate of livestock buildings under the influence of outside air temperature]. *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo*, 2012, no. 4, pp. 24-26.

7. Pavlov, S.A. Parametry mikroklimate zhivotnovodcheskikh pomeshchenij i ikh vliyanie na organizm zhivotnogo [Microclimate parameters of livestock buildings and their influence on the animal's body]. *Molodezhnyj*, 2023, pp. 281-286.

8. Pavlov, S.A. et al. Proektirovanie modulya dlya sbora informacii o parametrah mikroklimate v zhivotnovodcheskom pomeshchenii na baze Arduino UNO [Design of a module for collecting information on the microclimate parameters in a livestock building based on Arduino UNO]. *Journal of Agriculture and Environment*, 2024, no. 3(43), DOI: 10.23649/JAE.2024.43.4.

9. Staroselov, M.A. et al. Vliyanie parametrov okruzhayushchej sredy v razlichnye sezony goda na mikroklimate zhivotnovodcheskikh pomeshchenij [Influence of environmental parameters in different seasons of the year on the microclimate of livestock buildings]. *Rossijskij zhurnal Problemy veterinarnoj sanitarii, gigieny i ehkologii*, 2018, no. 1(25), pp. 69-72. DOI: 10.25725/vet.san.hyg.ecol.201801011.

10. Yadrovskaya, M.V. et al. Perspektivy tekhnologii interneta veshchej [Prospects of the Internet of Things Technology]. *Advanced Engineering Research*, 2021, vol. 21, no. 2, pp. 207-217. DOI: 10.23947/2687-1653-2021-21-2-207-217

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе полученных данных. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие конфликта интересов.

Author's contribution. All authors of this study were directly involved in the planning, execution and analysis of this study. All authors of the article reviewed and approved the final version of the manuscript.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interest.

История статьи / Article history

Дата поступления в редакцию / Received: 14.05.2025

Поступила после рецензирования и доработки / Received: 16.06.2025

Дата принятия к печати / Accepted: 27.06.2025

Сведения об авторах

Клибанова Юлия Юрьевна – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры электрооборудования и физики. Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежовского.

Контактная информация: ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, 664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодёжный, тел.: 89086473947, e-mail: malozemova81@mail.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-7151-3629>.

Павлов Станислав Андреевич – кандидат ветеринарных наук, доцент кафедры специальных ветеринарных дисциплин, факультет биотехнологии и ветеринарной медицины. Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежовского.

Контактная информация: ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, 664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодёжный, тел.: 9500665432, e-mail: stan-06@yandex.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-7300-231X>.

Барахтенко Роман Евгеньевич – студент 2 курса, энергетического факультета. Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежовского.

Контактная информация: ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, 664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодёжный, e-mail: barahenko.roman@mail.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0009-0002-4210-8637>.

Гусаров Алексей Евгеньевич – студент 2 курса энергетического факультета. Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежовского.

Контактная информация: ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, 664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодёжный, тел.: 89500934910, e-mail: fine.gusarov@yandex.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0009-0001-6466-2172>.

Information about the authors:

Yulia Yu. Klibanova – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Electrical Equipment and Physics Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky.

Contact information: FSBEI HE Irkutsk SAU, 664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk district, Molodezhny, tel.: 89086473947, e-mail: calozemova81@mail.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-7151-3629>.

Stanislav A. Pavlov – Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor of the Department of Special Veterinary Disciplines, Faculty of Biotechnology and Veterinary Medicine. Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky.

Contact information: FSBEI HE Irkutsk SAU, 664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk district, Molodezhny, tel.: 9500665432, e-mail: Stan-06@yandex.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-7300-231X>.

Roman E. Barakhtenko – 2nd year Student of the Energy Faculty. Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky.

Contact information: FSBEI HE Irkutsk SAU, 664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk district, Molodezhny, e-mail: Barakhtenko.Roman@mail.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0009-0002-4210-8637>.

Alexey E. Gusarov – 2nd year Student of the Energy Faculty. Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky.

Contact information: FSBEI HE Irkutsk SAU, 664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk district, Molodezhny, tel.: 89500934910, e-mail: fine.gusarov@yandex.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0009-0001-6466-2172>.



DOI 10.51215/2411-6483-2025-55-30-45

УДК 621.311.1.004.63

Научная статья

О ПОВРЕЖДАЕМОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ И ПРИЧИНАХ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ОТКАЗОВ В ФИЛИАЛАХ ПАО “РОССЕТИ СИБИРЬ”

И.В. Наумов

Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского,
п. Молодежный, Иркутский район, Иркутская область, Россия

Аннотация. Объективный и систематический мониторинг аварийности при транспортировке электрической энергии потребителям позволяет, на основе полученной информации, разрабатывать действенные планы проведения противоаварийных мероприятий, что в значительной степени повышает уровень надежности электроснабжения. *Целью* статьи является анализ аварийности и причин повреждаемости в электрических сетях отдельных филиалов ПАО “Россети Сибирь” при транспорте электрической энергии по воздушным и кабельным линиям электропередачи, а также анализ последствий аварийных отключений, представленных исследованием величины недоотпуска электрической энергии в результате этих аварийных отключений. В качестве исходных данных использованы материалы по техническому состоянию отдельных филиалов, опубликованные в открытой печати. Из общего количества филиалов ПАО “Россети Сибирь” для исследования выбрано четыре филиала: “Красноярскэнерго”, “Читаэнергообл”, “Алтайэнерго” и “Тываэнерго”. При подготовке статьи использовались *методы* численного анализа, позволяющие производить оценку последствий аварийных отключений, а также методологические основы оценки эффективности уровня электроснабжения в рассматриваемых электросетевых компаниях. Для расчета и визуализации исследуемых величин использовались технологии MATLAB, Excel. Произведенные исследования позволили установить степень повреждаемости исследуемых электрических сетей, основные причины этих повреждений, а также величину недоотпуска электрической энергии в результате произошедших отказов в электрических сетях исследуемых филиалов. Полученные *результаты* могут представлять интерес научным работникам и инженерно-техническим специалистам электросетевых компаний, занимающихся исследованиями в области надежности электроснабжения.

Ключевые слова: перерывы электроснабжения, недоотпуск электроэнергии, интенсивность отказов, причины возникновения отказов.

Для цитирования: Наумов И.В. О повреждаемости электрических сетей и причинах возникновения отказов в филиалах ПАО “Россети Сибирь”. *Электронный научно-практический журнал “Актуальные вопросы аграрной науки”*. 2025; 2(55):30-45. DOI: 10.51215/2411-6483-2025-55-30-45.

ON THE DAMAGE TO ELECTRICAL NETWORKS AND THE CAUSES OF FAILURES IN THE BRANCHES OF PJSC “ROSSETI SIBERIA”

Igor V. Naumov

Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky,
Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia

Abstract. Objective and systematic monitoring of accidents during transportation of electric energy to consumers allows, on the basis of the information received, to develop effective plans for emergency response measures, which significantly increases the level of reliability of power supply. The purpose of the article is to analyze accidents and causes of damage in the electric networks of individual branches of PJSC “Rosseti Siberia” during transportation of electric energy via overhead and cable power lines, as well as to analyze the consequences of emergency shutdowns, represented by a study of the amount of undersupply of electric energy as a result of these emergency shutdowns. The initial data were materials on the technical condition of individual branches published in the open press. Of the total number of branches of PJSC “Rosseti Siberia”, four branches were selected for the study: Krasnoyarskenergo, Chitaenergobyt, Altaienergo and Tyvaenergo. In preparing the article, numerical analysis methods were used to assess the consequences of emergency shutdowns, as well as methodological foundations for assessing the efficiency of the power supply level in the considered grid companies. MATLAB and Excel technologies were used to calculate and visualize the studied values. The studies made it possible to establish the degree of damage to the studied electrical networks, the main causes of these damages, as well as the amount of undersupply of electrical energy as a result of failures in the electrical networks of the studied branches. The results obtained may be of interest to researchers and engineering and technical specialists of electric grid companies engaged in research in the field of power supply reliability. **Keywords:** power supply interruptions, undersupply of electricity, failure rate, causes of failures.

For citation: Naumov I.V. On the damage to electrical networks and the causes of failures in the branches of PJSC “Rosseti Siberia”. *Electronic scientific-Practical journal “Actual issues of agrarian science”*. 2025; 2(55):30-45. DOI: 10.51215/2411-6483-2025-55-30-45.

Введение. В соответствии с Распоряжением Правительства РФ от 13.11.2009 за № 1715-Р “Целью энергетической политики России является максимально эффективное использование природных энергетических ресурсов и потенциала энергетического сектора для устойчивого роста экономики, повышения качества жизни населения страны и содействия укреплению ее внешнеэкономических позиций”. Кроме того, отмечено, что энергетическая безопасность нашего государства, являясь основным критерием оценки уровня национальной безопасности, немыслима без выполнения основополагающих принципов ее формирования, один из которых трактуется, как “недопущение угрожающего энергетической безопасности уровня износа основных производственных фондов и стимулирование привлечения инвестиций для их модернизации за счет внедрения механизмов инвестиционного налогового кредита, налоговых каникул на проектный срок окупаемости инвестиций,

ускоренной амортизации, страхования инвестиционных рисков”. В соответствии с Распоряжением Правительства РФ от 9 июня 2020 г. № 1523-р, устанавливающим Энергетическую стратегию Российской Федерации на период до 2035 года указывается, что “Приоритетами государственной энергетической политики Российской Федерации являются: первоочередное удовлетворение внутреннего спроса на продукцию и услуги в сфере энергетики и максимально возможное использование оборудования..”. И особую актуальность уровень надежности электропередачи приобретает в условиях непрекращающихся военных действий, требующих непрерывного производства военной продукции. Поэтому для достижения указанных приоритетов необходимо максимально использовать все возможности для обеспечения надежной доставки потоков электрической энергии к месту ее потребления. В дополнение к этому степень износа этих фондов весьма существенна. Так, в конце 2023 г. по Российской Федерации она составила 40.5 %. Конечно, следует отметить и тот факт, что начиная с 2014 до конца 2023 г. износ сократился с 49.4 до 40.5 % , то есть на 8.9 % [3]. Более сложная ситуация с основными фондами, даже в большей степени угрожающая, чем в остальных отраслях хозяйственной деятельности, сложилась и в электросетевом комплексе России. Так, в Распоряжении Правительства Российской Федерации от 3 апреля 2013 г. № 511-р, устанавливающим Стратегию развития электросетевого комплекса Российской Федерации, сказано, что: “Основной целью (миссией) деятельности электросетевого комплекса является долгосрочное обеспечение надежного, качественного и доступного энергоснабжения потребителей Российской Федерации путем организации максимально эффективной и соответствующей мировым стандартам сетевой инфраструктуры по тарифам на передачу электрической энергии..” и “Целью функционирования распределительного электросетевого комплекса является долгосрочное обеспечение надежного, качественного и доступного энергоснабжения потребителей на всей территории соответствующего региона на этапе распределения электрической энергии за счет организации максимально эффективной инфраструктуры и максимально возможное использование оборудования, имеющего подтверждение производства на территории Российской Федерации”. По опубликованным данным нормативный срок выработан уже 50-ю % магистральных сетей и 70-ю % распределительных сетей. При этом в некоторых электросетевых компаниях ситуация очень сложная. Так, износ основных фондов электрических сетей в Белгородской области составил 67% [3], а по данным [10] в филиале ПАО “Россети Центра” – “Тверьэнерго” износ активной части фондов составлял 75%, в филиале “Ярэнерго” – около 70%. При этом динамика износа основного электрооборудования в целом по ПАО “Россети Центра” всего за 1 год (с 30.06.2023 по 30.06.2024 гг.) показала, что усредненный износ электросетевого оборудования составил 76.7 % [6].

Воздушные и кабельные линии среднего класса напряжения 6-35 кВ образуют основу распределительных сетей Российской Федерации. Общая протяженность линий данного класса напряжения по данным ОАО “ФСК ЕЭС” составляет более 1.3 млн км [4]. Протяженность электрических сетей с номинальным напряжением 6-10 кВ на территории РФ соответствует не более 40 % от длины линий электропередачи с напряжением 110 кВ, но в них происходит до 80 % аварий и коротких замыканий (КЗ). При этом более 70 % основных фондов (сети и оборудование распределения и управления) морально и физически изношены (средний срок эксплуатации 25-30 лет), что приводит к потерям электроэнергии около 12-15% и низкому качеству поставок электричества потребителю, который, в свою очередь, несет убытки от повреждений на линиях электропередачи [7].

В ПАО “Россети Сибирь” входят следующие филиалы: “Алтайэнерго”, “Бурятэнерго”, “Красноярскэнерго”, “Кузбассэнерго – региональные электрические сети”, “Омскэнерго”, “Хакасэнерго”, “Читаэнерго” “Тываэнерго”. В рамках данной статьи, целью которой является анализ аварийности и причин возникновения отказов, рассматривается четыре филиала: “Красноярскэнерго”, “Читаэнергосбыт”, “Алтайэнерго” и “Тываэнерго”.

Таким образом, *целью* статьи является рассмотрение аварийности в четырех филиалах компаниях ПАО “Россети”, основных причинах возникновения событий отказов.

Результаты исследования. На основании постановления Правительства РФ [1] любая электросетевая компания, осуществляющая передачу и распределение электрической энергии (ЭЭ), обязана раскрывать информацию о своей деятельности в открытом доступе. Таким образом, представленная в данной статье информация и ее анализ основываются на реальных значениях, взятых из отчетных данных каждой из рассматриваемых филиалов ПАО “Россети Сибирь”. При этом следует отметить, что исследование аварийности для разных компаний производилось за разные временные интервалы (табл.).

Таблица – Анализ аварийности в электрических сетях

Table – Analysis of accidents in electrical networks

№п/п	Наименование компании (филиалы компании «Россети»)	Период наблюдения, годы	Количество аварий, шт.	Недоотпуск ЭЭ, тыс. кВт.ч
1	«Красноярскэнергосбыт»	2016 – 2022	23991	8 615,5021
2	АО «Читаэнергосбыт»	2016 – 2022	15018	1513,9
3	АО «Алтайэнерго»	2020 – 2022	1781	217,33
4	АО «Тываэнерго»	2017 – 2022	5 500	2 138,7634

В компании 1 – “Красноярскэнергосбыт” (КЭС) за 7-летний период

наблюдения зафиксировано 23991 событий отказов, которым соответствует недоотпуск ЭЭ в размере 8 615.5021 тыс. кВт.ч. При общей протяженности ЭС КЭС, равной 5 181.675 км [5], удельная аварийность (количество отключений на один километр) за исследуемый интервал времени компании на производство превентивных противоаварийных мероприятий. почти пять отказов на один километр ЭС компании. Это свидетельствует о значительном износе электрических сетей компании. Характерные причины отказов в ЭС КЭС рассмотрены за полугодие: с января по июнь 2022 г. (рис. 1).

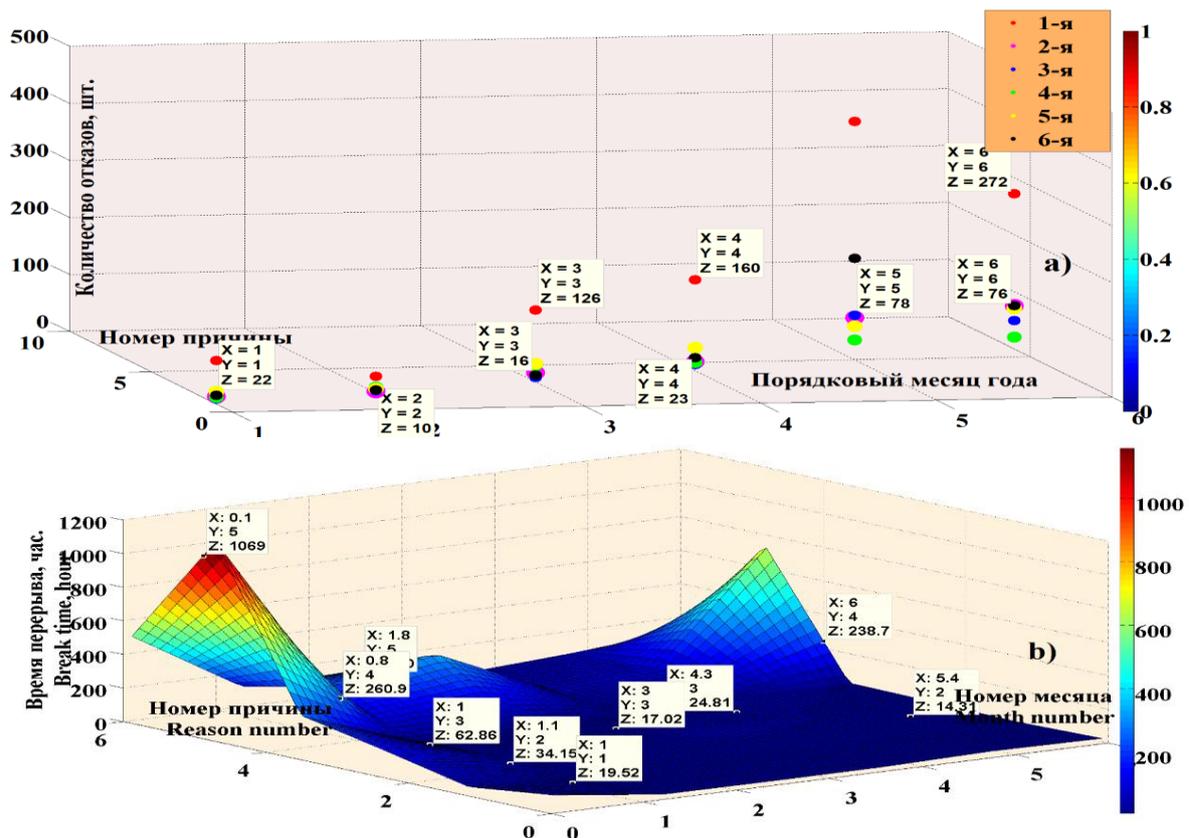


Рисунок 1 – Диаграммы изменения количества отказов по причинам (а) и продолжительности перерывов (б) в электрических сетях КЭС за первое полугодие 2022 г.

Figure 1 – Diagrams of changes in the number of failures due to reasons (a) and duration of interruptions (b) in the electrical networks of the CES for the first half of 2022

Из всего перечня причин и их совокупностей, вызывающих аварийные ситуации в электрических сетях, отмеченных в [2], в сетях КЭС наиболее часто встречающимися причинами являются 6 основных групп: **1-я** группа, связанная с износом оборудования, объединяющая обрыв и схлест проводов, аварийные ситуации с высоковольтными изоляторами, повреждение кабеля, износ и падение опор ВЛ; **2-я** группа причин объединяет аварийные

ситуации, связанные со случайными событиями: наезд автотранспорта и наброс посторонних предметов на провода ВЛ; **3-я** группа объединяет падение деревьев и проникновение животных; **4-я** группа объединяет достаточно редкие аварийные ситуации в рассматриваемых сетях: повреждение предохранителей и силовых трансформаторов, а также перекрытия изоляции, вызываемые, в основном климатическими факторами, а также жизнедеятельностью птиц.

К **5-й** группе можно отнести отказы в электрических сетях потребителя, связанные, в основном, сходом снега с крыш домов на оголенные вводы в дома. **6-я** группа объединяет все другие аварийные события, в числе которых грозовые явления, низовые пожары, возникающие при пожаре травы, которые влекут за собой возгорание опор ВЛ (чаще всего по заявке МЧС такие сети превентивно отключаются сетевой организацией). На рис. 1 представлен характер изменения отказов и времени перерыва по установленным причинам возникновения аварийных отключений.

Анализ рисунка 1 показал следующее. За весь исследуемый период (с января по июнь 2022 г) произошло 2101 аварийных отключений. При этом на долю причин 1-ой группы приходится (рис. 1а) 51.45 % (1081 отказ), 2-й группы – 9.38 % (197), 3-й – 7.62 % (160); 4-й – 5.81 % (122), 5-й – 11.04 % (232) и 6-й – 14.7 % (309). При этом время перерыва электроснабжения распределилось по группам причин следующим образом (рис. 1б): 1-я – 49.95 % (2190.33 часа); 2-я – 9.32 % (408.49 часа); 3-я – 11, 44 % (501.79 часа); 4-я – 3.18 % (139.41 час.); 5-я – 5.32 % (233.18 час.) и 6-я – 20.79 % (911.6 час.). Указанные отказы привели к общему недоотпуску ЭЭ потребителям в размере 964.77 тыс. кВт·ч. При этом наиболее характерными причинами отказов являются: 1 группа причин – 49.7 % (479.5647 тыс. кВт·ч.); 6-я – 27.7 % (267.1 тыс. кВт·ч.) и 5-я группа – 10.25 % (98.8442 тыс. кВт·ч.). Недоотпуск по остальным причинам составил 12.37 % (119.3 тыс. кВт·ч.).

Динамика отказов, произошедших в ЭС 2 компании – **“Читаэнергосбыт”** (ЧЭС) представлена на рисунке 2. Как следует из данных табл. 1, общему количеству отказов за исследуемый период, равному 10518, соответствует 1513.9 тыс. кВт·ч. недопоставленной ЭЭ, что привело к экономическому ущербу в размере 4829.34 тыс. руб. [8].

Анализ причин повреждаемости проводился также за первое полугодие 2022 года.

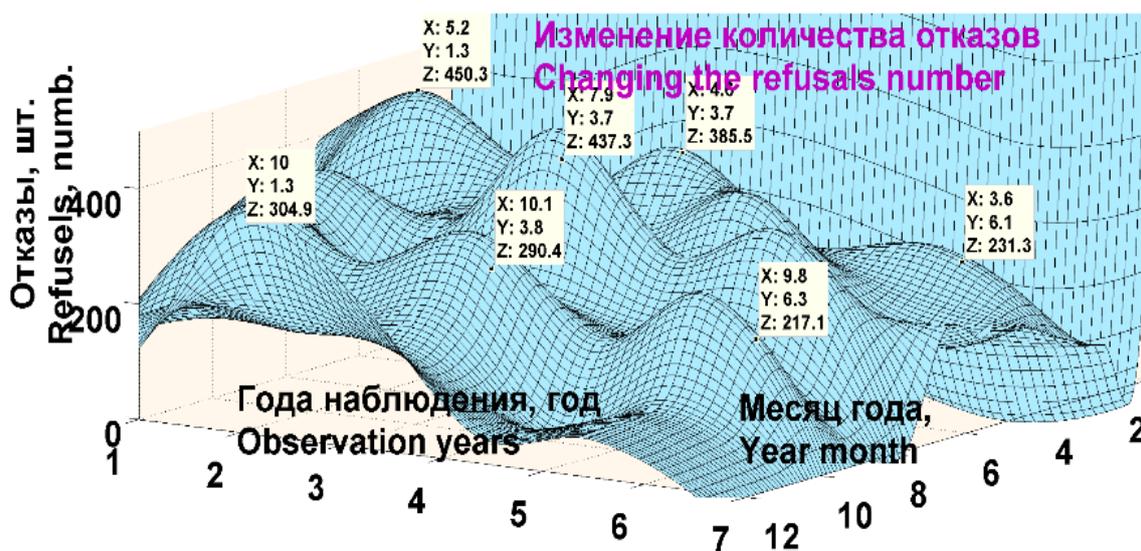


Рисунок 2 – Диаграмма изменения количества отказов в электрических сетях ЧЭС

Figure 2 – Diagram of the change in the number of failures in ChES electrical networks

Основными видами причин, по которым произошли аварийные отключения в электрических сетях ЧЭС, являются следующие: **1-я** – обрыв провода. Чаще всего это действие ветровой нагрузки, при которой изношенные средства крепления провода не в состоянии противодействовать порывам шквалистого ветра; **2-я** – схлест проводов. И вновь, основной подоплекой схлеста под действием ветра является износ средств крепления провода, его естественная вытяжка в процессе эксплуатации; **3-я** – выход из строя предохранителя. Перегорание плавкой вставки в основном является следствием несимметрии токов в трехфазной системе, что обусловлено несбалансированным отбором мощности отдельных потребителей, неравномерно распределенных по трём фазам, а также вероятностным законом их коммутаций; **4-я** – отказы в сети потребителя. В зимнее время причиной таких отказов служит сход снега с крыш частных домохозяйств, при котором происходят обрывы электрических вводов; **5-я** – повреждение изоляторов; **6-я** – наброс посторонних предметов на незащищенные провода ЛЭП. Чаще всего это вызвано набросом металлической проволоки на провода низковольтных ЛЭП. Причиной этого являются птицы, которые, пролетая над ЛЭП при строительстве гнёзд, роняют проволоку на провода. Реже это является свидетельством сознательного наброса металлических предметов детьми. Кроме проволоки замыкания вызываются другими предметами, которые заносятся ветром на провода ЛЭП: воздушные шары, куски полиэтиленовых пленок и прочее; **7-я** – наезд автотранспорта. Это является случайным событием отказа, которое приводит к обрушению опоры ЛЭП (как правило, низковольтной), либо к существенному изменению угла

наклона опоры и соответствующему схлесту, либо обрыву проводов; **8-я** – перекрытие изоляции (чаще всего перекрытие гирлянды изоляторов). Эти отказы свойственны ЛЭП более высокого напряжения (35-110 кВ). Основным показанием для возникновения таких отказов служат проливные дожди, грозы, снегопады (до 80 % таких повреждений по этой причине). Также возможны перекрытия в результате воздействия птиц – перекрытие струёй помета; **9-я** – повреждение кабельных ЛЭП. Такие повреждения свойственны городским электрическим сетям.

Происхождение таких отказов связаны с износом и повреждением изоляции, повреждениями при проведении земельных работ (в основном несанкционированных), реже это связано с нарушением правил монтажа кабельных муфт. И последняя, **10-я** причина – прочие. К классу этих отказов можно отнести воздействие посторонних лиц (как правило, в весенне-летний период – поджоги сухой травы, что приводит к низовому пожару – 1.6% всех отказов); проникновение в электроустановки домашних и диких животных (0.9%), а также не установленные причины (около 2% всех отказов).

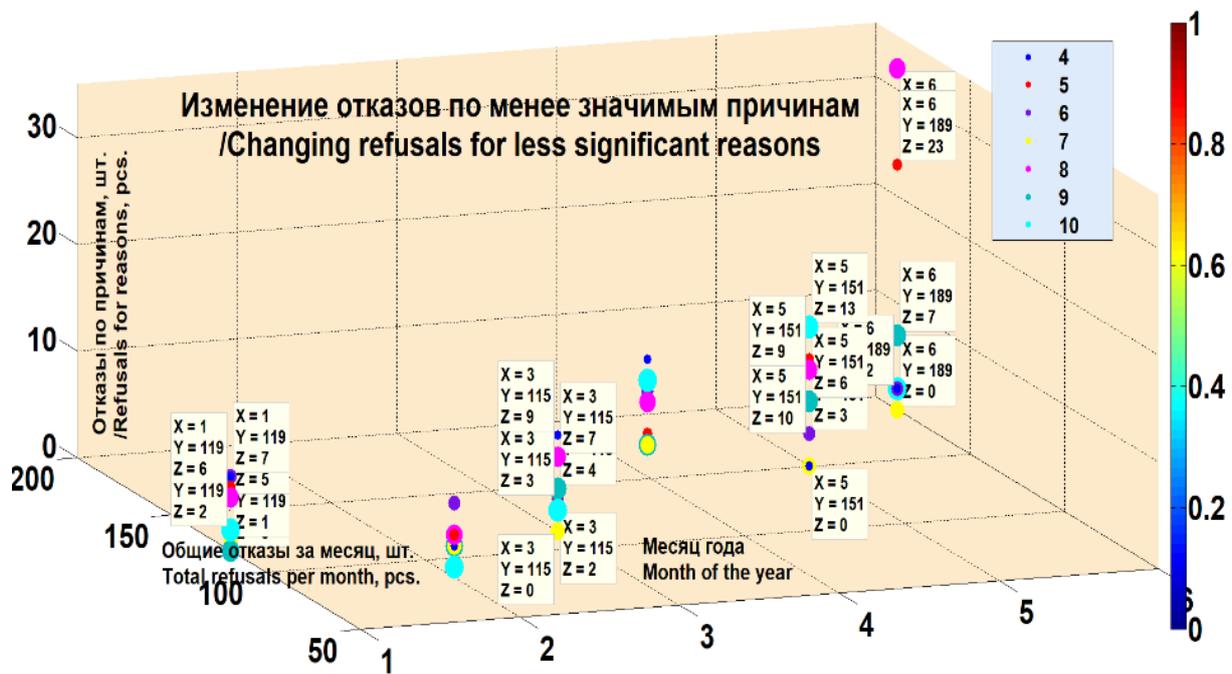


Рисунок 3 – Диаграммы изменения отказов в электрических сетях ЧЭС по 4-10 причинам за первое полугодие 2022 г.

Figure 3 – Diagrams of changes in failures in the electric networks of the CHEN for 4-10 reasons for the first half of 2022

Общее количество отказов за 6 месяцев 2022 г. составило 811. При этом наибольшее количество повреждений пришлось на июнь месяц (23.3 % всех отказов). Наименее “повреждаемым” месяцем года является февраль –

10.5 %. Процентное распределение отказов по причинам 4-10 выглядит следующим образом: 4-я причина – 3.82 %; 5-я – 6.17 %; 6-я – 7.85 %; 7-я – 0.86 %; 8-я – 6.15 %; 9-я – 1.8 % и 10-я – 1.6 %. Таким образом, на долю причин, представленных на рисунке 3, приходится 28.25 %. Остальные – почти 72 % соответствуют первым трем причинам [8].

Таким образом, результаты анализа повреждаемости ЭС ЧЭС позволили установить, что наиболее значимой причиной возникновения отказов является схлест проводов воздушных линий электропередачи (более 40 % всех повреждений), что также свидетельствует о высоком уровне износа этих элементов электрических сетей компании. Вследствие этого необходимо усилить мероприятия по реконструкции (перетяжке) воздушных линий электропередачи. Кроме того, следует обратить внимание руководства компании на значительный уровень несбалансированного электропотребления, что приводит к существенному перегрузу отдельных фаз и отказам по причине перегорания предохранителя. В связи с этим рекомендуется осуществлять мероприятия по повышению качества электрической энергии в области симметрирования токов и напряжений трёхфазной системы электроснабжения [5].

Электрические сети “Алтайэнерго” (АЭ) имеет в своем составе семь производственных отделений, которые обеспечивают ЭЭ 1516 сельских населенных пункта (СНП) и 9 городов.

Общая протяженность сетей АЭ составляет 55340.3 км, при этом 99.4 % всего электропотребления приходится на СНП [5]. Динамика аварийности и последствий событий отказов за 1 квартал 2020-2022 гг. представлены на рисунке 4, а характеристики отключений по причинам возникновения отказов в данной компании произведен для 1 квартала 2020 г. (рис. 5).

Основными причинами произошедших событий отказов явились следующие: 1 – ветровая нагрузка, 2 – разрушение изоляторов, 3 – перекрытие изоляции, 4 – обрыв проводов, 5 – общий износ электроустановок, 6 – падение веток деревьев на провода, 7 – повреждения в сетях потребителей и 8 – прочие повреждения, связанные с повреждением коммутационного оборудования на подстанциях.

Анализ рисунков 4 и 5 показал, что за 1 квартал 2020 г. наибольшее количество отключений произошло по 7-й причине, составив 303 отк. Недоотпуск ЭЭ при этом составил 14.61 тыс. кВт·ч. На втором месте по количеству аварийных отключений 1-я причина – 204 отк. (недоотпуск ЭЭ – 11.51 тыс. кВт·ч), на 3-м месте – отказы по 5-й причине – 91 отк. (недоотпуск – 21.43 тыс. кВт·ч). Как видно, несмотря на тот факт, что количество отказов по 7-й причине более чем в три раза превышает количество отказов по 5-й причине, последствия (недоотпуск ЭЭ) по 5-й причине занимает первое место за время наблюдения в этом году.

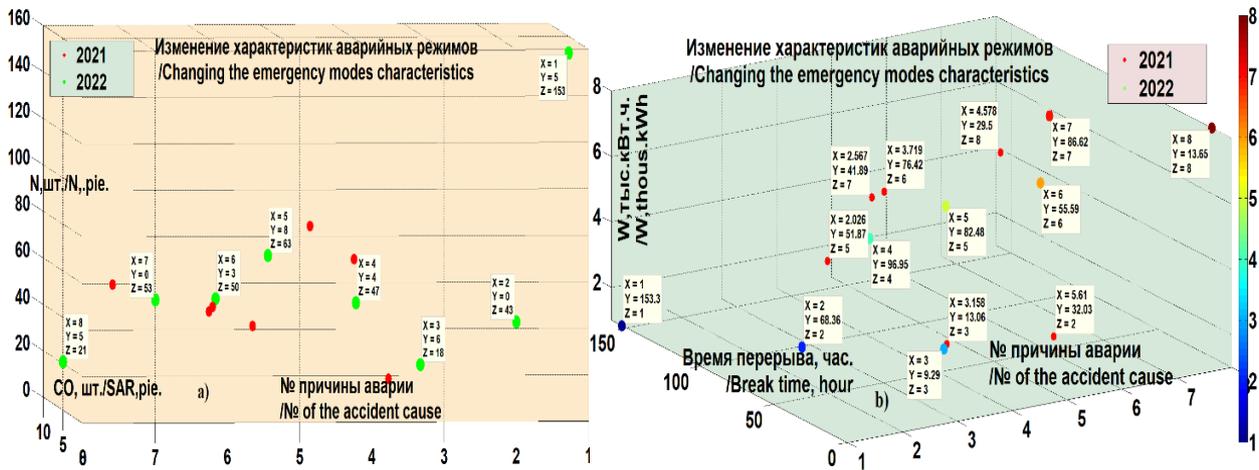


Рисунок 4 – Диаграммы изменения характеристик аварийных ситуаций в ЭС АЭ за 1-квартал 2021-2022 гг: а) количество событий отказов; б) время перерыва и величина недоотпуска ЭЭ

Figure 4 – Diagrams of changes in the characteristics of emergency situations in the ES AE for the 1st quarter of 2021-2022: a) the number of failure events; b) the time of interruption and the amount of under-discharge of the EE

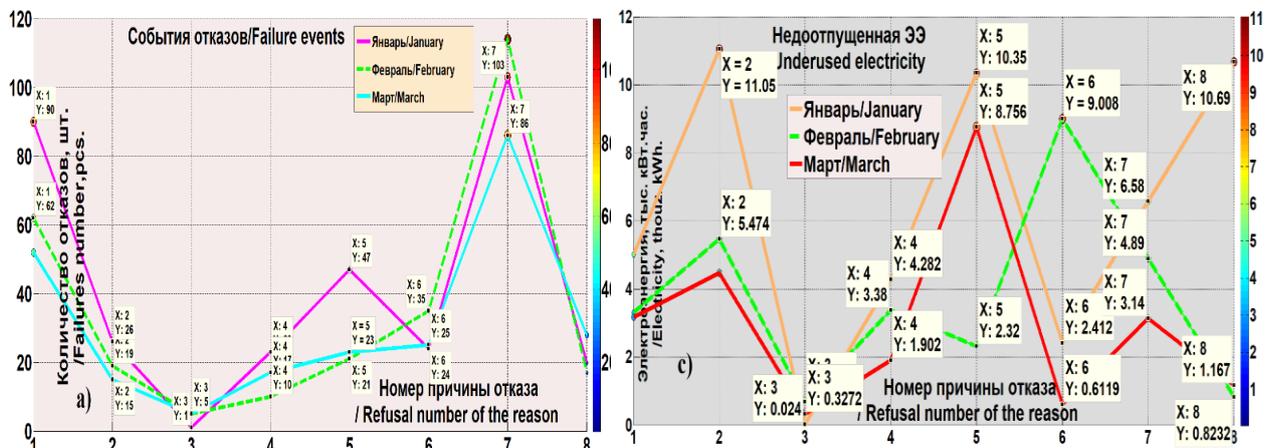


Рисунок 5 – Диаграммы изменения характеристик аварийных ситуаций в ЭС АЭ за 1-квартал 2020 г.: а) количество событий отказов; б) величина недоотпуска

Figure 5 – Diagrams of changes in the characteristics of emergency situations in the ES AE for the 1st quarter of 2020: a) the number of failure events; б) the amount of under-discharge

В 2021 г. наибольшее количество повреждений произошло повреждений – 164 (35.27 %) происходило в этом квартале по 1-й причине, и по этой же причине наблюдалось наибольшая продолжительность отключений – 135.21 час. (28.28 % от суммарного количество времени

перерыва за квартал, равного 478.05 час.) и количество недоотпущенной ЭЭ – 12.6689 тыс. кВт·час. (27.85 %).

В 2022 г. суммарное количество отказов за квартал составило 448, что на 48.39 % меньше чем в 2020 г. и на 3.64 % менее чем в 2021 г.

Основываясь на анализе данных рисунков 4 и 5, можно сделать заключение о том, что:

1. Уровень повреждаемости электрических сетей АО “Алтайэнерго” достаточно высок, что можно объяснить высоким износом основных элементов электрических сетей. Несмотря на то, что непосредственно сам износ (5-я причина) составил в 2020 г. 10.5 % всех отказов, в 2021 г. – 8.6 % и в 2022 г. – более 14 %, опосредовано износ элементов проявляется и в некоторых других причинах (2-я, 4-я и 8-я).

2. Наибольшее количество аварийных ситуаций в 2020 г. происходило по причине повреждений в сетях потребителя (34.91 %). Следовательно, руководству компании при заключении договоров на электроснабжение, необходимо обратить внимание на повышение ответственности потребителя за уровнем контроля надежности функционирования собственных электрических сетей. В 2021-2022 гг. наибольшее количество повреждений соответствует воздействию ветровой нагрузки, приводящей к возникновению коротких замыканий в результате схлеста и перехлеста фазных проводов ЛЭП. Разбалансировка стрел провесов проводов вызвана, в основном, также износом элементов сетей. Следовательно, для нормализации ситуаций с отказами по этой причине необходимо осуществление реконструкционных работ по перетяжке проводов воздушных ЛЭП.

Электрические сети АО “Тывазэнерго” (ТЭ), протяженностью 8.97 тыс. км обеспечивают ЭЭ территорию площадью 110.3 тыс. км².

Данные по аварийности систем электроснабжения компании, в соответствии с опубликованной информацией [9] за период 2017-2022 гг., показали, что общее количество аварийных отключений за исследуемый период составило 5 500 общей продолжительностью 8 391.51 час. При этом недоотпуск электроэнергии за время перерыва равен 2 138.7634 тыс. кВт·ч. Произведенный анализ показал, что в 2017-2018 гг. наибольшее количество отказов происходило в сетях НН – 66.13 % от общего за эти два года отказов (2495), а, начиная с 2019 по 2022 гг. более всего отказов происходило в сетях ВН – 56 % от общего числа за это время отказов (3007). При этом за весь исследуемый период динамика отказов в сетях ВН оставалась примерно на одном уровне: 2017 – 426; 2018 – 419; 2019 – 417; 2020 – 430; 2021 – 425 и в 2022 – 410. Среднее количество отказов в год в сетях ВН составило 423. А динамика отказов в сетях НН в основном (исключая 2018 г.) носит ярко

выраженный характер снижения: 2017 – 821; 2018 – 829; 2019 – 403; 2020 – 372; 2021 – 279 и в 2022 – 269 (рис. 6).

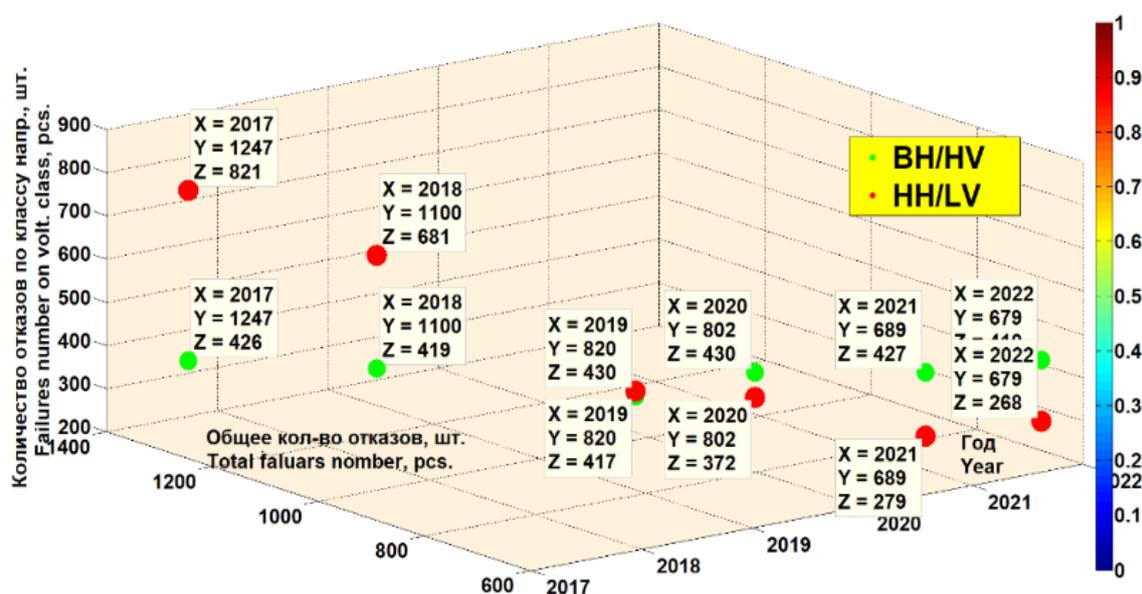


Рисунок 6 – Динамика количества отказов по электрическим сетям высокого и низкого напряжений в ТЭ

Figure 6 – Dynamics of the number of failures in the high-voltage and low-voltage TE electrical networks

Основными причинами, по которым происходили аварийные отключения, явились следующие. **1 группа причин:** 1 – обрыв фазного или нейтрального провода; 2 – отключение автоматического выключателя (АВ), либо “пережог предохранителя”; 3 – короткие замыкания, вследствие несрабатывания плавкой вставки предохранителя, поскольку выбраны некалиброванные предохранители. **2-я группа** объединяет причины, связанные с износом основного электрооборудования: 1 – сжест проводов; 2 – междуфазный пробой изоляции; 3 – износ коммутационной аппаратуры; 4 – износ изоляторов.

3-я группа характеризует случайные события: 1 – наброс проволоки; 2 – наезд на опору, проезд крупногабаритного транспорта, обрывающего ЛЭП; **4 группа** объединяет те аварийные ситуации, которые произошли в ведомственных электрических сетях.

На рисунке 7 представлены диаграммы изменения отказов по причинам, установленным за 1-й квартал 2022 г. Общее время перерыва за исследуемое время составило 1344 час с недоотпуском 300.2 тыс. кВт·ч электроэнергии. При этом на долю 1-й группы причин приходится 32 % времени перерывов с недоотпуском 28 % ЭЭ, 2-й группа – 51 % времени перерывов (недоотпуск 56 %), 3-й и 4-й группы – время перерывов 17 % (недоотпуск 16 %). Таким образом, несмотря на то, что наибольшее

количество отказов соответствует **1-й** группе причин, наибольшая продолжительность отказов и суммарный недоотпуск электроэнергии приходится на долю причин, связанных с износом элементов электросетевого оборудования. Это вполне объяснимо, поскольку, например, произвести замену предохранителя вследствие его перегоя при несбалансированном электропотреблении можно гораздо быстрее нежели устранить причину, вызванную износом оборудования, например, разрушение опоры линии электропередачи. Вместе с этим большое количество отказов, вызванное неравномерной загрузкой фаз, требует принятия определенных мер. При этом следует отметить, что в компании практически не ведется учет пофазного распределения мощностей однофазных нагрузок потребителей в трёхфазной системе электропитания. В отчетных материалах ТЭ эта причина так и обозначена, например: “Из-за несвоевременного перераспределений нагрузки в сети ВЛ 0,4кВ Л-1 произошло отключение АВ-400А на ТП 10/0,4кВ №246” [10].

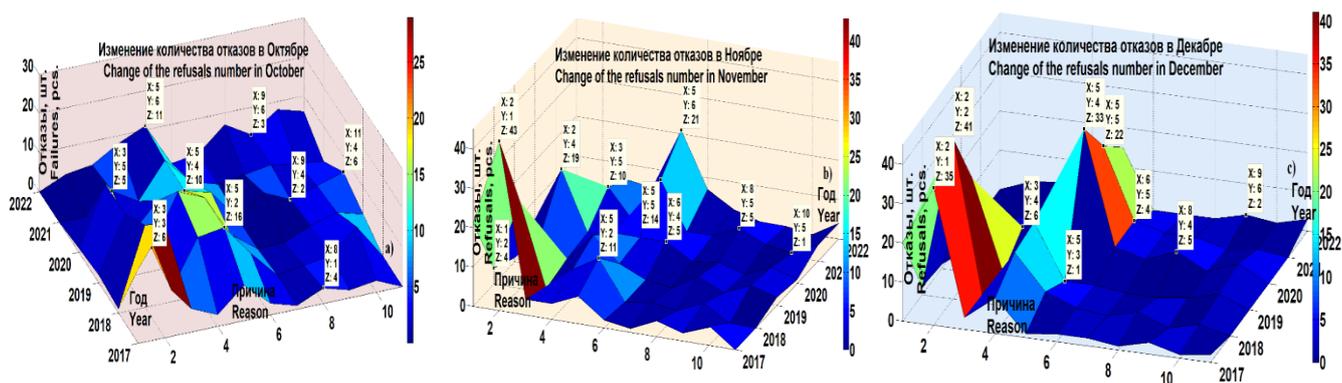


Рисунок 7 – Изменение количества отказов по установленным причинам в системах электроснабжения ТЭ: а) октябрь, б) ноябрь, с) декабрь

Figure 7 – Change in the number of failures due to established reasons in the TE power supply systems: a) october, b) november, c) december

Выводы. 1. Уровень износа элементов электрических сетей и основного электрооборудования рассмотренных филиалов ПАО «Россети Сибирь» весьма значителен и превышает 50 %.

2. Перечень причин возникновения событий отказов весьма разнообразен. Но основными из них являются износ элементов и оборудования, несбалансированное электропотребление (особенно в сельской местности), а также аварийные ситуации в электрических сетях потребителей.

3. Руководству филиалов следует обратить внимание на повышение квалификации оперативного персонал, внеочередную проверку знания

правил производства работ, а также тщательное соблюдение плана противоаварийных мероприятий.

Список литературы

1. Постановление Правительства РФ от 21.01.2004 N 24 (ред. от 02.03.2021) "Об утверждении стандартов раскрытия информации субъектами оптового и розничных рынков электрической энергии". [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_46197/f51b00990facb8304b84dfdabd47045e635835c1 (дата обращения: 11.06.2025).
2. Приказ Минэнерго России от 02.03.2010 № 90 (ред. от 27.07.2017): "Об утверждении формы акта о расследовании причин аварий в электроэнергетике и порядка ее заполнения" (вместе с "Порядком заполнения формы акта о расследовании причин аварий в электроэнергетике") (Зарегистрировано в Минюсте России 22.04.2010 № 16973. [Электронный ресурс]. – Режим допуска: <https://docs.cntd.ru/document/902204848> (дата обращения: 09.10.2022).
3. Дубровин, И. Износ электросетевой инфраструктуры в России. Масштабы и перспективы / И. Дубровин – [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://regnum.ru/article/2348996> (дата обращения: 06.06.2025).
4. Латыпов, И.С. Оценка механических нагрузок на провода различной формы сечения класса напряжения 6-35 кВ / И.С. Латыпов, В.В. Сушков, В.В. Тимошкин // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов 2018; (329); 5: 6-14.
5. Наумов, И.В. Повреждаемость электрических сетей Российской Федерации: монография. Москва: "Колос-с", 2024. – 218 с. ISBN 978-5-00129-455-9.
6. ПАО "РОССЕТИ Центр". Производственный потенциал. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mrsk-1.ru/investors/indicators/production-potential/halfyear1/> (дата обращения 08.06.2025).
7. Перспективы развития электрических сетей в России. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://etmz.ru/perspektivu-razvitiya-elektricheskikh-setey-6-10-kv-v-rossii> (дата обращения: 10.06.2025).
8. Россети Сибирь Тываэнерго. Раскрытие информации. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.tuvaenergo.ru/about/outinf.php> (дата обращения: 13.06.2025).
9. Сведения о техническом состоянии сетей. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.tuvaenergo.ru/about/nstat.php> (дата обращения: 13.06.2025).
10. Степень износа основных фондов в Российской Федерации. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://docs.yandex.ru/docs/view?tm=1722907278&tld=ru&lang=ru&name=St_izn_of_2023. (дата обращения: 06.06.2025).

References

1. Dubrovin, I. Iznos elektrosetevoj infrastruktury v Rossii. Masshtaby i perspektivy [Deterioration of the electric grid infrastructure in Russia. Scope and prospects]. <https://regnum.ru/article/2348996>.
2. Latypov, I.S. et all. Ocenka mekhanicheskikh nagruzok na provoda razlichnoj formy secheniya klassa napryazheniya 6-35 kV [Evaluation of mechanical loads on wires of various cross-section shapes of voltage class 6-35 kV]. Izvestiya Tomskogo Politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov, 2018; (329); 5: 6-14.
3. Naumov, I.V. Povrezhdaemost' elektricheskikh setej Rossijskoj Federacii [Damage to electrical networks of the Russian Federation]. Moscow: Kolos-s, 2024, 218 p. ISBN 978-5-00129-455-9.

4. PAO "Rosseti Centr". Proizvodstvennyj potencial [PJSC Rosseti Center. Production potential]. <https://www.mrsk-1.ru/investors/indicators/production-potential/halfyear1>
5. Perspektivy razvitiya elektricheskikh setej v Rossii [Prospects for the development of electric networks in Russia]. <https://etmz.ru/perspektivu-razvitiya-elektricheskikh-setey-6-10-kv-v-rossii>
6. Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 21.01.2004 № 24 (red. ot 02.03.2021) "Ob utverzhdenii standartov raskrytiya informacii sub"ektami optovogo i roznichnyh rynkov elektricheskoy energii". [Decree of the Government of the Russian Federation №. 24 dated 21.04.2004 (as amended on 02.03.2021) "On Approval of Information Disclosure Standards by Subjects of the Wholesale and Retail Electric Energy Markets"]. http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_46197/f51b00990facb8304b84dfdabd47045e635835c1
7. Prikaz Minenergo Rossii ot 02.03.2010 № 90 (red. ot 27.07.2017): "Ob utverzhdenii formy akta o rassledovanii prichin avarij v elektroenergetike i poryadka ee zapolneniya" (vmeste s "Poryadkom zapolneniya formy akta o rassledovanii prichin avarij v elektroenergetike") [Order of the Ministry of Energy of the Russian Federation dated 02.03.2010 № 90 (as amended on 27.07.2017): "On approval of the form of the act on the investigation of the causes of accidents in the electric power industry and the procedure for filling it out" (together with the "Procedure for filling out the form of the act on the investigation of the causes of accidents in the electric Power industry)]. <https://docs.cntd.ru/document/902204848>
8. Rosseti Sibir' Tyvaenergo. Raskrytie informacii [Rosseti Siberia Tyvaenergo. Disclosure of information]. <https://www.tuvaenergo.ru/about/outinf.php>
9. Svedeniya o tekhnicheskom sostoyanii setej [Information about the technical condition of the networks]. <https://www.tuvaenergo.ru/about/nstat.php>
10. Stepen' iznosa osnovnyh fondov v Rossijskoj Federacii [The degree of depreciation of fixed assets in the Russian Federation]. https://docs.yandex.ru/docs/view?tm=1722907278&tld=ru&lang=ru&name=St_izn_of_2023

Авторский вклад. Автор настоящего исследования принимал непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе полученных данных. Автор настоящей статьи ознакомился и одобрил окончательный вариант.

Конфликт интересов. Автор декларирует отсутствие конфликта интересов.

Author's contribution. Author of this study was directly involved in the planning, execution and analysis of this study. Author of the article reviewed and approved the final version of the manuscript.

Conflict of interests. The author declares no conflict of interest.

История статьи / Article history

Дата поступления в редакцию / Received: 18.06.2025

Поступила после рецензирования и доработки / Received: 20.06.2025

Дата принятия к печати / Accepted: 27.06.2025

Сведения об авторе

Наумов Игорь Владимирович – доктор технических наук, профессор кафедры электроснабжения и электротехники Иркутского государственного аграрного университета имени А.А. Ежевского и Иркутского национального исследовательского технического университета, засл. раб. ВО РФ.

Контактная информация: ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, 664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, пос. Молодежный, тел. 89246088990, e-mail: professornaumov@list.ru. ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-4767-0127>.

Наумов И.В. О повреждаемости электрических сетей и причинах возникновения отказов...

2025; 2(55): 30-45

Электронный научно-практический журнал “Актуальные вопросы аграрной науки”

Electronic scientific-Practical journal “Actual issues of agrarian science”

Information about the author:

Igor V. Naumov – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Power Supply and Electrical Engineering, Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky and Irkutsk National Research Technical University, Honored Worker of Higher Education of the Russian Federation.

Contact information: FSBEI HE Irkutsk SAU, 664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk district, pos. Molodezhny, tel. 89246088990, e-mail: professornaumov@list.ru. ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-4767-0127>.



DOI 10.51215/2411-6483-2025-55-46-56

УДК 632.9:633

Научная статья

ЭФФЕКТИВНОСТЬ УТИЛИЗАЦИИ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ МАШИН БИОЛОГИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

В.Н. Хабардин, Ю.А. Фальчевская, Н.О. Шелкунова

Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского,
п. Молодежный, Иркутский район, Иркутская область, Россия

Аннотация. Утилизация нефтесодержащих отходов становится все более актуальной задачей в условиях глобальных экологических вызовов. В процессе исследования выявлено, что основными видами нефтесодержащих отходов производства, образующимися при эксплуатации машин, являются загрязненные топливно-смазочными материалами обтирочный материал, древесные опилки, стружка и песок. Каждый год миллионы тонн таких отходов образуются на производственных и транспортных объектах, что наносит вред экосистеме и здоровью человека. Известно, что существуют такие методы утилизации нефтесодержащих отходов производства при эксплуатации машин, как: термический, биологический и метод экстракции. На основании изученной информации можно сделать вывод, что к основным недостаткам термического метода относятся пожароопасность, токсичность и экологические риски. В то же время метод экстракции также имеет свои минусы: ограниченность применения, требования к оборудованию, временные ограничения, дополнительные затраты и др. В данной статье рассматривается биологическая утилизация – один из наиболее эффективных и экологически чистых методов решения рассматриваемой проблемы. В данном обзоре рассмотрены основные аспекты биологической утилизации нефтесодержащих отходов, механизмы ее действия, преимущества и существующие методы. Проведён сравнительный анализ достоинств и недостатков биологического метода. Выявлено, что к основным достоинствам анализируемого метода относятся уменьшение объема отходов производства, преобразование отходов в полезные ресурсы, сокращение выбросов парниковых газов. Основные недостатки биологического метода утилизации заключаются в ограничении по типу утилизируемых отходов, технологических сложностях, экологических рисках, рисках для персонала, ограничениях по утилизируемым объемам. На основании проведенного анализа можно сделать вывод о целесообразности применения биологического метода утилизации нефтесодержащих отходов при эксплуатации машин.

Ключевые слова: утилизация, ветошь, биологический метод, нефтесодержащие отходы.

Для цитирования: Хабардин В.Н., Фальчевская Ю.А., Шелкунова Н.О. Эффективность утилизации нефтесодержащих отходов производства при эксплуатации машин биологическим методом. *Электронный научно-практический журнал “Актуальные вопросы аграрной науки”*. 2025; 2(55):46-56. DOI 10.51215/2411-6483-2025-55-46-56.

EFFICIENCY OF DISPOSAL OF OIL-CONTAINING PRODUCTION WASTE DURING MACHINE OPERATION BY BIOLOGICAL METHOD

Vasilij N. Khabardin, Yulia A. Falchevskaya, Natalia O. Shelkunova

Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky,
Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk Region, Russia

Abstract. Disposal of oil-containing waste is becoming an increasingly urgent task in the context of global environmental challenges. The study revealed that the main types of oil-containing production waste generated during machine operation are wiping material contaminated with fuel and lubricants, sawdust, shavings and sand. Every year, millions of tons of such waste are generated at industrial and transport facilities, which harms the ecosystem and human health. It is known that there are such methods of disposal of oil-containing production waste during machine operation as: thermal, biological and extraction method. Based on the studied information, it can be concluded that the main disadvantages of the thermal method include fire hazard, toxicity and environmental risks. At the same time, the extraction method also has its disadvantages: limited application, equipment requirements, time constraints, additional costs, etc. This article discusses biological disposal - one of the most effective and environmentally friendly methods for solving the problem in question. This review considers the main aspects of biological disposal of oil-containing waste, its mechanisms of action, advantages and existing methods. A comparative analysis of the advantages and disadvantages of the biological method is carried out. It was revealed that the main advantages of the analyzed method include reducing the volume of production waste, converting waste into useful resources, reducing greenhouse gas emissions. The main disadvantages of the biological method of disposal are limitations on the type of waste to be disposed of, technological difficulties, environmental risks, risks for personnel, restrictions on the volumes to be disposed of. Based on the analysis conducted, it is possible to draw a conclusion about the advisability of using the biological method of recycling oil-containing waste during the operation of machines.

Keywords: recycling, rags, biological method, oil-containing waste.

For citation: Khabardin V.N., Falchevskaya Yu.A., Shelkunova N.O. Efficiency of disposal of oil-containing production waste during machine operation by biological method. *Electronic scientific-Practical journal “Actual issues of agrarian science”*. 2025; 2(55):46-56. DOI 10.51215/2411-6483-2025-55-46-56.

Введение. Проблема утилизации нефтесодержащих отходов производства, образующихся при эксплуатации мобильных машин в сельском хозяйстве, особенно актуальна в связи с тем, что при эксплуатации данных технических средств образуется до 50 видов нефтесодержащих отходов [15, 19]. Негативное влияние процесса эксплуатации машин на экосистему продиктовано, в первую очередь, тем, что основные работы проводятся непосредственно в поле. В данной статье рассмотрен биологический метод утилизации нефтесодержащих отходов производства, оказывающий наиболее щадящее воздействие на окружающую среду.

Методы восстановления почвы, загрязненной нефтепродуктами, условно можно разделить на следующие группы:

- механические (локализация, сбор и удаление нефтепродуктов);
- термические (выжигание нефтепродуктов, термоэкстракция);
- физико-химические (экстракция нефти, флотация, химическое окисление, применение сорбентов);
- микробиологические (активизация аборигенной микрофлоры интродукцией микроорганизмов – нефтедеструкторов) [18].

Биологическая утилизация нефтесодержащих отходов – это процесс, в котором микроорганизмы используются для разложения углеводов до менее токсичных или безвредных соединений. Этот метод можно разделить на два основных подхода: **биоремедиацию** и **биообогащение** [2].

Механизм действия биоремедиации основан на способности микроорганизмов разлагать углеводороды. Например, согласно исследованиям Филонова А.Е. некоторые штаммы бактерий, такие как *Pseudomonas aeruginosa* и *Mycobacterium sp.*, могут метаболизировать нефтяные углеводороды, снижая их концентрацию в окружающей среде.

Биобогащение включает в себя добавление специализированных микроорганизмов в загрязненные районы с целью улучшения скорости и эффекта разложения нефтесодержащих отходов. Этот метод позволяет увеличить эффективность биоремедиационного процесса.

Рассматривается несколько способов осуществления биологической утилизации:

1) **in situ** (процесс осуществляется на месте загрязнения, без выемки и транспортировки материала);

2) **ex situ** (для этого метода происходит сбор загрязненных грунтов или воды и их дальнейшая обработка на специализированных установках).

В сравнении с другими методами очистки окружающей среды от загрязнения, биоремедиация (*in situ*) гораздо дешевле. По экспертным оценкам, средняя стоимость способов биоремедиации составляет менее 20% от стоимости химических методов [2].

Биологические методы обладают многими преимуществами по сравнению с традиционными методами:

- **экологическая безопасность** – биологические процессы не производят токсичные остатки, а вместо этого помогают восстановить природные экосистемы;

- **экономическая целесообразность** – часто такие методы требуют меньше затрат, так как они могут быть основаны на существующих экосистемах, что позволяет удешевить процесс утилизации;

- **эффективность** – благодаря использованию микроорганизмов, процесс разрушения нефтяных углеводов может быть ускорен и спроектирован для работы в определённых условиях (температура, pH, концентрация углеводов).

Целью исследования является выявление достоинств и недостатков биологического метода утилизации нефтесодержащих отходов производства.

Для достижения указанной цели поставлены следующие **задачи**:

- выявить, какие отходы производства относятся к нефтесодержащим;
- провести сбор и анализ опубликованной информации по теме исследования;
- сравнить достоинства и недостатки биологического метода утилизации нефтесодержащих отходов производства.

Материалы и методы исследования. Объект исследования – процесс эксплуатации мобильных машин в сельскохозяйственном производстве. В основу методики исследований положены методы обзора, синтеза и натуральных наблюдений. В то же время в качестве главных источников информации взяты сведения из интернет-пространства.

Одними из видов нефтесодержащих отходов производства, образующимися при эксплуатации машин, являются загрязненные топливно-смазочными материалами обтирочный материал (ветошь), древесные опилки, стружки, песок и т.д. (рисунок).

Промасленная ветошь – это отработанный текстиль, который загрязнен маслами во время его эксплуатации. Он имеет III класс опасности, поэтому подлежит обязательной утилизации [6, 13].

В настоящее время ветошь утилизируют двумя способами: термическим – путем сжигания в специальных печах и экстракционным – в результате химической очистки [17]. Термический способ заключается в уничтожении промасленной ветоши путем сжигания ее в специальных печах.

При экстракции ветошь проходит через несколько степеней очистки, в ходе которой из неё удаляются все опасные включения. Благодаря этому материал может повторно использоваться.

Процесс биологической очистки технических тканей и обтирочного материала, загрязненного нефтепродуктами, осуществляется следующим образом: загрязнённые обтирочные материалы и технические ткани помещают в водную среду и подвергают обработке ультразвуком. В результате этого образуется водно-нефтяная эмульсия, которую затем разделяют от частично очищенной ткани. Оба компонента подвергают отдельной ферментации с использованием биопрепарата на основе штамма бактерий *Acinetobacter* sp. (bicossum) В-6445 в условиях интенсивной аэрации [3].

Биологические методы утилизации ветоши основаны на способности микроорганизмов потреблять нефтепродукты и трансформировать их в безопасные соединения. Один из таких методов описан в патенте РФ №2053204. Он включает ферментацию загрязнённых тканей в ферментере с абиотической средой и промышленными стоками завода, предназначенного для переработки нефти. В ферментер добавляют вид бактерий *Acinetobacter valentis* (subsp. *paraffinicum*) Н-1 затем производят их разведение при заданных условиях. В результате степень очистки достигает 96-100% [7].



Фильтры масляные
III класс опасности



Фильтры топливные
III класс опасности



Отложения масляные
III класс опасности



Обтирочный материал
IV класс опасности



Обтирочный материал
III класс опасности



Перчатки промасленные
IV класс опасности



Перчатки промасленные
III класс опасности



Обтирочный материал



Стружка промасленная
IV класс опасности



Опилки промасленные
IV класс опасности



Грунт промасленный
IV класс опасности



Песок промасленный
IV класс опасности

Рисунок – Загрязненные нефтепродуктами отходы производства

Figure – Oil-contaminated industrial waste

Древесные опилки и стружки (рисунок) имеют повышенную способность к поглощению жидкости, данная особенность относит их к наиболее действенным абсорберам, устраняющим разливые нефтепродукты.

Абсорбируя небезопасные элементы, они способствуют предупреждению экологических катастроф, в то же время опилки и стружка становятся легковоспламеняемым материалом, что может негативно сказаться на окружающей среде.

Установлено, что один килограмм стружки или опилок абсорбирует более 2 килограмм нефти [16].

Утилизацию древесной стружки и опилок, впитавших нефтепродукты, допускается осуществлять следующими методами:

- термическим;
- закапыванием в почву;
- очисткой с использованием поглотителей и дальнейшее применение.

Стружку и опилки перед переработкой необходимо скомпоновать в отдельные ящики или мешки. Также необходимо соблюдать меры предосторожности и держать их вдали от источников огня для предотвращения возникновения пожаров.

Бактериологические способы обеззараживания отходов, содержащих нефть, базируются на возможности ряда микроорганизмов разлагать углеводороды, входящие в состав нефти с получением экологически безвредных веществ. Известны направления использования вышеуказанных методов [12, 20]:

1) увеличение деятельности нормальной микрофлоры земли вследствие формирования для местных микроорганизмов благоприятных условий существования;

2) введение в почву, загрязненную нефтепродуктами индивидуально отобранных активных деструкторов нефтесодержащих продуктов. Российская промышленность производит биопрепараты на основе активных микроорганизмов-деструкторов: “Бациспецин”, “Деворойл”, “Экойл”, “Путидойл”, “Нафтокс”, “Центрин” и др. [1, 5, 14].

Заблаговременное введение в загрязненную нефтесодержащими продуктами почву микроорганизмов, окисляющих углеводород – один из действенных, наиболее перспективных и экологически чистых способов устранения нефтяных загрязнений [20].

Известен бактериальный препарат для очистки грунта [4, 9]. Способ биологической рекультивации нефтезагрязненной почвы представлен в исследованиях Кузнецова П.И. и Алексеева М.И. в [10, 11]. В работе Ившиной И.Б. описывается способ биоремедиации почв и грунтов, загрязнённых нефтью и нефтепродуктами [8].

Также к биологическому методу утилизации грунта и песка, загрязненных нефтепродуктами, относится рыхление почв, удобрение и посев трав для интенсификации естественных процессов биохимического очищения.

Научные исследования в области биологической утилизации нефтесодержащих отходов активно развиваются. Ученые исследуют новые

штаммы микроорганизмов, которые могут быть более эффективными в разрушении углеводов.

Результаты и обсуждение. В ходе исследования выявлены как достоинства, так и недостатки биологического метода утилизации нефтесодержащих отходов при эксплуатации машин (табл.).

Таблица – Сравнительный анализ биологического метода утилизации нефтесодержащих отходов при эксплуатации машин

Table – Comparative analysis of the biological method of disposal of oil-containing waste during machine operation

Название	Достоинства	Недостатки
Биологический метод	1) уменьшение объема отходов; 2) преобразование отходов в полезные ресурсы; 3) сокращение выбросов парниковых газов.	1) ограничения по типу утилизируемых отходов; 2) технологические сложности; 3) экологические риски; 4) риски для персонала; 5) ограничения по утилизируемым объемам.

Выводы. До настоящего времени не решена проблема утилизации нефтесодержащих отходов производства, что существенно влияет на экологическую безопасность сельских поселений.

Выполнен сравнительный анализ достоинств и недостатков биологического метода утилизации этих отходов, на основании которого установлена целесообразность его применения в сельском хозяйстве. При этом биологический метод утилизации нефтесодержащих отходов оказывает наименьший вред окружающей среде.

Список литературы

1. Биологический препарат Деворойл [Электронный ресурс] // ООО “Сити Строй”: [офиц. сайт]. – Режим доступа: <http://sitistroi.ru/devoroil> (дата обращения: 20.01.2016).
2. Домрачева, Л.И. Использование организмов и биосистем в ремедиации территорий / Л.И. Домрачева // Институт биологии Коми НЦ УрО РАН и Вят. ГГУ. – 2009. – № 4. – С. 4-6.
3. Инженерно-экологический справочник Т.3 – Калуга: Изд-во Н. Бочкаревой, 2003. – 1025 с.
4. Интернет-сайт Федерального государственного бюджетного учреждения “Федеральный институт промышленной собственности” (ФИПС). <http://www.fips.ru/>.
5. Кильдиярова, И.Д. Спектр применения биопрепарата “Бациспектин” / И.Д. Кильдиярова // Символ науки. – 2016. – №1-3.
6. Отходы производства предприятий автомобильного транспорта: учебное пособие для вузов / Н.О. Шелкунова, А.В. Хабардина, В.Н. Хабардин. – Молодежный: Изд-во Иркутский ГАУ, 2023. – 113 с.
7. Патент № 2053204 С1 Российская Федерация, МПК С 02 F 3/34, Е 02 В 15/04 Способ очистки объектов окружающей среды от нефтепродуктов : № 94013001/13: заявл.

12.04.1994: опублик. 27.01.1996 / Л.Н. Капотина, Г.Н. Морщакова, Б.Г. Мурзаков; заявитель Мурзаков Б.Г., Морщакова Г.Н., Капотина Г.Н.

8. Патент № 2193464 Российская Федерация, МПК В 09 С 1/10, С 12 N 1/26. Способ биоремедиации почв и грунтов, загрязненных нефтью и нефтепродуктами: № 2001130686/13: заявл. 14.11.2001: опублик. 27.11.2002 / И.Б. Ившина, С.М. Костарев, М.С. Куюкина, Л.В. Закшевская; заявитель Институт экологии и генетики микроорганизмов Уральского отделения РАН, ООО “ПермНИПИнефть”.

9. Патент № 2262531 Российская Федерация, МПК С 12 N 1/20, С 02 F 3/34, В 09 С 1/10/(С 12 N 1/20, С 12 R 1:01). Штамм бактерий *Rhodococcus ruber* – деструктор полихлорированных бифенилов: № 2003134826/13: заявл. 02.12.2003: опублик. 10.05.2005 / Е.Г. Плотникова, Д.О. Рыбкина, В.А. Демаков; заявитель Институт экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН.

10. Патент № 2307869 С2 Российская Федерация, МПК С 12 N 1/20, В 09 С 1/10, С 12 R 1/085. Способ биологической рекультивации нефтезагрязненной почвы / М.И. Алексеев, И.А. Архипченко, В.К. Загвоздкин, И.А. Заикин, В.Г. Иванов, В.Н. Лукашев; заявитель ООО “ЛУКОЙЛ-Коми”. № 2005101366/13; заявл. 21.01.05; опублик. 10.10.07, Бюл. № 28.

11. Патент № 2320429 Российская Федерация, МПК В09 С1/10, С12 N1/26, С09 К17/00. Способ биологической рекультивации почв, загрязненных нефтью и нефтепродуктами / П.И. Кузнецов, В.В. Мелихов, Т.В. Каренгина, П.В. Швагерус, В.И. Кузнецова, М.В. Мелихова. – № 2006145927/13; заявл. 22.12.2006; опублик. 27.03.2008, Бюл. № 9. - С. 566.

12. Почва, очистка населённых мест, бытовые и промышленные отходы, санитарная охрана почвы: методические указания / МУ 2.1.7.730-99 “Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест” (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 7 февраля 1999 г.). – Введ. 1999-04-05. – М.: Стандартинформ, 1999. – 18 с.

13. Приказ Росприроднадзора от 22.05.2017 № 242 (ред. от 20.12.2024) “Об утверждении Федерального классификационного каталога отходов”.

14. Разработка биотехнологических методов ликвидации нефтяных загрязнений окружающей среды / В.П. Холоденко, В.А. Чугунов, С.К. Жиглецова [и др.] // Российский химический журнал. – 2001. – Т. 45, № 5-6. – С. 135-141.

15. Совершенствование процесса технического обслуживания машин в направлении ресурсосбережения и экологической безопасности / В.Н. Хабардин, А.В. Хабардина, М.В. Чубарева [и др.]. – Молодежный: Иркутский ГАУ, 2024. – 144 с.

16. Утилизация загрязненных опилок и стружки. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ekoa.ru/utilizatsiya_otkhodov/otkhody_nefteproduktov/zagrzaznennye_opilki_s_truzhka - 22.05.2025.

17. Утилизация обтирочного материала. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.neva-2000.ru/blog/utilizacziya-obtirochnogo-materiala.html>. – 09.04.2025.

18. Черняховский, Э.Р. Управление экологической безопасностью [Текст]: Учебно-практическое пособие / Э.Р. Черняховский. – Москва: Изд-во “Альфа-Пресс”, 2007. – 248 с.

19. Шелкунова, Н.О. Источники и характеристика отходов производства при техническом обслуживании машин / Н.О. Шелкунова, В.Н. Хабардин // Научные исследования студентов в решении актуальных проблем АПК: матер. Всеросс. студ. научно-практ. конф. В III томах, Иркутск, 16-17 февраля 2023 года. Том II. – п. Молодежный: Иркутский ГАУ, 2023. – С. 166-171.

20. Ширеторова, Н.А. Обзор основных методов обезвреживания нефтесодержащих отходов, применяемых в России и их применение в республике

Бурятия / Н.А. Ширеторова // Международный научно-исследовательский журнал. – 2016. – № 3-2(45). – С. 125-127. – DOI 10.18454/IRJ.2016.45.104.

References

1. Biologicheskij preparat Devorojl [Biological drug Devoroil]. <http://sitistroi.ru/devoroil>.
2. Domracheva, L.I. Ispol'zovanie organizmov i biosistem v remediacii territorij [The use of organisms and biosystems in remediation of territories]. Institut biologii Komi NC UrO RAN i Vyat. GGU, 2009, no. 4, ppp. 4-6.
3. Inzhenerno-ekologicheskij spravochnik [Engineering and Environmental Handbook]. Kaluga, 2003, vol.3, 1025 p.
4. Internet-sajt Federal'nogo gosudarstvennogo byudzhethnogo uchrezhdeniya “Fede-ral'nyj institut promyshlennoj sobstvennosti” [The website of the Federal State Budgetary Institution “Federal Institute of Industrial Property”]. <http://www.fips.ru/>.
5. Kildiyarova, I.D. Spektr primeneniya biopreparata “Bacispecin” [The range of application of the biopreparation “Bacispecin”]. Simvol nauki, 2016, no. 1-3.
6. Shelkunova, N.O. et all. Othody proizvodstva predpriyatij avtomobil'nogo transporta : uchebnoe posobie dlya vuzov [Waste from the production of automobile transport enterprises : a textbook for universities]. Molodezhny, 2023, 113 p.
7. Patent no. 2053204 S1 Rossijskaya Federaciya, MPK S 02 F 3/34, E 02 B 15/04 Sposob ochistki ob'ektov okruzhayushchej sredy ot nefteproduktov: no. 94013001/13: zayavl. 12.04.1994: opubl. 27.01.1996 / Kapotina, L.N. et all. [Method of cleaning environmental objects from petroleum products].
8. Patent no. 2193464 Rossijskaya Federaciya, MPK B 09 C 1/10, C 12 N 1/26. Sposob bioremediacii pochv i gruntov, zagryaznennyh нефтью i nefteproduktami: no. 2001130686/13: zayavl. 14.11.2001: opubl. 27.11.2002 / Ivshina, I.B. et all. [Method of bioremediation of soils and soils contaminated with oil and petroleum products]. Institut ekologii i genetiki mikroorganizmov Ural'skogo otdeleniya RAN, ООО “PermNIPIneft”.
9. Patent no. 2262531 Rossijskaya Federaciya, MPK C 12 N 1/20, C 02 F 3/34, B 09 C 1/10/(C 12 N 1/20, C 12 R 1:01). Shtamm bakterij Rhodococcus ruber – destruktory polihlorirovannyh bifenilov: no. 2003134826/13: zayavl. 02.12.2003: opubl. 10.05.2005 / Plotnikova, E.G. et all. [The bacterial strain Rhodococcus ruber is a destructor of polychlorinated biphenyls]. Institut ekologii i genetiki mikroorganizmov UrO RAN.
10. Patent no. 2307869 C2 Rossijskaya Federaciya, MPK C 12 N 1/20, B 09 C 1/10, C 12 R 1/085. Sposob biologicheskoy rekul'tivacii neftezagryaznennoj pochvy / Alekseev, M.I. et all. zayavitel' ООО “LUKOIL-Komi”, no. 2005101366/13; zayavl. 21.01.05; opubl. 10.10.07, Byul. no. 28 [A method of biological reclamation of oil-contaminated soil].
11. Patent no. 2320429 Rossijskaya Federaciya, MPK V09 C1/10, S12 N1/26, S09 K17/00. Sposob biologicheskoy rekul'tivacii pochv, zagryaznennyh нефтью i nefteproduktami / Kuznecov, P.I. et all., no. 2006145927/13; zayavl. 22.12.2006; opubl. 27.03.2008, bul. no. 9, pp. 566 [Method of biological reclamation of soils contaminated with oil and petroleum products].
12. Pochva, ochistka naselyonnyh mest, bytovye i promyshlennye othody, sanitarnaya ohrana pochvy [Soil, cleaning of populated areas, household and industrial waste, sanitary protection of soil]. Moscow: Standartinform, 1999, 18 p.
13. Prikaz Rosprirodnadzora ot 22.05.2017 no. 242 (red. ot 20.12.2024) “Ob utver-zhdenii Federal'nogo klassifikacionnogo kataloga othodov” [Rosprirodnadzor Order no. 242 dated 05/22/2017 (as amended on 12/20/2024) “On Approval of the Federal Classification Catalog of Waste”].
14. Kholodenko, V.P. et all. Razrabotka biotekhnologicheskikh metodov likvidacii neftyanyh zagryaznenij okruzhayushchej sredy [Development of biotechnological methods for

the elimination of oil pollution of the environment]. Rossijskij himicheskij zhurnal, 2001, vol. 45, no. 5-6, pp. 135-141.

15. Khabardin, V.N., et all. Sovershenstvovanie processa tekhnicheskogo obsluzhivaniya mashin v napravlenii resursosberezheniya i ekologicheskoy bezopasnosti [Improving the process of machine maintenance in the field of resource conservation and environmental safety]. Molodezhny, 2024, 144 p.

16. Utilizaciya zagryaznennyh opilok i struzhki [Disposal of contaminated sawdust and shavings]. https://ekoa.ru/utilizatsiya_otkhodov/otkhody_nefteproduktov/zagryaznennye_opilki_struzhka.

17. Utilizaciya obtirochnogo materiala [Disposal of cleaning material]. <https://www.neva-2000.ru/blog/utilizaciya-obtirochnogo-materiala.html>

18. Chernyakhovsky, E.R. Upravlenie ekologicheskoy bezopasnost'yu [Environmental safety management]. Moscow: Alfa-Press, 2007, 248 p.

19. Shelkunova, N.O., Khabardin, V.N. Istochniki i harakteristika othodov proizvodstva pri tekhnicheskome obsluzhivanii mashin [Sources and characteristics of industrial waste during machine maintenance]. Molodezhny. 2023. Vol. II, pp. 166-171.

20. Shiretorova, N.A. Obzor osnovnyh metodov obezvrezhivaniya neftesoderzhashchih othodov, primenyaemyh v Rossii i ih primeneniye v respublike Buryatiya [Overview of the main methods of oil-containing waste disposal used in Russia and their application in the Republic of Buryatia]. Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal, 2016, no. 3-2(45), pp. 125-127.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе полученных данных. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие конфликта интересов.

Author's contribution. All authors of this study were directly involved in the planning, execution and analysis of this study. All authors of the article reviewed and approved the final version of the manuscript.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interest.

История статьи / Article history:

Дата поступления в редакцию / Received: 17.04.2025

Поступила после рецензирования и доработки / Revised: 24.06.2025

Дата принятия к печати / Accepted: 27.06.2025

Сведения об авторах

Хабардин Василий Николаевич – заслуженный изобретатель Российской Федерации, доктор технических наук, профессор кафедры эксплуатации машинно-тракторного парка, безопасности жизнедеятельности и профессионального обучения инженерного факультета Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского.

Контактная информация: ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, 664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, пос. Молодежный, тел. 89500809286, e-mail: NabardinV@mail.ru; ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-9201-2492>.

Фальчевская Юлия Александровна – аспирант. Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского.

Контактная информация: ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, 664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодежный, тел. 89501069794, e-mail: Julia-Katia_2010@mail.ru.

Шелкунова Наталья Олеговна – аспирант. Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского.

Контактная информация: ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, 664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодежный, тел. 89641028180, e-mail:

n.Shelkunova@yandex.ru

Information about authors

Vasilij N. Habardin – Honored Inventor of the Russian Federation, Doctor of Technical Sciences, Professor of Chair of Operation of Machine and Tractor Park and Health and Safety of Engineering Faculty. Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky.

Contact information: FSBEI HE Irkutsk SAU, 664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk district, Molodezhny, tel. 89500809286, e-mail: HabardinV@mail.ru; ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-9201-2492>.

Yulia A. Falchevskaya – Graduate Student. Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky.

Contact information: FSBEI HE Irkutsk SAU, 664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk district, Molodezhny, tel. 89501069794, e-mail: Julia-Katia_2010@mail.ru.

Natalia O. Shelkunova – Graduate Student. Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky.

Contact information: FSBEI HE Irkutsk SAU, 664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk district, Molodezhny, tel. 89641028180 e-mail: n.Shelkunova@yandex.ru



**ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА, УПРАВЛЕНИЕ,
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ**

**INFORMATICS, COMPUTER ENGINEERING, MANAGEMENT,
MATHEMATICAL MODELING**

DOI 10.51215/2411-6483-2025-55-57-65

УДК 519.6:311

Научная статья

**ВЫЧИСЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ В ВИДЕ
РИСКОВ ПРИ ЗАЩИТЕ ИНФОРМАЦИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ
ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Ю.М. Краковский, В.П. Киргизбаев

Иркутский государственный университет путей сообщения, Иркутск, Россия

Аннотация. Особенностью функционирования информационных систем с точки зрения их безопасности является то, что они выполняют свои функции в условиях неопределенности и ограниченных финансовых ресурсов на поддержку средств защиты. Учитывая это, создано математическое и программное обеспечение в виде моделирующей программы, которая вычисляет значения реализаций случайного процесса, описывающего состояние денежного фонда. Этот фонд выполняет следующие функции: 1) осуществляет накопление платежей, которые поступают с какой-то периодичностью (сут.) и каким-то размером (тыс. руб.), поступления являются неслучайными величинами, как для размеров, так и для интервалов; 2) при необходимости фондом производится оплата работ, связанных с устранением инцидентов информационной безопасности. В этом случае также определяется периодичность использования фонда (сут.) и стоимость этих работ (тыс. руб.). Таким образом, интервалы времени между инцидентами и затраты на их устранение являются случайными величинами с известными двухпараметрическими функциями распределения и известными значениями математических ожиданий и коэффициентов вариации. При создании моделирующей программы используется язык программирования Python версии 3.13. В качестве показателя эффективности предложена однофакторная модель риска, которая при имитационном моделировании заменяется на точечную и интервальную оценки. Необходимо так организовать поступление денежных платежей в фонд, чтобы при появлении инцидентов информационной безопасности и проведения работ по их устранению однофакторный риск был минимален. Проведена апробация моделирующей программы и получены практические рекомендации.

Ключевые слова: показатели эффективности, риски, моделирующая программа, денежный фонд, случайный процесс.

Для цитирования: Краковский Ю.М., Киргизбаев В.П. Вычисление показателей эффективности в виде рисков при защите информации с применением имитационного моделирования. *Электронный научно-практический журнал “Актуальные вопросы аграрной науки”*. 2025; 2(55):57-65. DOI 10.51215/2411-6483-2025-55-57-65.

CALCULATION OF EFFICIENCY INDICATORS IN THE FORM OF RISKS IN INFORMATION SECURITY USING SIMULATION MODELING

Yuri M. Krakovskii, Vladislav P. Kirgizbaev

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russia

Abstract. The peculiarity of functioning of information systems from the point of view of their security is that they perform their functions under conditions of uncertainty and limited financial resources for support of means of protection. Taking this into account, mathematical and software support in the form of a modeling program was created, which calculates the values of realizations of a random process describing the state of a monetary fund. This fund performs the following functions: 1) accumulates payments that are received with a certain periodicity (days) and a certain amount (thousand rubles), receipts are non-random values, both for sizes and for intervals; 2) if necessary, the fund pays for works related to the elimination of information security incidents. In this case, the frequency of use of the fund (days) and the cost of these works (thousand rubles) are also determined. Thus, the time intervals between incidents and the costs of their elimination are random variables with known two-parameter distribution functions and known values of mathematical expectations and variation coefficients. When creating a modeling program, the Python programming language version 3.13 is used. A single-factor risk model is proposed as an efficiency indicator, which is replaced by point and interval estimates during simulation modeling. It is necessary to organize the receipt of cash payments to the fund so that when information security incidents occur and work is carried out to eliminate them, the single-factor risk is minimal. The modeling program was tested and practical recommendations were obtained.

Keywords: efficiency indicators, risks, modeling program, cash fund, random process.

For citation: Krakovskii Yu.M., Kirgizbaev V.P. Calculation of efficiency indicators in the form of risks in information security using simulation modeling. *Electronic scientific-Practical journal "Actual issues of agrarian science"*. 2025; 2(55):57-65. DOI 10.51215/2411-6483-2025-55-57-65.

Введение. В связи с широким применением новых информационных технологий в различных отраслях экономики всё большее внимание уделяется вопросам информационной безопасности и защите информационных систем компаний и организаций. Методы и средства защиты информации должны нейтрализовать различные угрозы, которые находят и используют уязвимости, присутствующие в объектах воздействия информационных систем [4, 6, 13].

Особенностью функционирования информационных систем с точки зрения их безопасности является то, что они выполняют свои функции в условиях неопределенности и ограниченных финансовых ресурсов на поддержку средств защиты. Поэтому при обеспечении защищенности информационных систем большое значение имеют вопросы экономики информационной безопасности, основанные на математическом моделировании [1, 2, 14].

Предлагаемая работа подготовлена как развитие публикаций авторов [7-9], в которых процессы по защите информации выполняются с учетом ограничений

на финансовые средства. Для реализации этого условия авторами предлагается использовать денежный фонд (ДенФ), который выполняет такие функции: 1) осуществляет накопление платежей, которые поступают с какой-то периодичностью (сут.) и каким-то размером (тыс. руб.), поступления являются неслучайными величинами, как для размеров, так и для интервалов; 2) при необходимости фондом производится оплата работ, связанных с устранением инцидентов информационной безопасности. В этом случае также определяется периодичность использования фонда (сут.) и стоимость этих работ (тыс. руб.). Но в этом случае интервалы времени между инцидентами и затраты на их устранения являются случайными величинами с известными двухпараметрическими функциями распределения и с известными значениями математических ожиданий (mt для интервалов и mz для затрат) и коэффициентов вариации (kvt для интервалов и kvz для затрат). В результате взаимодействия этих потоков возникает случайный процесс, который в каждый момент времени определяет денежное состояние фонда.

Целью работы является апробация моделирующей программы, реализующей случайный процесс для вычисления денежного состояния фонда и исследования показателя эффективности, характеризующего обнуление денежного фонда.

Основные результаты. Состояние ДенФ предлагается описать случайным нестационарным процессом вида

$$Fs(t) = Fs_0 + \sum_{l=1}^L Y_l(t) - \sum_{j=1}^m Z_j(t), \quad (1)$$

где Fs_0 – начальное значение процесса $Fs(t)$, тыс. руб.; $Y_l(t)$ – суммарная величина доходов по платежам l -го вида за время t , тыс. руб.; L – число видов платежей по пополнению ДенФ; $Z_j(t)$ – суммарная величина расходов для j -й работы за время t , тыс. руб.; m – число видов работ по устранению инцидентов информационной безопасности.

Введем такие обозначения: s – время, когда в ДенФ закончились деньги на оплату работ по устранению инцидентов информационной безопасности, сут. (время обнуления ДенФ); $(S < S_t)$ – случайное событие, когда обнуление ДенФ происходит на интервале $(0, S_t)$ (S – случайная величина, значениями которой являются величины s).

Время обнуления возникает в связи с тем, что случайный процесс (1), характеризующий состояние ДенФ, является нестационарным [5]. Поэтому некоторые реализации процесса пересекают ось времени (значение реализации процесса в момент времени s становится отрицательным).

Вероятность обнуления ДенФ до времени S_t

$$p_t = P(s < S_t) \quad (2)$$

предлагается в качестве показателя эффективности (в теории рисков (2) – это однофакторная модель риска).

Необходимо так организовать поступление денежных платежей в фонд, чтобы при появлении инцидентов информационной безопасности и проведения

работ по их устранению однофакторный риск (2) был минимален.

При имитационном моделировании, используя созданную моделирующую программу, для времени s создается упорядоченная по возрастанию выборка объема n

$$Ts = (s_1, \dots, s_i, \dots, s_n). \quad (3)$$

Это позволяет показатель (2) заменить на точечную (\tilde{R}_τ) и интервальную (τ_1, τ_2) оценки [9, 10]

$$\tilde{R}_\tau = k_\tau / n_0, \quad (4)$$

где k_τ – число реализаций процесса, для которых формируются величины (3); n_0 – число реализаций процесса, моделируемых при исследовании работ на основе бюджетного фонда. Это значение должно обеспечить необходимую точность моделирования;

$$\tau_1 = k_\tau / [k_\tau + (n_0 - k_\tau + 1) \cdot F_1(k_1, k_2)], \quad (5)$$

где $F_1(k_1, k_2)$ – критическое значение для F -распределения при k_1 и k_2 степенях свободы и доверительной вероятности $\gamma = 0.95$, $k_1 = 2 \cdot (n_0 - k_\tau + 1)$, $k_2 = 2 \cdot k_\tau$;

$$\tau_2 = (k_\tau + 1) \cdot F_2(k_3, k_4) / [n_0 - k_\tau + (k_\tau + 1) \cdot F_2(k_3, k_4)], \quad (6)$$

где $F_2(k_3, k_4)$ – критическое значение для F -распределения при k_3 и k_4 степенях свободы и доверительной вероятности $\gamma = 0.95$, $k_3 = 2 \cdot (k_\tau + 1)$, $k_4 = 2 \cdot (n_0 - k_\tau)$.

При создании моделирующей программы используется язык программирования Python версии 3.13 [11].

Для проведения апробации экспертами выделено пять видов работ:

1) поддержка и модернизация программных средств защиты информации;

2) восстановление работоспособности технических и программно-аппаратных средств защиты информации;

3) резервное копирование важной информации (облачное хранение, зеркалирование и т.д.);

4) поддержка, восстановление и модернизация средств защиты информации для сложных сетевых инфраструктур (dallas lock и т. д.);

5) поддержка и модернизация криптографических средств защиты информации, включая программно-аппаратные комплексы.

В таблице 1 приведены исходные данные для выбранных работ (вероятностные модели и их числовые характеристики), предложенные экспертами для апробации, j – номер вида работы. В этой таблице приняты такие обозначения для вероятностных моделей: нормальное (Н), логнормальное (Лн), равномерное (Рв), гамма (Г), бета (Б), Парето с нулевой точкой (П), Бирнбаума-Саундерса (Б-С). Выбор этих распределений обусловлен их применимостью в имитационном моделировании, теории рисков и страховой математике [3, 10, 12].

Таблица 1 – Вероятностные модели и их числовые характеристики

Table 1 – Probabilistic models and their numerical characteristics

j	1	2	3	4	5
В. м. для интер.	Н	Б	Рв	Б	Н
mt_j , сут.	18.0	24.0	28.0	6.0	22.0
kvt_j	0.20	0.10	0.10	0.10	0.10
В. м. для затрат	Лн	Б-С	П	Лн	Г
mz_j , тыс. руб.	380.0	340.0	200.0	120.0	250.0
kvz_j	0.15	0.20	1.25	0.25	0.15

Исследование проведем по влиянию интервала времени h при $L = 1$ для трех вариантов (В): $C1$, $h = 3$ сут.; $C2$, $h = 5$ сут.; $C3$, $h = 7$ сут. В таблице 2 приведены результаты моделирования по показателю эффективности (2) с учетом (4), (5), (6) для выбранных вариантов.

Таблица 2 – Результаты моделирования

Table 2 – Simulation results

В	S_t , сут.	k_t	\tilde{R}_t	τ_1	τ_2	Δ , %
C1	91	2125	0.0213	0.0205	0.0220	3.52
	182	6791	0.0679	0.0666	0.0692	1.91
	273	11827	0.1183	0.1166	0.1200	1.44
	365	16592	0.1659	0.1640	0.1679	1.18
C2	91	3213	0.0321	0.0312	0.0331	2.96
	182	9409	0.0941	0.0926	0.0956	1.59
	273	15569	0.1557	0.1538	0.1576	1.22
	365	21162	0.2116	0.2095	0.2138	1.02
C3	91	3455	0.0345	0.0336	0.0355	2.75
	182	9857	0.0986	0.0970	0.1001	1.57
	273	16347	0.1635	0.1615	0.1654	1.19
	365	22068	0.2207	0.2185	0.2228	0.97

Число реализаций при моделировании равно 100000, в таблице 2 приведена относительная погрешность в процентах

$$\Delta = (\tau_2 - \tau_1) \cdot 100 / (2 \cdot \tilde{R}_t). \quad (7)$$

С увеличением объема выборки k_t ($S_t > 91$ сут.) погрешность менее 2% можно считать хорошей точностью вычислений.

Анализируя результаты таблицы 2, можно сделать такой вывод: наименьший риск наблюдается для варианта $C1$, когда $h = 3$ сут. Причем результаты отличаются значимо для всех значений S_t (доверительные интервалы не пересекаются). Таким образом, по возможности периодичность платежей нужно уменьшать.

На рисунке 1 приведены 36 значений точечной оценки (4) для варианта $C1$ при $S_t=365$ сут. с шагом 10 сут. В этом случае k_t – число реализаций процесса (1), для которых $s < S_0$, где $S_0=10, 20$ и т.д. сут. Исходя из значений (рисунок 1),

можно сделать вывод о достаточно равномерном росте величины (4) от времени. Доля реализаций, для которых происходит обнуление ДенФ в конце года, равна 0.166.

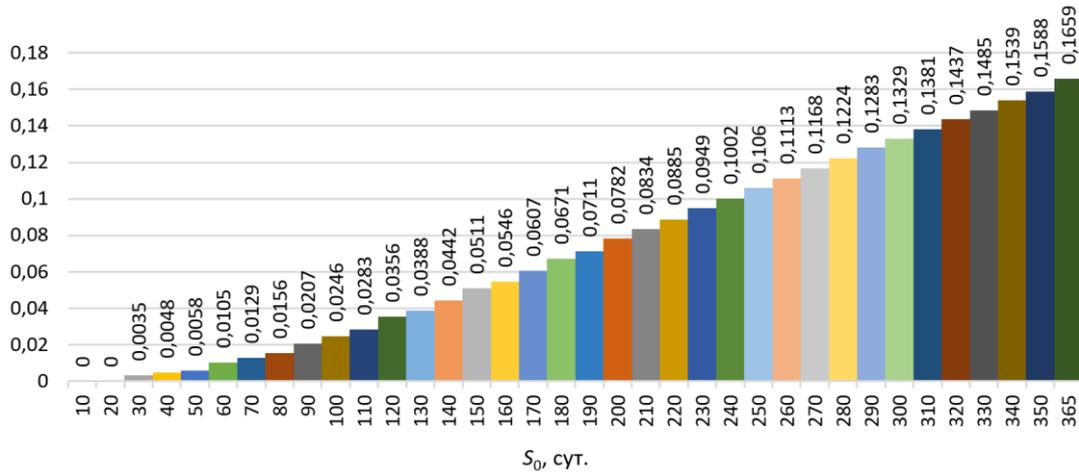


Рисунок 1 – Значения точечной оценки (4) для варианта C1 при $S_T=365$ сут. с шагом 10 сут.

Figure 1 – Values of the point estimate (4) for option C1 with $S_T=365$ days with a step of 10 days

Дополнительно проведено исследование по влиянию начального значения (Fs_0) процесса (1). Это значение предлагается задавать в долях от величины средних годовых расходов

$$Fs_0 = g \cdot X, \text{ тыс. руб.}, \quad (8)$$

где X – средние финансовые средства (тыс. руб.), необходимые для выполнения годового объема всех работ (расходы); g – коэффициент.

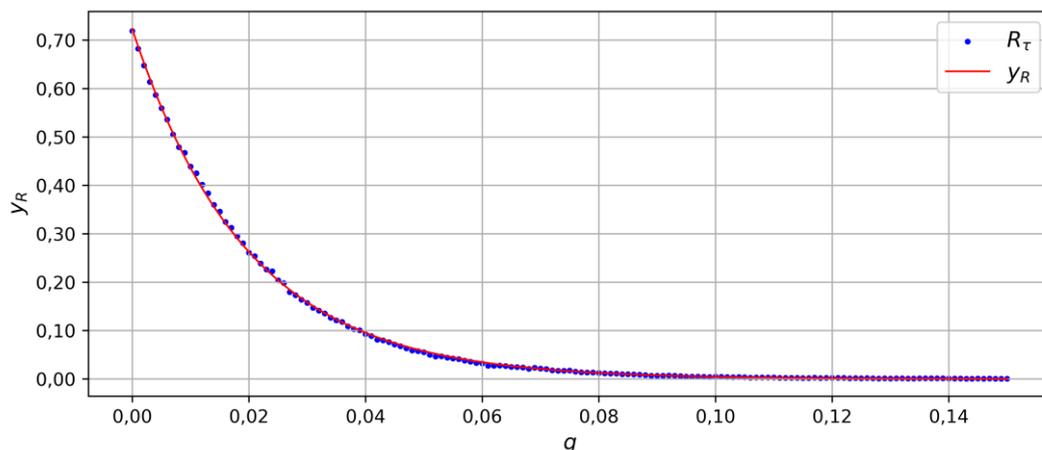


Рисунок 2 – Аппроксимация точечной оценки \tilde{R}_τ функцией, зависящей от коэффициента g , вариант C1, $S_T=365$ сут.

Figure 2 – Approximation of the point estimate \tilde{R}_τ as a function of coefficient g , option C1, $S_T=365$ сут.

На рисунке 2 представлена аппроксимация точечной оценки \tilde{R}_τ

функцией, зависящей от коэффициента g , для варианта $C1$. Аппроксимация проведена функцией

$$y_r(g) = A \cdot e^{-a \cdot g}. \quad (9)$$

При $S_t = 365$ сут.: $A = 0.72$; $a = 50.94$ наблюдается хорошее приближение (коэффициент детерминации равен 0.999).

Из рисунка 2 видно, что при увеличении g точечная оценка монотонно уменьшается, достигая при g больше 0.08 значений, близких к нулю. Этот вывод о монотонном уменьшении подтверждается и для других значений S_t .

Заключение. Созданное и апробированное программно-математическое обеспечение для вычисления показателей эффективности, характеризующих защищенность информационных систем, может быть использовано для различных организаций, включая сельскохозяйственные.

Список литературы

1. Базилевский, М.П. Формализация модели информационной безопасности предприятия в виде многокритериальной задачи линейного программирования / М.П. Базилевский, П.Н. Наседкин // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2023. – Т. 11, № 3(42). – С. 10-11. – DOI 10.26102/2310-6018/2023.42.3.021
2. Ефимов, Е.Н. Оценка эффективности мероприятий информационной безопасности в условиях неопределенности / Е.Н. Ефимов, Е.М. Лапицкая // Бизнес-информатика. – 2015. – № 1(31). – С. 51-57.
3. Кельтон, В. Имитационное моделирование / В. Кельтон, А. Лоу. – СПб.: Питер, 2004. – 847 с.
4. Кондауров, С.Н. Проблемы обеспечения информационной безопасности в корпоративных сетях / С.Н. Кондауров, А.В. Бунина, А.В. Митрофанов // Современные информационные технологии и информационная безопасность: материалы 3-й Всероссийской научно-технической конференции. – Курск: ЗАО “Университетская книга”, 2024. – С. 69-72.
5. Королев, В.Ю. Математические основы теории рисков / В.Ю. Королев, В.Е. Бенинг, С.Я. Шоргин – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2011. – 620 с.
6. Краковский, Ю.М. Методы и средства защиты информации / Ю.М. Краковский. – Санкт-Петербург: Лань, 2024. – 272 с.
7. Краковский, Ю.М. Влияние вероятностных моделей работ, связанных с защитой информации, на значения показателей эффективности / Ю.М. Краковский, В.П. Киргизбаев // Информационные и математические технологии в науке и управлении, 2024. – № 3(35). – С. 112-119. – DOI: 10.25729/ESI.2024.35.3.010
8. Краковский, Ю.М. Программно-математическое обеспечение для исследования показателей эффективности экономики информационной безопасности / Ю.М. Краковский, В.П. Киргизбаев // System Analysis and Mathematical Modeling, 2024. – Т. 6, № 2. – С. 209–220. – DOI 10.17150/2713-1734.2024.6(2).209–220
9. Краковский, Ю.М. Системный подход к моделированию работ по устранению инцидентов информационной безопасности применительно к корпоративной информационной системе / Ю.М. Краковский, В.П. Киргизбаев // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2025. № 1 (85). С. 142-151. DOI 10.26731/1813-9108.2025.1(85).142-151.
10. Краковский, Ю.М. Моделирование ремонтных работ оборудования на основе случайного процесса риска / Ю.М. Краковский, Н.А. Хоанг // Прикладная информатика. – 2020. – Т.15. – № 6. – С. 5-15. DOI: 10.37791/2687-0649-2020-15-6-5-15.
11. Марк Лутц. Изучаем Python / Лутц М. Пер. с англ. – СПб.: ООО “Диалектика”, 2019. – Том 1. – 832 с.

12. Мак Томас. Математика рискованного страхования / Томас М. Пер. с нем. – М.: ЗАО “Олимп-Бизнес”, 2005. – 432 с.

13. Оганесян, Л.Л. Проектное управление в информационной безопасности / Л.Л. Оганесян, Н.С. Козырь // Вестник Академии знаний. – 2023. – № 4(57). – С. 207-209.

14. Сизов, В.А. Моделирование экономики информационной безопасности субъекта экономической деятельности на основе симплекс-метода / В.А. Сизов, А.А. Дрожжин // Вестник Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова. – 2021. – Т. 18, № 1(115). – С. 173-178.

References

1. Bazilevskii, M.P., Nasedkin, P.N. Formalizatsiya modeli informatsionnoy bezopasnosti predpriyatiya v vide mnogokriterial'noj zadachi linejnogo programmirovaniya [Formalization of the enterprise information security model in the form of a multicriteria linear programming problem]. Modelirovanie, optimizatsiya i informatsionnye tekhnologii, 2023, vol. 11, no. 3(42), pp. 10-11. – DOI 10.26102/2310-6018/2023.42.3.021

2. Efimov, E.N., Lapitskaya, E.M. Ocenka effektivnosti meropriyatij informatsionnoy bezopasnosti v usloviyah neopredelennosti [Evaluation of the effectiveness of information security measures in conditions of uncertainty]. Biznes-informatika, 2015, no. 1(31), pp. 51-57.

3. Kelton, V.; Lou, A. Imitatsionnoe modelirovanie [Simulation modeling]. Sankt-Peterburg: Piter, 2004, 847 p.

4. Kondaurav, S.N. et all. Problemy obespecheniya informatsionnoy bezopasnosti v korporativnykh setyakh [Problems of Ensuring Information Security in Corporate Networks]. Kursk: ZAO “Universitetskaya kniga”, 2024, pp. 69-72.

5. Korolev, V.Yu. et all. Matematicheskie osnovy teorii riskov [Mathematical Foundations of Risk Theory]. Moscow: FIZMATLIT, 2011, 620 p.

6. Krakovskii, Yu.M. Metody i sredstva zashchity informatsii [Methods and Means of Information Protection]. Sankt-Peterburg: Lan', 2024, 272 p.

7. Krakovskii, Yu.M., Kirgizbaev, V.P. Vliyaniye veroyatnostnykh modelej rabot, svyazannykh s zashchitoy informatsii, na znacheniya pokazatelej effektivnosti [The Impact of Probabilistic Models of Work Related to Information Security on the Values of Performance Indicators]. Informatsionnye i matematicheskie tekhnologii v nauke i upravlenii, 2024, no. 3(35), pp. 112–119. – DOI 10.25729/ESI.2024.35.3.010

8. Krakovskii, Yu.M., Kirgizbaev, V.P. Programmno-matematicheskoye obespecheniye dlya issledovaniya pokazatelej effektivnosti ekonomiki informatsionnoy bezopasnosti [Software and mathematical support for the study of performance indicators of the information security economy]. System Analysis and Mathematical Modeling, 2024, vol. 6, no. 2, pp. 209-220. – DOI 10.17150/2713-1734.2024.6(2).

9. Krakovskii, Yu.M., Kirgizbaev, V.P. Sistemnyy podhod k modelirovaniyu rabot po ustraneniyu incidentov informatsionnoy bezopasnosti primenitel'no k korporativnoy informatsionnoy sisteme [A systems approach to modeling work on eliminating information security incidents in relation to a corporate information system]. Sovremennyye tekhnologii. Sistemnyy analiz. Modelirovanie, 2025, no. 1(85), pp. 142-151. – DOI 10.26731/1813-9108.2025.1(85).

10. Krakovskii, Yu.M., Hoang, N.A. Modelirovanie remontnykh rabot oborudovaniya na osnove sluchajnogo processa riska [Modeling equipment repair work based on a random risk process]. Prikladnaya informatika, 2020, vol. 15, no. 6, pp. 5-15. – DOI 10.37791/2687-0649-2020-15-6-5-15.

11. Mark Lutz. Izuchaem Python [Learning Python]. Sankt-Peterburg: OOO “Dialektika”, 2019, vol. 1, 832 p.

12. Mak Tomas. Matematika riskovogo strahovaniya [Mathematics of risk insurance]. Moscow: “Olimp-Biznes”, 2005, 432 p.

13. Oganesyanyan, L.L., Kozyr, N.S. Proektnoye upravleniye v informatsionnoy bezopasnosti [Project management in information security]. Vestnik Akademii znaniy, 2023, no. 4(57), pp. 207-209.

14. Sizov, V.A., Drozhkin, A.A. Modelirovanie ekonomiki informacionnoj bezopasnosti sub'ekta ehkonomicheskoy deyatel'nosti na osnove simplex-metoda [Modeling the economics of information security of an economic entity based on the simplex method]. Vestnik Rossijskogo ehkonomicheskogo universiteta imeni G.V. Plehanova, 2021, vol. 18, no. 1(115), pp. 173-178.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе полученных данных. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие конфликта интересов.

Author's contribution. All authors of this study were directly involved in the planning, execution and analysis of this study. All authors of the article reviewed and approved the final version of the manuscript.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interest.

История статьи / Article history

Дата поступления в редакцию / Received: 12.05.2025

Поступила после рецензирования и доработки / Received: 17.06.2025

Дата принятия к печати / Accepted: 27.06.2025

Сведения об авторах

Краковский Юрий Мечеславович – доктор технических наук, профессор кафедры “Информационные системы и защита информации”. Иркутский государственный университет путей сообщения.

Контактная информация: Иркутский государственный университет путей сообщения, 664074, Иркутская область, г. Иркутск, ул. Чернышевского, д. 15, тел. +79149267772. e-mail: 79149267772@yandex.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4876-0618>.

Киргизбаев Владислав Павлович – аспирант кафедры “Информационные системы и защита информации”. Иркутский государственный университет путей сообщения.

Контактная информация: Иркутский государственный университет путей сообщения, 664074, Иркутская область, г. Иркутск, ул. Чернышевского, д. 15, тел. +79041491661. e-mail: v.p.kirgizbaev@gmail.com.

Information about the authors

Yuri M. Krakovskii – Doctor of Engineering, Professor of the Department of Information Systems and Information Security. Irkutsk State Transport University.

Contact information: Irkutsk State Transport University, 15 Chernyshevskogo St., Irkutsk, 664074, Russia, ph. +79149267772. e-mail: 79149267772@yandex.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4876-0618>.

Vladislav P. Kirgizbaev – Graduate Student of the Department of Information Systems and Information Security. Irkutsk State Transport University.

Contact information: Irkutsk State Transport University, 15 Chernyshevskogo St., Irkutsk, 664074, Russia, ph. +79041491661. e-mail: v.p.kirgizbaev@gmail.com.



DOI 10.51215/2411-6483-2025-55-66-77

УДК 004.451.7.031.43:636.03

Научная статья

СОЗДАНИЕ ДАШБОРДА ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДАННЫХ О ПОСЕВНЫХ РАБОТАХ В ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ ПОСРЕДСТВОМ POWER BI

И.А. Лобыцин, Н.И. Федурин

Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского,
п. Молодежный, Иркутский район, Иркутская область, Россия

Аннотация: Проблема оперативного сбора, обработки и визуализации данных в современном быстроразвивающемся сельском хозяйстве остается весьма актуальной. Для аграриев любого региона, в частности, для Иркутской области важным фактором является сроки посевов сельскохозяйственных культур. Для региональных министерств и ведомств вопрос мониторинга хода посевных работ весьма актуален. В данной статье рассматривается опыт создания аналитического инструмента на основе платформы Power BI для мониторинга посевных работ в Иркутской области. Power BI как набор инструментов для бизнес-аналитики позволяют собирать, преобразовывать и визуализировать данные. С помощью Power BI можно создавать интерактивные дашборды. Дашборд в Power BI это один из инструментов для отображения и анализа данных, который позволяет визуализировать ключевые показатели. Описана структура дашборда, приведены и охарактеризованы ключевые функциональные возможности, а также примеры использования в оперативной работе. Проиллюстрированы возможности дашборда, его простота восприятия, оперативность работы с данными с помощью скриншотов готовых окон. Рассмотрена важность создания “ключевых метрик” и расчетных показателей для автоматизации сбора и обработки данных о посевных работах по различным видам сельскохозяйственных культур. В Power BI метрики создаются с использованием специального языка DAX (Data Analysis Expressions), который используется для создания вычислений и анализа данных. Пошагово описана и применена технология разработки визуальных элементов дашборда в Power BI. Приведены технические аспекты реализации решения возможность его использования для министерства сельского хозяйства любого региона. Кроме того, предложены перспективные направления развития данного продукта, которые, позволят качественно улучшить получаемые результаты для управления аграрным производством.

Ключевые слова: дашборд, power BI, визуализация данных, сельское хозяйство, мониторинг посевных работ.

Для цитирования: Лобыцин И.А., Федурин Н.И. Создание дашборда для визуализации данных о посевных работах в Иркутской области посредством Power BI. *Электронный научно-практический журнал “Актуальные вопросы аграрной науки”*. 2025; 2(55):66-77. DOI 10.51215/2411-6483-2025-55-66-77.

CREATING A DASHBOARD FOR VISUALIZING DATA ON SOWING WORKS IN THE IRKUTSK REGION USING POWER BI

Ivan A. Lobytsin, Nina I. Fedurina

Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky,
Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk Region, Russia

Abstract. The problem of prompt collection, processing and visualization of data in modern fast-growing agriculture remains very relevant. For farmers of any region, in particular, for the Irkutsk region, an important factor is the timing of sowing crops. For regional ministries and departments, the issue of monitoring the progress of sowing works is very relevant. This article discusses the experience of creating an analytical tool based on the Power BI platform for monitoring sowing works in the Irkutsk region. Power BI as a set of tools for business analytics allows you to collect, transform and visualize data. With the help of Power BI, you can create interactive dashboards. A dashboard in Power BI is one of the tools for displaying and analyzing data, which allows you to visualize key indicators. The structure of the dashboard is described, key functional capabilities are given and characterized, as well as examples of use in operational work. The capabilities of the dashboard, its ease of perception, the efficiency of working with data are illustrated using screenshots of ready-made windows. The importance of creating “key metrics” and calculated indicators for automating the collection and processing of data on sowing operations for various types of agricultural crops is considered. In Power BI, metrics are created using a special language DAX (Data Analysis Expressions), which is used to create calculations and analyze data. The technology for developing visual elements of a dashboard in Power BI is described and applied step by step. The technical aspects of implementing the solution and the possibility of its use for the Ministry of Agriculture of any region are given. In addition, promising areas for the development of this product are proposed, which will allow for a qualitative improvement in the results obtained for managing agricultural production.

Keywords: dashboard, power BI, data visualization, agriculture, monitoring of sowing operations.

For citation: Lobytsin I.A., Fedurina N.I. Creating a dashboard for visualizing data on sowing works in the Irkutsk region using Power BI. *Electronic scientific-Practical journal “Actual issues of agrarian science”*. 2025; 2(55):66-77. DOI 10.51215/2411-6483-2025-55-66-77.

Введение. В сельском хозяйстве эффективное управление и анализ данных играет ключевую роль в повышении урожайности и оптимизации процессов [3, 5, 6]. Важный фактор при получении более высоких урожаев является сроки посева сельскохозяйственных культур. Об этом свидетельствуют научные публикации и разработки авторов [1, 2, 4, 10, 11]. Конечно же, имеются справочники и различного рода рекомендации, на основе которых аграрии формируют план посевных работ. Несмотря на это по-прежнему актуален вопрос об автоматизированном сборе различного рода данных и их визуальном представлении остается актуальным.

Одним из инструментов, который, помогает аграриям принимать обоснованные решения, является использование дашбордов для

визуализации данных. В данной статье рассматривается, как Power BI можно применить для анализа хода посевных работ в Иркутской области. Современные технологии анализа данных играют важную роль в сельском хозяйстве, обеспечивая оперативный контроль за ходом посевных работ. В Иркутской области, где агропромышленный комплекс имеет существенное значение для экономики региона, актуальна задача мониторинга выполнения планов посева и выявления проблем по реализации мероприятий планирования.

Как правило, информация представляется в виде различных таблиц. Однако традиционные методы анализа табличных данных не всегда позволяют оперативно оценить ситуацию, особенно при большом объеме данных. Внедрение инструментов бизнес-аналитики, таких как Power BI, дает возможность наглядно представить ключевые метрики, выявлять тенденции и принимать управленческие решения на основе актуальных данных [8].

Целью работы является создание интерактивного дашборда в Power BI для визуального мониторинга хода посевных работ на основе оперативных данных министерства сельского хозяйства Иркутской области.

Для достижения поставленной цели определены следующие задачи:

- проанализировать структуру оперативной сводки по растениеводству;
- определить ключевые показатели для визуализации;
- разработать концепцию дашборда;
- реализовать дашборд и настроить интерактивные элементы (фильтры, графики, таблицы).

Объекты и методы исследования. Объектом исследования в данной статье выступает аналитический инструмент Power BI, использованный для анализа и визуализации данных по посевным работам в Иркутской области [9]. Для визуализации данных использованы диаграммы, графики и сводные таблицы, а также дашборд как инструмент создания интерактивных отчетов по посевам.

Основные результаты. Основой для создания дашборда послужила оперативная сводка министерства сельского хозяйства Иркутской области, размещенная на официальном сайте и содержащая ежедневно обновляемые показатели (таблица): план и факт посева зерновых (включая пшеницу, овес, ячмень, горох и др.); динамика выполнения плана (в %); данные по посадке картофеля, овощей, технических культур; объемы завезенных и внесенных минеральных удобрений.

Для разработки дашборда использовался Power BI – инструмент бизнес-аналитики, позволяющий:

- подключаться к Excel-файлам и базам данных;
- очищать и трансформировать данные с помощью Power Query;
- создавать интерактивные отчеты с фильтрами и срезами;

- визуализировать данные в виде карточек, графиков, матриц;
- публиковать отчеты с целью их коллективного использования [7].

Первым шагом, при разработке проекта, являлось сбор данных о посевных работах в Иркутской области (табл.ица).

Таблица – Информация о плановых и фактических результатах посева зерновых культур по данным министерства сельского хозяйства Иркутской области, по состоянию на 26.05.2025

Table - Information on planned and actual results of sowing grain crops according to the Ministry of Agriculture of the Irkutsk Region, as of 26.05.2025

№ п/п	Районы	План посева зерновых культур, га	Посяно зерновых культур, га	в том числе				
				Пшеница, га	Овес, га	Ячмень, га	Горох, га	Прочие, га
1	Ангарский	715,0	530,0	230,0	80,0	210,0		10,0
2	Балаганский	2 875,9	2 312,3	750,2	1 367,1	195,0		
3	Братский	11 807,5	5 665,2	3 292,4	244,0	1 246,8	882,0	
4	Жигаловский	182,0	182,0	105,0	2,0	75,0		
5	Заларинский	20 863,0	15 328,0	9 923,0	2 898,0	1 784,0	723,0	
6	Зиминский	8 096,0	6 675,0	4 304,0	1 030,0	1 206,0	135,0	
7	Иркутский	5 856,0	3 971,0	1 184,0	560,0	830,0	1 397,0	
8	Казачинско-Ленский	0,0						
9	Качугский	1 933,0	1 761,0	1 126,0	475,0	160,0		
10	Киренский	1 692,0						
11	Куйтунский	56 262,0	42 683,0	27 217,0	1 246,0	8 563,0	5 612,0	45,0
12	Нижнеилимский	0,0						
13	Нижнеудинский	19 828,0	16 235,0	8 713,0	1 660,0	5 014,0	848,0	
14	Ольхонский	0,0						
15	Тайшетский	4 935,0	4 220,0	1 898,0	1 635,0	667,0	20,0	
16	Тулунский	30 551,0	23 824,0	11 081,0	2 578,0	4 310,0	5 855,0	
17	Усольский	18 815,0	16 320,0	5 006,0	2 937,0	8 079,0	298,0	
18	Усть-Илимский	36,0	0,0					
19	Усть-Кутский	145,0	50,0	25,0		25,0		
20	Усть-Удинский	3 921,0	3 491,0	1 711,0	1 125,0	655,0		
21	Черемховский	38 703,0	32 019,0	17 990,0	2 494,0	10 468,0	970,0	97,0
22	Чунский	940,0	794,0	572,0	118,0	104,0		
23	Аларский	34 593,0	24 435,0	11 146,0	4 606,0	5 486,0	3 197,0	
24	Баяндаевский	7 196,0	5 991,0	1 601,0	2 408,0	1 982,0		
25	Боханский	26 661,4	21 178,0	13 042,0	4 350,0	2 375,0	1 011,0	400,0
26	Нукутский	10 323,0	7 592,0	3 634,0	1 011,0	2 947,0		
27	Осинский	9 857,3	7 605,0	4 532,0	2 834,0	69,0	170,0	
28	Эхирит-Булагатский	8 998,0	5 838,0	2 416,0	1 850,0	1 572,0		

После предварительной обработки и нормализации данных с помощью Power Query осуществлялся перенос данных в Power BI.

После этого выделялись ключевые метрики и создавались расчетные показатели. Создание расчетных показателей возможно с создания мер на языке DAX, которые можно выбирать или создавать в слайсере.

Например, создана мера “Ранг” для отбора актуального периода – Ранг = RANKX(‘2025’, ‘2025’[Дата],,,DENSE). Показатель “RANKX” предназначен для присваивания каждой дате ранга с целью выбора последних актуальных значений в дальнейших расчетах, а параметр “DENSE” исключает пропуски в нумерации при одинаковых значениях.

Кроме того, разработаны следующие показатели “вычисляемых мер”:

- фактический посев зерновых, в зависимости от вида (с фильтрацией по актуальному периоду);
- доля конкретной культуры в общем посеве зерновых;
- план посева зерновых (только актуальные данные);
- процент выполнения плана по зерновым;
- динамический вывод данных по пшенице (в зависимости от выбора пользователя) и др.

При разработке дашборда для визуализации данных о ходе посевных работ в Иркутской области созданы вычисляемые столбцы и меры на языке DAX [13], который разработан для работы с данными в Power BI, Power Pivot и Analysis Services. С помощью DAX можно создавать меры (measures), вычисляемые столбцы (calculated columns) и таблицы, которые позволяют проводить сложный анализ данных. Меры создаются в области “Поля” в Power BI Desktop, и отображаются со значком калькулятора. DAX использует функции, операторы и константы для выполнения вычислений [12, 13].

Вычисляемые столбцы и меры обеспечивают динамические расчеты, фильтрацию данных и интерактивность отчета.

Аналогичные меры используются при вычислении всех данных для отображения в карточках, графиках и таблицах разработанного дашборда. На рисунке 1 приведен программный код для создания меры.

Авторами проведена разработка визуальных элементов дашборда и настройка элементов управления.

Созданный дашборд включает следующие элементы:

- фильтр “Муниципальное образование”, который позволяет выбрать конкретный муниципальный район или проанализировать данные в целом по региону;
- карточки с ключевыми показателями (план и факт посева зерновых культур, объем посаженного картофеля, посеянных овощей, однолетних трав и тех. культур, информация об объеме минеральных удобрений);

- датчик “% выполнения плана”, который отражает долю выполнения плана;
- кольцевая диаграмма “Распределение по видам культур” для визуализации структуры посевов;
- таблица с информацией об объеме и доле видов засеянных культур (пшеница, ячмень и т.д.);
- графики динамики, отображающий ежедневный прогресс посевной кампании, информация по площадям в гектарах (с возможностью выбора культуры) и проценте выполнения плана;
- сводная таблица по муниципальным образованиям с цветовой индикацией отстающих районов;

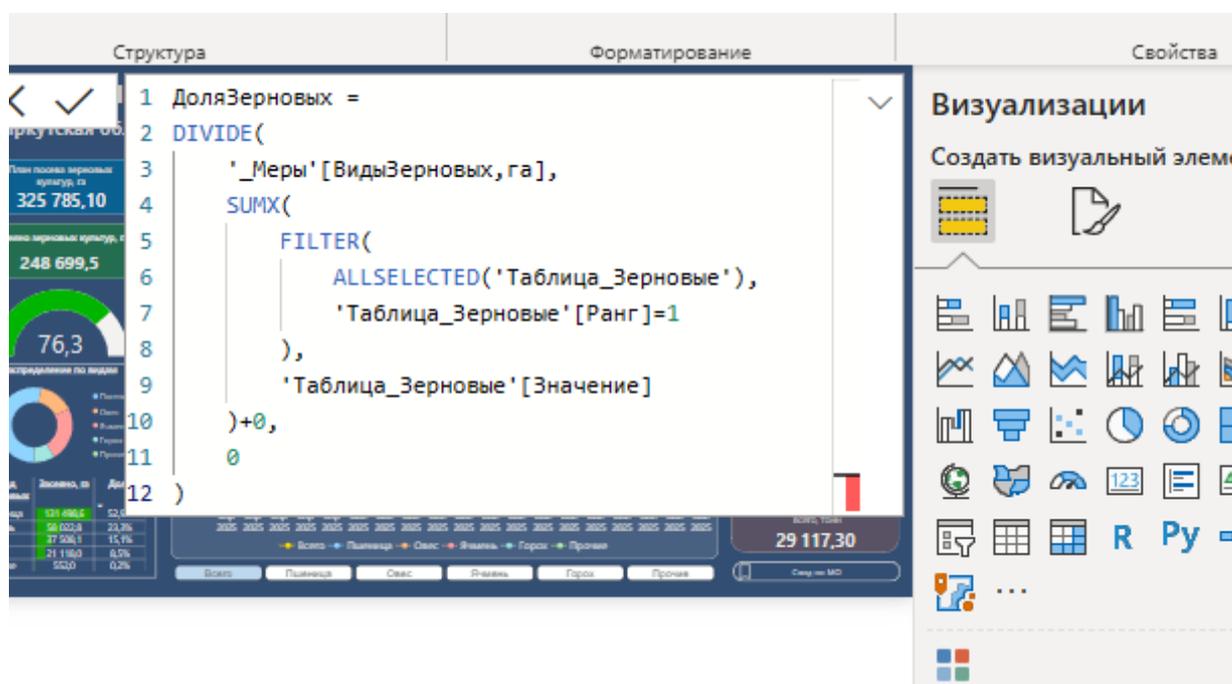


Рисунок 1 – Пример использования меры в дашборде

Figure 1 – Example of using a measure in a dashboard

Приведенный процесс визуализации данных осуществлен последовательно. Основная область разработанного дашборда представлена на рисунке 2. В ней представлена информация об оперативных данных по посевным работам: общий план посевных работ по области в гектарах, процент выполнения плана, объем проведенных посевов в целом и по каждому виду зерновых культур (отдельная пиктограмма). Помимо этого, реализован свод по муниципальным образованиям по картофелю, овощам и техническим культурам.

Для визуализации оперативных данных по муниципальным районам в дашборде реализована фильтрация (рис. 2). Данная опция позволяет через “Фильтр”, выбрав любой район Иркутской области, получить полную

цифровую информацию о ходе посевной кампании.



Рисунок 2 – Основная рабочая область дашборда

Figure 2 – The main working area of the dashboard

На рисунке 3 показана динамика посева зерновых культур: ячмень, однолетние травы, объем удобрений и их расходование.

В виде круговой диаграммы на экране отображается распределение площадей посевов по видам культур, а также план посева. Созданный дашборд выступает в роли оперативного мониторинга хода посевных работ, визуализирует аналитические отчеты и позволяет контролировать выполнение плана посевных работ.

Итоговая страница дашборда, объединяющая сводную информацию по муниципальным районам Иркутской области с отображением достижения процента от плана посева зерновых и цветовой индикацией муниципальных образований, показана на рисунке 4.

Для отслеживания ключевых результатов в режиме реального времени используется панель мониторинга, которая позволяет объединить важные показатели визуализации и метрики в одном месте. На панели размещается картина выполнения плана посевных работ и результаты районов с низким процентом выполнения плана по разным видам культур. Данные можно импортировать в Excel и другие документы.

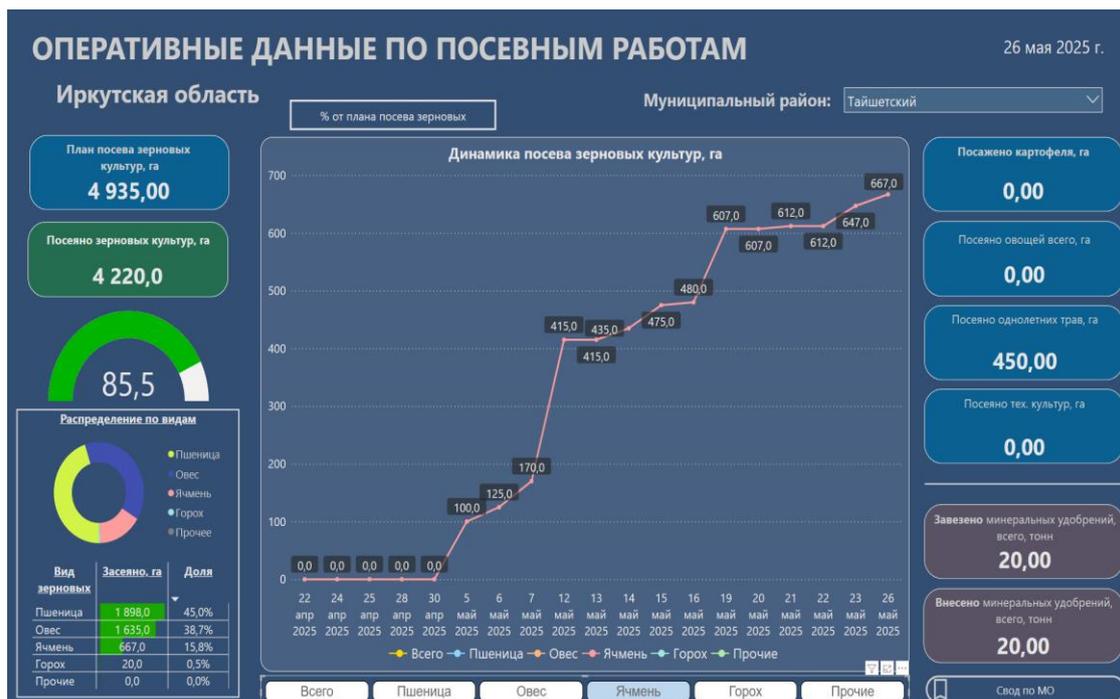


Рисунок 3 – Дашборд с примененным фильтром по Тайшетскому муниципальному району и отображением динамики (в га) по посеву ячменя

Figure 3 – Dashboard with applied filter for Tayshet municipal district and display of dynamics (in ha) for barley sowing



Рисунок 4 – Сводная информация по муниципальным образованиям Иркутской области

Figure 4 – Summary information on municipalities of the Irkutsk region

Заключение. Разработанный дашборд в Power BI позволяет отслеживать процесс посевных работ в режиме реального времени и корректировать планы в зависимости от изменяющихся условий.

Преимуществом созданного дашборда является обеспечение наглядности оперативной сводки; контроль выполнения планов; оперативное выявление проблемных территорий; сокращение времени подготовки аналитических отчетов.

Дальнейшее развитие проекта связано с добавлением новых метрик (например, данные по опашке полей, видам используемых удобрений и т.д.); использованием интерактивной карты; сравнением оперативных данных со сведениями лет; прогнозирование ситуаций.

Список литературы

1. Асалханов, П.Г. О некоторых алгоритмах прогнозирования дат технологических операций возделывания зерновых культур / П.Г. Асалханов, Я.М. Иванько // Вестник ИРГСХА. – 2011. – № 47. – С. 116-121.
2. Асалханов, П.Г. Особенности моделей прогнозирования сроков агротехнологических операций в различных природно-климатических условиях / П.Г. Асалханов, Я.М. Иванько // Вестник ИРГСХА. – 2011. – № 47. – С. 116-121.
3. Асалханов, П.Г. Перспективы цифровой трансформации сельского хозяйства в Иркутской области / П.Г. Асалханов, Н.В. Бендик, Н.И. Федурин // // Инновации в сельскохозяйственном машиностроении, энергосберегающие технологии и повышение эффективности использования ресурсов: матер. междунар. науч.-практ. конф., посвящ. памяти д.т.н., проф., засл. деятеля науки и техники РСФСР, академика РАТ Николая Николаевича Колчина, (24 мая 2022 года г. Рязань). – Рязань, 2022. – Ч. 1. – С. 13-18.
4. Асалханов, П.Г. Факторные модели прогнозирования даты посева сельскохозяйственных культур / П.Г. Асалханов, Я.М. Иванько, Н.И. Федурин // Известия Иркутской государственной экономической академии (Байкальский государственный университет экономики и права). – 2012. – № 5. – С. 25.
5. Астафьева, М.Н. Оценка изменчивости многолетних временных рядов биопродуктивности культур в задачах оптимизации размещения посевов / М.Н. Астафьева, Я.М. Иванько // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2013. – № 2 (73). – С. 16-21.
6. Вашукевич, Ю.Е. Приоритеты развития и модернизация агропромышленного комплекса Иркутской области / Ю.Е. Вашукевич, Я.М. Иванько // Известия Иркутской государственной экономической академии (Байкальский государственный университет экономики и права). – 2010. – № 4. – С. 58-63.
7. Документация Power BI [Электронный ресурс] // Lean: сайт. – URL: <https://learn.microsoft.com/ru-ru/power-bi/> (дата обращения: 26.05.2025).
8. Купченко, И.Ф. Коннектор выгрузки данных в Power BI из CRM-системы Битрикс24 / И.Ф. Купченко, Н.И. Федурин // Научные исследования студентов в решении актуальных проблем АПК: матер. Всерос. студ. науч.-практ. конф., 17-18 февр. 2022 г. : в 4 т. – Молодежный, 2022. – Т. 2. – С. 154-158.

9. Оперативная информация [Электронный ресурс] // Министерство сельского хозяйства Иркутской области: офиц. сайт. – URL: irkobl.ru/sites/agroline/Operativka/ (дата обращения: 26.05.2025).

10. Развитие моделей планирования получения продовольственной продукции / М.Н. Барсукова [и др.] // Информационные и математические технологии в науке и управлении. – 2018. – № 3 (11). – С. 96-107.

11. Ромме, А.А. Проектирование программного комплекса "многоуровневое прогнозирование показателей аграрного производства / А.А. Ромме, Я.М. Иванько // Научные исследования студентов в решении актуальных проблем АПК: матер. Всерос. студ. науч.-практ. конф., 17-18 февр. 2022 г.: в 4-х т. – Молодежный, 2022. – Т. 2. – С. 193-198.

12. Руссо, М. Анализ данных при помощи Microsoft Power BI и Power Pivot для Excel / М. Руссо, А. Феррари. – М.: ДМК Пресс, 2020. – 288 с.

13. Руссо, М. Подробное руководство по DAX: бизнес-аналитика с Microsoft Power BI, SQL Server Analysis Services и Excel / М. Руссо, А. Феррари. – М.: ДМК Пресс, 2021. – 776 с.

References

1. Asalkhanov, P.G., Ivan`o, Ya.M. O nekotory`kh algoritmakh prognozirovaniya dat tekhnologicheskikh operacij vozdey`vaniya zernovy`kh kul`tur [On some algorithms for forecasting dates of technological operations for cultivating grain crops]. Vestnik IrGSKhA, 2011, no. 47, pp. 116-121.

2. Asalkhanov, P.G., Ivan`o, Ya.M. Osobennosti modelej prognozirovaniya srokov agrotekhnologicheskikh operacij v razlichny`kh prirodno-klimaticheskikh usloviyakh [Features of models for forecasting the timing of agro-technological operations in various natural and climatic conditions]. Vestnik IrGSKhA, 2011, no. 47, pp. 116-121.

3. Asalkhanov, P.G. et all. Perspektivy` czifrovoj transformaczii sel`skogo khozyajstva v Irkutskoj oblasti [Prospects for digital transformation of agriculture in the Irkutsk region]. Innovaczii v sel`skokhozyajstvennom mashinostroenii, e`nergoberegayushhie tekhnologii i povy`shenie e`ffektivnosti ispol`zovaniya resursov. Ryazan`, 2022, vol. 1, pp. 13-18.

4. Asalkhanov, P.G. et all. Faktorny`e modeli prognozirovaniya daty` poseva sel`skokhozyajstvenny`kh kul`tur [Factor models for forecasting the sowing date of agricultural crops]. Izvestiya Irkutskoj gosudarstvennoj e`konomicheskoy akademii, 2012, no. 5, pp. 25.

5. Astaf`eva, M.N., Ivan`o, Ya.M. Ocenka izmenchivosti mnogoletnikh vremenny`kh ryadov bioproduktivnosti kul`tur v zadachakh optimizaczii razmeshheniya posevov [Evaluation of variability of long-term time series of crop bioproductivity in crop placement optimization problems]. Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2013, no. 2 (73), pp. 16-21.

6. Vashukevich, Yu.E., Ivan`o, Ya.M. Priority` razvitiya i modernizacziiya agropromy`shlennogo kompleksa Irkutskoj oblasti [Priorities for the development and modernization of the agro-industrial complex of the Irkutsk region]. Izvestiya Irkutskoj gosudarstvennoj e`konomicheskoy akademii, 2010, no. 4, pp. 58-63.

7. Dokumentacziiya Power BI [Power BI Documentation]. <https://learn.microsoft.com/ru-ru/power-bi/> (data obrashheniya: 26.05.2025).

8. Kupchenko, I.F., Fedurina, N.I. Konnektor vy`gruzki danny`kh v Power BI iz CRM-sistemy` Bitriks24 [Connector for uploading data to Power BI from the Bitrix24 CRM system]. Nauchny`e issledovaniya studentov v reshenii aktual`ny`kh problem APK. Molodezhny`j, 2022, vol. 2, pp. 154-158.

9. Operativnaya informacziya [Operational information] Ministerstvo sel'skogo khozyajstva Irkutskoj oblasti. URL: irkobl.ru/sites/agroline/Operativka/ (data obrashheniya: 26.05.2025).

10. Barsukova, M.N. [et al.] Razvitie modelej planirovaniya polucheniya prodovol'stvennoj produkczii [Development of models for planning the production of food products]. Informacionny'e i matematicheskie tekhnologii v nauke i upravlenii, 2018, no. 3 (11), pp. 96-107.

11. Romme, A.A., Ivan`o, Ya.M. Proektirovanie programmnoho kompleksa "mnogourovnevoe prognozirovanie pokazatelej agrarnogo proizvodstva [Design of the software package "multi-level forecasting of agricultural production indicators"]. Nauchny'e issledovaniya studentov v reshenii aktual'ny`kh problem APK. Molodezhny`j, 2022, vol. 2, pp. 193-198.

12. Russo, M., Ferrari, A. Analiz danny`kh pri pomoshhi Microsoft Power BI i Power Pivot dlya Excel [Analyzing Data with Microsoft Power BI and Power Pivot for Excel]. Moscow: DMK Press, 2020, 288 p.

13. Russo, M., Ferrari, A. Podrobnoe rukovodstvo po DAX: biznes-analitika s Microsoft Power BI, SQL Server Analysis Services i Excel [The Definitive Guide to DAX: Business Intelligence with Microsoft Power BI, SQL Server Analysis Services, and Excel]. Moscow: DMK Press, 2021, 776 p.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие конфликта интересов.

Author's contribution. All authors of this study were directly involved in the planning, execution and analysis of this study. All authors of the article reviewed and approved the final version of the manuscript.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interest.

История статьи / Article history:

Дата поступления в редакцию / Received: 29.05.2025

Поступила после рецензирования и доработки / Revised: 26.06.2025

Дата принятия к печати / Accepted: 27.06.2025

Сведения об авторах

Федурина Нина Ивановна – кандидат технических наук, доцент кафедры информатики и математического моделирования. Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского.

Контактная информация: ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, 664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодежный, тел. 89149175104, e-mail: fedurina_n@mail.ru. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8714-6859>.

Лобыцин Иван Алексеевич – магистрант направления подготовки 09.04.03. Прикладная информатика. Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского.

Контактная информация: ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, 664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодежный, тел. 89642865569, e-mail: lobytsinivan@gmail.ru

Information about authors

Nina I. Fedurina – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Computer Science and Mathematical Modeling. Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky.

Лобыцин И.А., Федурин Н.И. Создание дашборда для визуализации данных о посевных ...

2025; 2(55): 66-77 Электронный научно-практический журнал “Актуальные вопросы аграрной науки”
Electronic scientific-Practical journal “Actual issues of agrarian science”

Contact information: FSBEI HE Irkutsk SAU, 664038, Russia, Irkutsk Region, Irkutsk District, Molodezhny, tel. 89149175104, e-mail: fedurina_n@mail.ru. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8714-6859>.

Ivan A. Lobytsin – Master's Student in the direction of training 09.04.03. Applied Informatics. Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky.

Contact information: FSBEI HE Irkutsk SAU, 664038, Russia, Irkutsk Region, Irkutsk District, Molodezhny, tel. 89642865569, e-mail: lobytsinivan@gmail.ru



DOI 10.51215/2411-6483-2025-55-78-86

УДК 004.8

Научная статья

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ТРЕНДЫ РАЗВИТИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

¹Л.В. Массель, ¹А.Г. Массель, ²П.А. Туктарова

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук,
г. Иркутск, Иркутская область, Россия

²Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского,
п. Молодежный, Иркутский район, Иркутская область, Россия

Аннотация. Статья посвящена анализу современных направлений и ключевых тенденций развития искусственного интеллекта (ИИ). Авторы рассматривают два основных подхода в ИИ: основанный на данных (Data Mining, Big Data, машинное обучение) и связанный с представлением знаний (экспертные системы, семантическое моделирование). Особое внимание уделено актуальным трендам, включая генеративный ИИ, объяснимый ИИ, доверенный ИИ, а также стратегическим технологическим направлениям, прогнозируемым компанией Gartner на 2025 год.

В статье подчеркивается, что современные технологии ИИ активно внедряются в различные сферы, такие как медицина, финансы, промышленность и управление. Авторы отмечают, что рост инвестиций в ИИ и появление новых технологий, таких как большие языковые модели, сопровождаются этическими и техническими вызовами. Рассматриваются преимущества и ограничения методов машинного обучения, включая проблему “черного ящика”, а также перспективы развития инженерии знаний.

Особое место занимает обзор стратегических трендов, включая периферийный ИИ, встроенный ИИ, композитный ИИ, доверенный ИИ, генеративный ИИ. Авторы также анализируют развитие ИИ в России, уделяя внимание национальным инициативам, таким как федеральный проект “Искусственный интеллект” в рамках нацпроекта “Экономика данных и цифровая трансформация” (2025-2030).

Статья завершается выводом о необходимости сбалансированного подхода к применению методов ИИ, учитывая как их потенциал, так и риски, связанные с использованием больших языковых моделей и других современных технологий. Работа представляет ценность для исследователей и практиков, интересующихся актуальными тенденциями и перспективами развития искусственного интеллекта.

Ключевые слова: искусственный интеллект, машинное обучение, генеративный ИИ, объяснимый ИИ, доверенный ИИ, стратегические тренды.

Для цитирования: Массель Л.В., Массель А.Г., Туктарова П.А. Современное состояние и тренды развития искусственного интеллекта. *Электронный научно-практический журнал “Актуальные вопросы аграрной науки”*. 2025; 2(55):78-86. DOI 10.51215/2411-6483-2025-55-78-86.

CURRENT STATE AND TRENDS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE DEVELOPMENT

¹Ludmila V. Massel, ¹Aleksei G. Massel, ²Polina A. Tuktarova

¹Energy Systems Institute named after L.A. Melentiev of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, *Irkutsk, Russia*

²Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky
Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk Region, Russia

Abstract. The article is devoted to the analysis of modern directions and key trends in the development of artificial intelligence (AI). The authors consider two main approaches to AI: data-based (Data Mining, Big Data, machine learning) and knowledge representation-based (expert systems, semantic modeling). Particular attention is paid to current trends, including generative AI, explainable AI, trusted AI, as well as strategic technology directions predicted by Gartner for 2025. The article emphasizes that modern AI technologies are actively being implemented in various fields, such as medicine, finance, industry and management. The authors note that the growth of investments in AI and the emergence of new technologies, such as large language models, are accompanied by ethical and technical challenges. The advantages and limitations of machine learning methods, including the “black box” problem, as well as the prospects for the development of knowledge engineering are considered. A special place is occupied by an overview of strategic trends, including edge AI, embedded AI, composite AI, trusted AI, generative AI. The authors also analyze the development of AI in Russia, paying attention to national initiatives, such as the federal project "Artificial Intelligence" within the framework of the national project "Data Economy and Digital Transformation" (2025-2030). The article concludes with a conclusion about the need for a balanced approach to the use of AI methods, taking into account both their potential and the risks associated with the use of large language models and other modern technologies. The work is valuable for researchers and practitioners interested in current trends and prospects for the development of artificial intelligence.

Keywords: artificial intelligence, machine learning, generative AI, explainable AI, trusted AI, strategic trends.

For citation: Massel L.V., Massel A.G., Tuktarova P.A. Current state and trends of artificial intelligence development. *Electronic scientific-Practical journal “Actual issues of agrarian science”*. 2025; 2(55):78-86. DOI 10.51215/2411-6483-2025-55-78-86.

Введение. Искусственный интеллект (ИИ) – одно из наиболее динамично развивающихся научных направлений, объединяющее методы моделирования интеллектуальной деятельности человека с помощью вычислительных систем. Наиболее полный обзор этого направления был выполнен в [9]. В последние десятилетия ИИ трансформировался из теоретической дисциплины в практический инструмент, применяемый в таких областях, как медицина, финансы, промышленность и управление.

Актуальность темы обусловлена стремительным ростом инвестиций в ИИ, появлением новых технологий (например, больших языковых моделей) и необходимостью решения связанных с ними этических и технических

вызовов. В статье систематизированы современные направления ИИ, проанализированы их преимущества и ограничения, а также рассмотрены стратегические перспективы развития. Авторы анализировали эту тему в [6, 7], целесообразно к ней вернуться в связи с появлением большого объема новой информации.

В статье обобщаются ключевые тенденции в области ИИ, выделяются наиболее перспективные направления и оценивается их потенциальное влияние на экономику и общество.

Традиционно выделяют два основных направления искусственного интеллекта: связанное с данными и основанное на знаниях, причем в последнее время большое количество работ в области ИИ по большей части связано с работами, направленными на использование методов машинного обучения и интеллектуальную обработку данных.

Направление ИИ, связанное с данными. Это направление включает методы обработки и анализа данных, которые лежат в основе современных систем ИИ, к ним относятся:

Машинное обучение и искусственные нейронные сети – ключевой инструмент современного ИИ, основанный на обучении моделей на данных [4].

Data Mining – извлечение знаний из данных через поиск закономерностей, аномалий и прогнозирование [12].

Big Data – анализ больших объемов данных без акцента на причинно-следственные связи [1].

Small and Wide Data – подход, сочетающий малые объемы данных с разнородными источниками для повышения точности аналитики.

Подходы, основанные на малых и широких данных (small and wide data), становятся ключевыми для аналитики и ИИ, уменьшая зависимость от больших данных и обеспечивая более глубокое понимание ситуации. Причем малые данные включают методы анализа, требующие меньше информации, но дающие ценную информацию, а использование широких данных объединение разнородных источников для более полной картины.

Согласно Gartner, к 2025 году 70% компаний перейдут от больших данных к малым и широким, улучшая контекст аналитики и снижая требования ИИ к данным [13].

При интеллектуальном анализе данных активно используются машинное обучение (МО) и искусственные нейронные сети. Проблемы МО заключается в том, что модели МО по большей части представляют “Черный ящик” – сложность интерпретации результатов.

Направление, связанное со знаниями (инженерия знаний). Сейчас это направление менее распространено, но, тем не менее, продолжает развиваться [2]. Основная задача – формализация и использование экспертных знаний. К основным направлениям относят:

– экспертные системы – программные решения, имитирующие принятие решений человеком-экспертом;

– семантическое моделирование – представление знаний с использованием онтологий и семантических сетей [10], авторы рассматривали подробно это направление в [5];

– биоинспирированные методы, к которым относят генетические вычисления, эволюционные вычисления, искусственные иммунные системы и др. В этом направлении наиболее известны работы таганрогской школы В.М. Курейчика, последнее, обобщающее издание [3].

Основные современные тренды искусственного интеллекта. В работах [6, 7] ранее рассматривались основные направления развития ИИ популярные в настоящее время. Ниже приведем краткое напоминание основных трендов.

Общий искусственный интеллект (AGI) рассматривается как перспективная технология будущего, способная имитировать человеческий интеллект во всей его полноте. Однако пока реальные достижения ограничиваются применением узких специализированных систем (“слабый ИИ”), активно используемых в анализе больших данных и автоматизации рутинных задач.

Другое важное направление связано с созданием объясняемого ИИ (XAI). Его задача заключается в обеспечении понимания принципов работы моделей, выявлении возможных источников ошибок и повышении способности для понимания процесса принятия решений алгоритмами. Повышение “объяснимости” важно для разработчиков и пользователей, поскольку позволяет разрабатывать “доверенные” технологии. В частности, сейчас популярны попытки объединения технологий искусственных нейронных сетей (ИНС) и экспертных систем, что можно считать одним из направлений объяснимого ИИ [11].

Отдельно выделяется концепция встроенного ИИ, предполагающего работу ИИ-моделей прямо на устройствах конечного пользователя, без необходимости передачи данных в облако. Это значительно сокращает задержки в обработке запросов и укрепляет приватность и безопасность пользователей.

Проблематика доверия и этичности выходит на первый план в связи с развитием новых форм взаимодействия человека и машины. Этическое регулирование становится необходимым условием дальнейшего прогресса ИИ, обеспечивающим соответствие международным стандартам и общественным представлениям о морали и праве.

Еще одно направление – это развитие ответственного и композитного подхода. Здесь акцент делается на совместимости разных методик ИИ, интегрирующих традиционные правила, статистические и лингвистические инструменты, позволяя создавать гибкие и надежные системы, способные справляться с самыми сложными проблемами. Использование композита ИИ

даёт возможность увеличить потенциал систем, соединяя сильные стороны различных инструментов.

Также особое внимание сейчас уделяется периферийному ИИ, подразумевающему обработку данных непосредственно на краевых устройствах интернета вещей (IoT).

Отдельно сейчас уделяется внимание генеративному ИИ (GAI), который активно применяется для синтеза текста, изображений, музыки и других видов медиаконтента. Причем все чаще используется термин LLM (большие языковые модели) как синоним для GAI. За один год – с 2023 до 2024 г., число организаций, использующих генеративный ИИ, выросло с 33% до 65%. “Гонка” инструментальных средств, использующих архитектуру нейросетей “Трансформер”, началась в 2017 г., ее пик пришелся на 2023 г. (появление GPT-4). Эйфория, вызванная несомненными успехами применения GPT-4, стала спадать в результате многочисленных галлюцинаций, сопровождающих его работу (если ответ отсутствует, система не отвечает “я не знаю”, а начинает фантазировать). Тем не менее, на это направление возлагаются большие надежды, некоторые авторы считают его прообразом “сильного ИИ”, хотя есть и противоположные мнения [8].

Стратегические технологические тренды по версии компании Гартнер (2025 г.). Аналитики Gartner выделили три основных тенденции, которые будут влиять на тренды в бизнесе в 2025 году. Это:

- требования и риски, связанные с развитием генеративного ИИ, которые обязывают организации принимать защитные меры;
- новые рубежи вычислений, которые побуждают бизнес пересмотреть способы вычислений;
- синергия человека и машины, которая объединяет физический и цифровой миры.

Рассмотрим первую тенденцию.

– Тренд 1. Агенты на основе ИИ, которые уже помогают справляться с рутинными задачами. С точки зрения безопасности эти инструменты требуют ограничений, чтобы намерения поставщиков решений не выходили за рамки бизнес-задач.

– Тренд 2. Платформы управления ИИ. Решения, позволяющие управлять этическими и юридическими аспектами ИИ-систем.

– Тренд 3. Защита от дезинформации. Сервисы, помогающие бороться с фейками, проверяющие подлинность информации.

Выделим тренды второй тенденции.

– Тренд 4. Постквантовая криптография. Защита данных, устойчивая к рискам дешифрования квантовых вычислений.

– Тренд 5. Ambient intelligence (окружающий интеллект). Интеллектуальные устройства и датчики, собирающие информацию, становятся интегрированными в окружающую обстановку и невидимыми для человека.

Например, умные “метки”, использующиеся для того, чтобы роботы ориентировались в пространстве, или несущие ту или иную информацию в логистике.

– Тренд 6. Энергоэффективные вычисления. Новые технологии для снижения энергозатрат для сложных вычислений и обучения нейросетей. Использование альтернативных источников и возобновляемой энергии.

– Тренд 7. Гибридные вычисления. Сочетает в себе различные механизмы вычислений, хранения и сети (ASIC (application-specific integrated circuit – интегральная схема для конкретного применения), квантовые и оптические вычисления) для решения сложных вычислительных задач.

Для третьей тенденции характерны следующие особенности.

– Тренд 8. Пространственные вычисления. Тренд на объединение физического и цифрового миров с помощью VR и AR для организации виртуальных рабочих пространств и обучения на производстве с использованием технологий дополненной реальности.

– Тренд 9. Полифункциональные роботы. На данный момент большая часть роботов ограничены одной функцией. Полифункциональные роботы способны выполнять несколько задач, плавно переключаясь между ними по мере необходимости.

– Тренд 10. Нейрологические улучшения. Улучшение когнитивных способностей с помощью технологий, которые считывают и декодируют активность мозга.

Отдельной темой являются вызовы, связанные с этикой ИИ, но авторы подробно останавливались на этом в [6, 7].

Развитие ИИ в России. Особое внимание к технологии ИИ со стороны властей обусловлено ожидаемыми эффектами: считают, что возможный прирост производительности отдельных специалистов может достичь 20%, сокращение расходов отраслей – 45%, повышение энергоэффективности – 16%. Согласно совместному исследованию консалтинговой компании “Яков и партнеры” и “Яндекса”, совокупный экономический потенциал (увеличение выручки или сокращение издержек компаний) от внедрения ИИ в РФ к 2028 году может составить 22-36 трлн руб. в номинальных ценах, а реальный эффект к этому сроку в 4.2-6.9 трлн руб., или до 4% ВВП, из них пятая часть (0.8-1.3 трлн руб.) – от применения генеративного ИИ (“Ъ” от 19.12.2023).

Развитие ИИ в России предполагается в рамках Национального проекта “Экономика данных и цифровая трансформация” (2025-2030), который включает 9 федеральных проектов. Мероприятия нацпроекта предусматривают стимулирование развития ИИ, для чего формируется отдельный федеральный проект “Центр здоровья” (ЦЗ). Искусственный интеллект. Частью проекта станут “дорожные карты” по квантовым коммуникациям и вычислениям – научные разработки в этой области будут продолжаться в отсутствие сформулированного сейчас большого

гарантированного спроса на них, пока главный заказчик исследований – государство, но власти считают, что “кванты” способны придать импульс цифровому развитию.

Заключение. Очевидно, что ИИ – динамично развивающееся научное направление. Увеличение внимания и возросшее финансирование этого научного направления привело к появлению «хайпа» в некоторых областях ИИ, в частности, в области ML, GAI, LLM. Появились многочисленные тренды в области ИИ, в которых надо ориентироваться и к которым надо трезво относиться. Необходимо сбалансированно подходить к применению методов ИИ, исходя из анализа задач и потребностей в применении ИИ, ориентируясь в первую очередь на слабоструктурированные и плохоформализованные области. В то же время необходимо проявлять осторожность в использовании больших языковых моделей и помнить об опасностях современного использования ИИ.

Благодарности. Авторы благодарят коллег из отдела “Системы ИИ в энергетике” ИСЭМ СО РАН за ценные обсуждения и комментарии.

Список литературы

1. Большие данные. Революция, которая изменит то, как мы живем, работаем и мыслим: Майер-Шенбергер Виктор, Кукьер Кеннет. Изд-во Манн, Иванов и Фербер, 2013. – 240 с.
2. Гаврилова, Т.А. Инженерия знаний. Модели и методы / Т.А. Гаврилова, Д.В. Кудрявцев, Д.И. Муромцев. – М.: Издательство “Лань”, 2016. – 324 с.
3. Гладков, Л.А. Интеллектуальные системы: модели и методы метаэвристической оптимизации / Л.А. Гладков, Ю.А. Кравченко, В.В. Курейчик, С.И. Родзин. – Чебоксары: Среда, 2024. – 228 с.
4. Гудфеллоу, Я. Глубокое обучение / Я. Гудфеллоу, И. Бенджио, А. Курвилль // Пер. с англ. – 2-е изд., испр. – М.: LVR Пресс, 2018. – 652 с.
5. Массель, Л.В. Интеллектуальные вычисления в исследованиях направлений развития энергетики / Л.В. Массель, А.Г. Массель // Известия Томского политехнического университета. Управление, вычислительная техника и информатика. – 2012. – Т. 321. – № 5. – С. 135-141.
6. Массель, Л.В. Современный этап развития искусственного интеллекта (ИИ) и применение методов и систем ИИ в энергетике / Л.В. Массель // Информационные и математические технологии в науке и управлении. – 2021. – 4 (24). – С. 5-20. DOI:10.38028/ESI.2021.24.4.001.
7. Массель, Л.В. Цифровизация и современные тренды искусственного интеллекта / Л.В. Массель // Вестник ИГСХА. – 2022. – Вып. 113, декабрь 2022 г.
8. Маркус Гэри. Большой обман больших языковых моделей / Гэри Маркус. Издательство Fortis Press. – 2024 – 240 с.
9. Рассел, С. Искусственный интеллект: современный подход / С. Рассел, П. Норвиг. – 2-е изд. Пер. с англ. М.: ООО “И.Д. Вильямс”. – 2016. – 1408 с.
10. Хорошевский, В.Ф. Семантические технологии: ожидания и тренды / В.Ф. Хорошевский // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем (OSTIS-2012): матер. II междунар. научно-технич. конф.. БГУИР. – Минск. – 2012. – С. 143-158.

11. Хренников, А.Ю. Использование элементов искусственного интеллекта: компьютерная поддержка оперативных решений в интеллектуальных энергетических сетях / А.Ю. Хренников, Ю.А. Любарский. – М.: Литрес. – 2021. – 140 с.
12. Data Mining and Machine Learning Applications. Ed.: K. Ramya Laxmi, Kapil Kumar Nagwansi, Rohit Raja, Sandeep Kumar. 2022. – 640 p.
13. Gartner: четыре тенденции, определяющие инновации в области ИИ. – URL: <https://www.itweek.ru/ai/article/detail.php?ID=220076> (дата обращения: 20.06.2025).

References

1. Bol'shie dannye. Revolyuciya, kotoraya izmenit to, kak my zhivem, rabotaem i myslim [Big Data. The Revolution That Will Change the Way We Live, Work, and Think]. Izdvo Mann, Ivanov i Ferber, 2013, 240 p.
2. Gavrilova, T.A. et all. Inzheneriya znaniy. Modeli i metody [Knowledge Engineering. Models and Methods]. Moscow: Izdatel'stvo “Lan”, 2016, 324 p.
3. Gladkov, L.A. et all. Intel'ktual'nye sistemy: modeli i metody metaevristicheskoj optimizacii [Intelligent Systems: Models and Methods of Metaheuristic Optimization]. Cheboksary: Sreda, 2024, 228 p.
4. Gudfellou, Ya. Et all. Glubokoe obuchenie [Deep Learning]. Moscow: LVR Press, 2018, 652 p.
5. Massel', L.V., Massel', A.G. Intel'ktual'nye vychisleniya v issledovaniyah napravlenij razvitiya energetiki [Intelligent Computing in Research of Energy Development Directions]. Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika. 2012, vol. 321, no. 5, pp. 135-141.
6. Massel', L.V. Sovremennyj etap razvitiya iskusstvennogo intellekta (II) i primeneniye metodov i sistem II v energetike [The Current Stage of Development of Artificial Intelligence (AI) and the Application of AI Methods and Systems in Energy]. Informacionnye i matematicheskie tekhnologii v nauke i upravlenii, 2021 vol. 4 (24), pp. 5-20. DOI:10.38028/ESI.2021.24.4.001.
7. Massel', L.V. Cifrovizaciya i sovremennye trendy iskusstvennogo intellekta [Digitalization and modern trends in artificial intelligence]. Vestnik IrGSHA, 2022, vol. 113.
8. Markus Geri. Bol'shoj obman bol'shih yazykovyh modelej [The Great Deception of Big Language Models]. Izdatel'stvo Fortis Press, 2024, 240 p.
9. Russel, S., Norvig, P. Iskusstvennyj intellekt: sovremennyj podhod [Artificial Intelligence: A Modern Approach]. Moscow, 2016, 1408 p.
10. Horoshevskij, V.F. Semanticheskie tekhnologii: ozhidaniya i trendy [Semantic technologies: expectations and trends]. Otkrytye semanticheskie tekhnologii proektirovaniya intellektual'nyh sistem (OSTIS-2012). Minsk, 2012, pp.143-158.
11. Hrennikov, A.Yu., Lyubarskij, Yu.A. Ispol'zovanie elementov iskusstvennogo intellekta: komp'yuternaya podderzhka operativnyh reshenij v intellektual'nyh energeticheskikh setyah [Using elements of artificial intelligence: computer support for operational decisions in intelligent energy networks]. Moscow: Litres, 2021, 140 p.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие конфликта интересов.

Author's contribution. All authors of this study were directly involved in the planning, execution and analysis of this study. All authors of the article reviewed and approved the final version of the manuscript.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interest.

История статьи / Article history:

Дата поступления в редакцию / Received: 18.06.2025

Поступила после рецензирования и доработки / Revised: 26.06.2025

Дата принятия к печати / Accepted: 27.06.2025

Сведения об авторах

Массель Людмила Васильевна – доктор технических наук, главный научный сотрудник, заведующая отделом систем искусственного интеллекта в энергетике. Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук.

Контактная информация: ФГБУН Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук, 664033, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова 130, e-mail: massel@isem.irk.ru. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9088-9012>.

Массель Алексей Геннадьевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник отдела систем искусственного интеллекта в энергетике. Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук.

Контактная информация: ФГБУН Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук, 664033, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова 130, e-mail: amassel@isem.irk.ru. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0351-0415>.

Туктарова Полина Андреевна – кандидат экономических наук, доцент кафедры информатики и математического моделирования. Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского.

Контактная информация: ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, 664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодежный, e-mail: ptuktarova@gmail.com. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0773-3138>.

Information about authors

Ludmila V. Massel – Doctor of Technical Sciences, Chief Researcher, Head of the Department. Artificial Intelligence Systems in the Energy Industry at the L.A. Melentyev Institute of Energy Systems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences.

Contact information: Melentiev Energy Systems Institute of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 664033, Irkutsk, Russia, 130 Lermontov St., e-mail: massel@isem.irk.ru. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9088-9012>.

Aleksei G. Massel – Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher at the Department. Artificial Intelligence Systems in Energy Industry at the L.A. Melentyev Institute of Energy Systems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences.

Contact information: Melentiev Energy Systems Institute of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 664033, Irkutsk, Russia, 130 Lermontov St., e-mail: amassel@isem.irk.ru. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0351-0415>.

Tuktarova Polina Andreevna – Candidate of Economic Sciences, Ass. Prof. of the Department of informatics and mathematical modeling. Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky.

Contact information: FSBEI HE Irkutsk SAU, 664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk district, Molodezhny, e-mail: ptuktarova@gmail.com. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0773-3138>.



DOI 10.51215/2411-6483-2025-55-87-98

УДК 519.855:631.153

Научная статья

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ АГРАРНОГО ПРОИЗВОДСТВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНДЕКСОВ ВЕГЕТАЦИИ

С.А. Петрова, Д.С. Тобоева

Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского,
п. Молодежный, Иркутский район, Иркутская область, Россия

Аннотация. Для прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур используются различные методы. Для многолетнего предсказания характеристики можно применить тренды или авторегрессионные зависимости. Значимые выражения, связывающие урожайность сельскохозяйственной культуры с метеорологическими факторами в начале вегетации, позволяют оценивать значение характеристики после уборки урожая. В статье рассматриваются возможности использования индексов вегетации полученных с помощью космических или снимков беспилотных авиационных систем для решения задач прогнозирования урожайности, а также планирования производства. На основе выделенных моделей связи урожайности некоторых зерновых культур и максимальных значений индексов вегетации, приведенных в литературных источниках, спрогнозированы урожайности, использованные в предложенной модели параметрического программирования с интервальными характеристиками для оптимизации сочетания растениеводческой и животноводческой продукции. Реализована имитационная модель, построенная на основе данных ЗАО “Иркутские семена”. Индекс вегетации рассматривался в виде интервальной оценки для определения по регрессионной зависимости урожайности зерновых культур. Моделирование разных ситуаций осуществлено с помощью метода Монте-Карло. Верхние и нижние оценки интервала определяются эмпирически. В результате моделирования получены интервальные прогнозы биопродуктивности пшеницы и ячменя. На основе прогностических данных определены оптимальные планы, соответствующие нижнему верхнему и медианному значению целевой функции в виде дохода. Заблаговременность планирования зависит от значимости тренда и объема данных по индексам вегетации и урожайности. Обычно планы формируют на 1-2 года ввиду незначительного периода исследований. В приведенном примере расхождение значений дохода между нижней и верхней оценкой относительно медианы составило 18%. Предложенная модель оптимизации сочетания растениеводческой и животноводческой продукции представляет собой один из вариантов задач параметрического программирования, позволяющий получать управленческие решения.

Ключевые слова: задача параметрического программирования, метод статистических испытаний, индекс вегетации, урожайность, растениеводство, животноводство.

Для цитирования: Петрова С.А., Тобоева Д.С. Моделирование производственно-экономических показателей аграрного производства с использованием индексов вегетации. *Электронный научно-практический журнал “Актуальные вопросы аграрной науки”*. 2025; 2(55):87-98. DOI 10.51215/2411-6483-2025-55-87-98.

MODELING OF PRODUCTION AND ECONOMIC INDICATORS OF AGRICULTURAL PRODUCTION USING VEGETATION INDICES

Sofya A. Petrova, Dolson S. Toboeva

Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky
Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk Region, Russia

Abstract. Various methods are used to forecast crop yields. Trends or autoregressive dependencies can be used for long-term prediction of the characteristic. Significant expressions linking crop yields with meteorological factors at the beginning of the growing season allow us to estimate the value of the characteristic after harvesting. The article discusses the possibilities of using vegetation indices obtained using space or unmanned aerial systems images to solve problems of crop yield forecasting and production planning. Based on the identified models of the relationship between the yield of some grain crops and the maximum values of vegetation indices given in the literature, the yields used in the proposed parametric programming model with interval characteristics for optimizing the combination of crop and livestock products were predicted. A simulation model based on the data of CJSC “Irkutsk Seeds” was implemented. The vegetation index was considered as an interval estimate for determining the regression dependence of the yield of grain crops. Modeling of different situations was carried out using the Monte Carlo method. The upper and lower estimates of the interval are determined empirically. As a result of modeling, interval forecasts of the bioproductivity of wheat and barley were obtained. Based on the forecast data, optimal plans were determined that correspond to the lower, upper and median value of the objective function in the form of income. The lead time of planning depends on the significance of the trend and the volume of data on vegetation indices and yield. Usually, plans are formed for 1-2 years due to the insignificant research period. In the given example, the discrepancy between the lower and upper estimates of income relative to the median was 18%. The proposed model for optimizing the combination of crop and livestock products is one of the variants of parametric programming problems that allows obtaining management decisions.

Keywords: parametric programming problem, statistical testing method, vegetation index, yield, crop production, livestock production.

For citation: Petrova S.A., Toboeva D.S. Modeling of production and economic indicators of agricultural production using vegetation indices. *Electronic scientific-Practical journal “Actual issues of agrarian science”*. 2025; 2(55):87-98. DOI 10.51215/2411-6483-2025-55-87-98.

Введение. Решения задач управления аграрным производством на основе математического моделирования и систем искусственного интеллекта имеет научно-практическое значение. Это направление исследований продолжает развиваться для повышения эффективности использования природных ресурсов [4, 5, 7, 10].

Хозяйства разных категорий помимо материально-технического обеспечения должны располагать методиками прогнозирования и планирования характеристик производства, реализованными в виде программных комплексов.

Результаты приведенного исследования являются продолжением работ по моделированию аграрного производства в условиях неопределенности [6,

11] с использованием материалов по прогнозированию урожайности сельскохозяйственных культур на основе индекса вегетации.

Месте с тем для моделирования различных процессов в сельском хозяйстве используются данные дистанционного зондирования Земли [2] для построения моделей прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур [8, 12], контроля севооборотов [16].

Согласно [9] методы обработки данных дистанционного зондирования Земли можно разделить на два типа – предварительный и специальный.

Первый из них включает в себя повышение контрастности изменение размеров, радиометрическую коррекцию, морфологическую обработку, удаление фона, шума и других нежелательных объектов на изображении. Специальная подготовка предназначена для решения конкретных задач.

В литературе описано более 160 различных вегетационных индексов NDVI, которые являются количественными показателями фотосинтетической биомассы и учитывают красную и инфракрасную зону электромагнитного спектра. Некоторые из индексов приведены в таблице 1 [1].

Цель работы заключается в разработке и реализации модели параметрического программирования с интервальными характеристиками и параметром в виде индекса вегетации для оптимизации сочетания производства растениеводческой и животноводческой продукции.

Материалы и методы. В качестве материалов по оценке индекса вегетации и его влиянии на урожайность использованы источники, приведенные в списке литературы. При реализации модели параметрического программирования привлечены сведения о бухгалтерской отчетности ЗАО Иркутские семена.

При обработке данных применены методы статистических испытаний, математического программирования и систематизации данных.

Основные результаты. Рассмотрим модели прогнозирования и планирования производства аграрной продукции с использованием индекса вегетации.

Прогнозирование урожайности зерновых культур с использованием индексов вегетации. В работе [13] предложен метод прогнозирования урожайности на основе анализа динамики вегетационных индексов, определяемых по многоспектральным космическим изображениям».

Разработанный метод исследователи описали следующим образом: “Урожай определенной культуры на заданной территории должен достаточно достоверно предсказываться функцией, параметрами которой являются усредненные (по этой территории) значения вегетационных индексов в течение роста и созревания сельскохозяйственной культуры. Чем полнее история изменения индексов, тем точнее можно предсказывать урожай” [13].

Таблица 1 – Вегетационные индексы [1]

Table 1 – Vegetation indices [1]

Вегетационный индекс	Краткое описание и формула
1	2
Относительный ВИ (Ratio VI, RVI, Simple Ratio (SR))	Значения индекса изменяются от 0 до бесконечности. Для зеленой растительности значения $VI > 1$ и растут с увеличением зеленой фитомассы, сомкнутости растительности (обычно принимают значения 2-8): $RVI = \left(\frac{\rho_{NIR}}{\rho_{RED}} \right),$ где ρ_{NIR} – отражение в ближней инфракрасной области спектра; ρ_{RED} – отражение в видимой области спектра.
Нормализованный разностный ВИ (Normalized Difference VI, NDVI)	Индекс может принимать значения от -1 до 1 . Для растительности индекс NDVI принимает положительные значения, обычно от $0,2$ до $0,8$. $NDVI = \left(\frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}} \right)$
Усовершенствованный вегетационный индекс (Enhanced Vegetation Index, EVI)	Индекс может принимать значения от -1 до 1 . Для зеленой растительности обычны значения от $0,2$ до $0,8$. $EVI = \left(\frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + C_1 \times \rho_{RED} - C_2 \times \rho_{BLUE} + L} \right) \times (1 + L).$ Здесь коэффициенты C_1 , C_2 и L эмпирически установлены как равные $6,0$, $7,5$, и $1,0$ соответственно (Huete и др., 1997).
Инфракрасный вегетационный индекс (Infrared Percentage VI, IPVI)	Функционально IPVI и NDVI эквивалентны. Индекс может принимать значения от 0 до 1 . Для зеленой растительности характерны значения от $0,6$ до $0,9$: $IPVI = \left(\frac{\rho_{NIR}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}} \right) = \left(\frac{NDVI + 1}{2} \right).$
Разностный вегетационный индекс (Difference VI, DVI)	Индекс может принимать любые значения. Изовегетационные линии идут параллельно друг другу. $DVI = (\rho_{NIR} - \rho_{RED}).$
Перпендикулярный вегетационный индекс (Perpendicular Vegetation Index (PVI))	Индекс может принимать значения от -1 до 1 . $PVI = (\sin(a) \times \rho_{NIR} - \cos(a) \times \rho_{RED}),$ где a – угол между почвенной линией и осью ρ_{NIR} .

Модель урожайности в общей формулировке выглядит следующим образом:

$$y_{kr} = f_{kr}(v(T), v(T + 1), v(T + 2), \dots, v(t + n)), \quad (1)$$

где Y_{kr} – прогнозируемое значение урожайности на окончание текущего сезона для территориального региона r и сельскохозяйственной культуры k ; f_{kr} – искомая функция прогноза урожайности для региона r и сельскохозяйственной культуры k ; $v(T)$ – значение вегетационного индекса для данного участка посевов, время T отсчитывается от начала измерений в текущем периоде вегетации, при этом $T + 1, T + 2, \dots, T + n$ соответствует дискретным моментам времени измерений, проводившихся в течение этого периода.

Отметим, что исследования, проводимые с использованием вегетационного индекса, зависят от погодных условий, оптимального сочетания влажности и тепла, а также прогнозирования урожайности зерновых культур в зависимости от осадков и температур воздуха за вегетационный период в начальной стадии зарождения и развития растения.

Ибрагимова Ч.Р. в работе [3] заключила, что между индексом NDVI и показателями развития растений выявлены положительные сильные связи, которые характеризуются коэффициентами корреляции (R): количество побегов в фазу конца кушения – выход в трубку – 0.89, биомассой растений в фазу колошения 0.83, индексом листовой поверхности – 0.77, а также между наибольшим значением индекса вегетации и урожайностью озимой пшеницы – 0.72.

В работе [8] на основании многолетних данных, полученных с опытных полей Орловского ГАУ построены регрессионные модели зависимости урожайности озимой пшеницы и ярового ячменя от индекса NDVI (максимальное значение). Наилучшая зависимость для обеих культур, согласно коэффициенту детерминации (R^2), представляет собой полиномиальную функцию:

озимая пшеница

$$y = 104,09 - 297,13t + 264,91t^2 (R^2 = 0,74); \quad (2)$$

ячмень яровой

$$y = 38,9 - 80,39t + 71,22t^2 (R^2 = 0,66); \quad (3)$$

где y – прогнозируемое значение урожайности, ц/га; t – максимальное значение вегетационного индекса NDVI; R^2 – коэффициент детерминации.

При этом следует отметить, что в каждом исследовании [3, 8, 10, 15 и др.] отмечена необходимость для определения такой взаимосвязи на основании опытных данных для каждой конкретной территории и каждой отдельной культуры, потому что условия будут отличаться, как и регрессионные зависимости с оценками точности и адекватности. К условиям относятся: природно-климатические факторы, тип и состав почвы, рельеф, экспозиция склона, особенности ведения хозяйства на предприятиях

(технология возделывания почвы, сорта, внесение удобрений и других веществ) и др..

Планирование урожая зерновых культур с использованием вегетационных индексов. В работе [17] для определения тесноты связи между индексом NDVI и урожайностью, проведены исследования за 2015-2017 годы с привлечением данных Северо-Кавказского федерального научного сельскохозяйственного центра, полученных на опытных полях для сортов озимой пшеницы Ставропольского научно-исследовательского института сельского хозяйства. Наиболее тесная связь наблюдалась в начале периода вегетации со средним коэффициентом корреляции 0.62. Такая связь значима, но уступает по тесноте корреляции при рассмотрении зависимостей на уровне районов, почвенно-климатическая зон и областей. Выявлено, что на оптико-биологические свойства посевов озимой пшеницы и связь урожайности и индекса вегетации оказывают сорт, предшественник, минеральное питание, сроки и нормы высева [17].

Научно-педагогическими работниками кафедры информатики и математического моделирования ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ разработаны оптимизационные модели для улучшения управления аграрным производством [5, 7, 14 и др.]. Особое место для планирования производства сельскохозяйственных культур занимают модели параметрического программирования. В качестве параметров таких моделей использовано время, температуры воздуха, осадки, предшествующие значения характеристик модели. При этом характеристики модели, зависящие от параметров, могут входить в целевую функцию, левые части ограничений и правые части.

Построим модель параметрического программирования на основе приведенных исследований различных авторов по влиянию индекса вегетации на урожайность сельскохозяйственных культур. Для этого преобразуем модель, приведенную в работе [14]. Критерий оптимальности, характеризующий доход, имеет вид:

Модель оптимизации производства аграрной продукции с целевой функцией в виде максимума дохода с интервальными характеристиками и параметром для сочетания отраслей записана следующим образом:

– целевая функция:

$$f = \sum_{i \in I} c_i \tilde{y}_i(t) x_i + \sum_{k \in K} c_k r_k w_k + \sum_{j \in J} g_j \tilde{\rho}_j(t) z_j \rightarrow \max, \quad (4)$$

где c_i , g_j – доход, получаемый от продажи 1 ц товарной продукции культуры вида i и кормов j (руб./ц); c_k – доход, получаемый от продажи 1 ц товарной продукции животных вида k (руб./ц); $\tilde{y}_i(t)$, $\tilde{\rho}_j(t)$ – интервальные оценки урожайности культуры вида i и кормов вида j (ц/га), варьирующие от нижних до верхних оценок $[\underline{\tilde{y}}_i(t), \overline{\tilde{y}}_i(t)]$, $[\underline{\tilde{\rho}}_j(t), \overline{\tilde{\rho}}_j(t)]$; t – индекс вегетации,

изменяющийся в интервале $[\alpha, \beta]$; r_k – продуктивность животных k (ц/гол.); w_k – поголовье животных k ; I, J, K – множество культур для товарной продукции, кормовых культур и видов животных;

– ограничения по заданному объему производства товарной растениеводческой и животноводческой продукции:

$$\tilde{y}_i(t)x_i \geq S_i, \quad (5)$$

$$r_k w_k \geq W_k, \quad (6)$$

где S_i – заданный объем производства товарной продукции растениеводства вида i (ц). W_k – заданный объем производства животноводческой продукции k (ц).

В дополнение к этому ограничения по площади земель записываются в виде

$$\sum_{i \in I} x_i + \sum_{j \in J} z_j \leq a, \quad (7)$$

где a – площадь пашни (га).

Условия по наличию трудовых ресурсов имеют вид

$$b_i x_i \leq B_i, \quad (8)$$

$$\zeta_j z_j \leq Z_j, \quad (9)$$

$$\varepsilon_k w_k \leq E_k, \quad (10)$$

где b_i, ζ_j – затраты трудовых ресурсов на обработку 1 га земель (чел. ч/га);

ε_k – затраты трудовых ресурсов для ухода за животными (чел. ч/гол.);

B_i, Z_j, E_k – трудовые ресурсы для производства продукции вида i, j, k (чел. ч).

Ограничение по увязке производства растениеводческой продукции и потребности в ней животноводства можно записать в виде неравенства:

$$\sum_{j \in J} \beta_{\theta j} \tilde{\rho}_j(t) z_j \geq \sum_{k \in K} B_{\theta k} w_k \quad (\theta \in \Theta), \quad (11)$$

где $B_{\theta k}$ – минимальная потребность в элементе питания θ животного k (ц к. е./гол.); $\beta_{\theta j}$ – содержание θ – элемента питания в единице кормовой продукции, полученной от культуры j (кг/ц), Θ – множество элементов питания.

Все искомые переменные должны быть неотрицательными:

$$x_i, z_j \geq 0. \quad (12)$$

В модели (4)-(12) урожайность $y_i(t)$ зависит от параметра t , который представляет собой индекс вегетации. Для реализации модели в качестве зависимости использовалась параболическая функция:

$$y_i(t) = a_{0i} + a_{1i}t + a_{2i}t^2. \quad (13)$$

При построении модели привлечены данные сельскохозяйственного предприятия Иркутской области ЗАО “Иркутские семена”. Значение индекса NDVI смоделировано при помощи метода Монте-Карло в диапазоне от 0.5 до 0.95 как наиболее часто встречающемся согласно исследованиям многих авторов. Парабола применена для моделирования урожайности пшеницы и ячменя по выражению (13). Данные для ее построения взяты из работы [8].

Решено 100 задач. Результатом моделирования урожайности являются их верхние, нижние оценки и медиана (табл. 2). На основании смоделированных значений урожайности зерновых культур реализована модель параметрического программирования (4)-(13).

Получены оптимальные планы для сочетания производства отраслей растениеводства и животноводства, соответствующие верхним, нижним и медианным оценкам целевой функции (табл. 2).

Разница между максимальным и минимальным значением дохода составляет 6 242 тыс. руб. В этой модели изменениям подвергались урожайности пшеницы и ячменя. Остальные характеристики модели приняты усредненными. Полученные доходы близки по значениям реальному доходу хозяйства.

Таблица 2 – Результаты решения задачи параметрического программирования с использованием прогнозных значений урожайности зерновых культур, зависящих от максимального индекса NDVI

Table 2 – Results of solving the parametric programming problem using predicted values of grain crop yields depending on the maximum NDVI index

Решение	Прогностическое значение урожайности на основании смоделированного индекса NDVI, ц/га		Пшеница, ц	Ячмень, ц	Картофель, ц	Однолетние травы на сенаж, ц	Многолетние травы на зеленый корм, ц	Свиноматки, голов	Свиньи на выращивании и откорме, голов	ЦФ (на максимум дохода), тыс. руб.
	Пшеница	Ячмень								
Нижняя оценка	21,0	17,3	40000	9000	47920	1800	27225	90,0	410,0	33 159,4
Медиана	28,4	16,3	51120	9000	47920	1800	27225	90,0	410,0	34 271,4
Верхняя оценка	36,9	16,3	102420	9000	47920	1800	27225	90,0	410,0	39 401,4

Заключение. На основе анализа работ по связи урожайности сельскохозяйственных культур с индексом вегетации предложен алгоритм

моделирования биопродуктивности с использованием интервальной оценки независимого параметра.

Предложена модель параметрического программирования с интервальными характеристиками для оптимизации производства растениеводческой и животноводческой продукции с учетом интервальных оценок индекса вегетации.

Модель реализована на основании данных других авторов, получивших регрессионные выражения зависимости урожайности пшеницы и ячменя от индексов вегетации, и информации о производственной деятельности ЗАО “Иркутские семена” Иркутского района.

Последующая работа связана с экспериментальными исследованиями по получению данных индексов вегетации для разных сельскохозяйственных культур учебного научно-производственного участка “Оекское” с помощью беспилотных летательных систем, определения их связи с урожайностью и расширение возможностей для применения предложенной модели оптимизации производства аграрной продукции.

Благодарность. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда, проект № 24-21-00502, <https://rscf.ru/project/24-21-00502/>

Список литературы

1. Географические информационные системы и дистанционное зондирование. Вегетационные индексы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://gis-lab.info/qa/vi.html#pvi> (дата обращения: 10.05.2025).
2. Геоинформатика. Толковый словарь основных терминов / Ю.Б. Баранов, А.М. Берлянт, Е.Г. Капралов [и др.]. – М.: ГИС-Ассоциация, 1999. – 204 с.
3. Ибрагимова, Ч.Р. Оценка состояния посевов прогнозирования урожайности озимой пшеницы на основе сервисов геоинформационных систем в условиях лесостепной зоны Поволжья / Ч.Р. Ибрагимова // В мире научных открытий: матер. VI междунар. студ. научной конф., Ульяновск, 24-25 мая 2022 года. – Ульяновск: Ульяновский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, 2022. – С. 68-71..
4. Иваньо, Я.М. Алгоритм реализации эколого-математических задач оптимизации производства сельскохозяйственной продукции в условиях неопределенности / Я.М. Иваньо, Е.А. Ковалева, С.А. Петрова / Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии. – 2020. – №2. – С. 79-91.
5. Иваньо, Я.М. Риски производства аграрной продукции в Предбайкалье: классификация, моделирование, управление / Я.М. Иваньо, С.А. Петрова, И.М. Колокольцева // Труды II Гранберговской конф.: Сб. докл. Всерос. конф. с междунар. участием, посвящ. памяти академика А.Г. Гранберга “Пространственный анализ социально-экономических систем: история и современность”, Новосибирск, 11-15 октября 2021 года / Сибирское отделение Российской академии наук Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН. – Новосибирск: Сибирское отделение РАН, 2021. – С. 365-375.
6. Иваньо, Я.М. Экстремальные природные явления: методология, моделирование и прогнозирование / Я.М. Иваньо. – Иркутск: Изд-во ИрГСХА, 2007. – 266 с.

7. Изучение взаимосвязи урожайности яровой твердой пшеницы с вегетационным индексом NDVI степной зоны Омской области на основе данных дистанционного зондирования земли / М.Р. Шаяхметов, Л.В. Березин, А.М. Гиндемит, А.Ю. Сергеева // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2015. – № 2 (18). – С.34-38

8. Использование вегетативного индекса NDVI для прогноза урожайности зерновых культур / С.А. Родимцев, Н.Е. Павловская, С.В. Вершинин [и др.] // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2022. – № 4(65). – С. 56-67. – DOI 10.31677/2072-6724-2022-65-4-56-67. – EDN IRLXQG.

9. Кочуб, Е.В. Анализ методов обработки материалов дистанционного зондирования Земли / Е.В. Кочуб, А.А. Топаз // Вестник Полоцкого государственного университета. – 2012. – Серия F. – С. 12-21.

10. Математические и цифровые технологии оптимизации производства продовольственной продукции / Я.М. Иваньо, П.Г. Асалханов, М.Н. Барсукова и [др.]; под ред. Я.М. Иваньо: монография. – Молодежный: Изд-во Иркутского ГАУ. – 2021. – 219 с.

11. Метод прогнозирования урожайности по космическим наблюдениям за динамикой развития вегетации / В.Г. Бондур, К.Ю. Гороховский, В.Ю. Игнатъев [и др.] // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2013. – № 6. – С. 61-68. – EDN UIYCSWN.

12. Невенчанная, Н.М. Исследование продуктивности и прогнозирование урожайности яровой пшеницы с использованием технологий дистанционного зондирования земли / Н.М. Невенчанная, Ю.В. Аксенова // Земледелие. – 2023. – № 2. – С. 24-31.

13. Оптимизация производства сельскохозяйственной продукции при сочетании орошаемых и неорошаемых земель / Я.М. Иваньо Е.А. Ковалева, Ю.М. Краковский, С.А. Петрова // Достижения науки и техники АПК. – 2024. – Т. 38. – № 5. – С. 48-54.

14. Перспективы использования оптических и радарных изображений для контроля за соблюдением севооборотов в Хабаровском крае / А.С. Степанов, К.Н. Дубровин, А.Л. Верхотуров и др. // Достижения науки и техники АПК. – 2021. – Т. 35. – №12. – С. 23-28.

15. Применение вегетационных индексов в селекции озимой мягкой пшеницы / С.Д. Вильюнов, В.И. Зотиков, В.С. Сидоренко [и др.] // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2022. – № 3(43). – С. 73-83. – DOI 10.24412/2309-348X-2022-3-73-83. – EDN MXTNXP.

16. Система земледелия нового поколения Ставропольского края / В.В. Кулинцев, Е.И. Годунова, Л.И. Желнакова [и др.]. – Ставрополь: Издательство “АГРУС”, 2013. – 520 с. – ISBN 978-5-9596-0924-5. – EDN TBGYOZ.

17. Сторчак, И.Г. Прогноз урожайности озимой пшеницы с использованием вегетационного индекса NDVI для условий Ставропольского края; автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. с.-х. наук (06.01.01) / Сторчак Ирина Геннадьевна; Ставропольский гос. аграрный университет. – Ставрополь, 2016. – 22 с.

References

1. Geograficheskiye informatsionnyye sistemy i distantsionnoye zondirovaniye. Vegetatsionnyye indeksy [Geographic information systems and remote sensing. Vegetation indices] [Elektronnyy resurs]. URL: <https://gis-lab.info/qa/vi.html#pvi> (data of access: 10.05.2025).

2. Baranov, Yu.B. et all. Geoinformatika. Tolkovyy slovar' osnovnykh terminov [Geoinformatics. Explanatory dictionary of basic terms]. Moscow: GIS-Assotsiatsiya, 1999, 204 p.

3. Ibragimova, Ch.R. Otsenka sostoyaniya posevov prognozirovaniya urozhaynosti ozimoy pshenitsy na osnove servisov geoinformatsionnykh sistem v usloviyakh lesostepnoy zony Povolzh'ya [Assessment of the state of crops, forecasting the yield of winter wheat based on the services of geographic information systems in the conditions of the forest-steppe zone of the Volga region]. Ul'yanovsk, 2022, pp. 68-71.

4. Ivanyo, Ya.M. et all. Algoritm realizatsii ekologo-matematicheskikh zadach optimizatsii proizvodstva sel'skokhozyaystvennoy produktsii v usloviyakh neopredelennosti [Algorithm for the implementation of ecological and mathematical problems of optimization of agricultural production under uncertainty]. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Sistemnyy analiz i informatsionnyye tekhnologii. – Voronezh, 2020, no. 2, pp. 79-91.

5. Ivanyo, Ya.M. et all. Riski proizvodstva agrarnoy produktsii v Predbaykal'ye: klassifikatsiya, modelirovaniye, upravleniye [Risks of Agricultural Production in the Cis-Baikal Region: Classification, Modeling, Management]. Novosibirsk: Sibirskoye otdeleniye RAN, 2021, pp. 365-375.

6. Ivanyo, Ya.M. Ekstremal'nyye prirodnyye yavleniya: metodologiya, modelirovaniye i prognozirovaniye [Extreme natural phenomena: methodology, modeling and forecasting]. Irkutsk, 2007, 266 p.

7. Shayakhmetov, M.R. et all. Izucheniye vzaimosvyazi urozhaynosti yarovoy tverдой pshenitsy s vegetatsionnym indeksom NDVI stepnoy zony Omskoy oblasti na osnove dannykh distantsionnogo zondirovaniya zemli [Study of the relationship between the yield of spring durum wheat and the NDVI vegetation index of the steppe zone of the Omsk region based on remote sensing data]. Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, 2015, no. 2 (18), pp. 34-38.

8. Rodimtsev, S.A. et all. Ispol'zovaniye vegetativnogo indeksa NDVI dlya prognoza urozhaynosti zernovykh kul'tur [Using the vegetative index NDVI to forecast the yield of grain crops]. Vestnik NSAU, 2022, no. № 4(65), pp. 56-67, DOI 10.31677/2072-6724-2022-65-4-56-67, EDN IRLXQG.

9. Kochub, Ye.V., Topaz, A.A. Analiz metodov obrabotki materialov distantsionnogo zondirovaniya Zemli [Analysis of methods for processing Earth remote sensing materials]. Vestnik PSU, series F., 2012, pp. 12-21.

10. Ivanyo, Ya.M. et all. Matematicheskiye i tsifrovyye tekhnologii optimizatsii proizvodstva prodovol'stvennoy produktsii. Monografiya [Mathematical and digital technologies for optimizing food production]. Molodezhnyy, 2021, 219 p.

11. Bondur, V.G. et all. Metod prognozirovaniya urozhaynosti po kosmicheskim nablyudeniyam za dinamikoy razvitiya vegetatsii [Method of forecasting yield based on space observations of the dynamics of vegetation development]. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geodeziya i aerofotos"yemka, 2013, no. 6, pp. 61-68.

12. Nevenchannaya, N.M., Aksenova, Yu.V. Issledovaniye produktivnosti i prognozirovaniye urozhaynosti yarovoy pshenitsy s ispol'zovaniyem tekhnologiy distantsionnogo zondirovaniya zemli [Study of productivity and forecasting of yield of spring wheat using remote sensing technologies]. Zemledeliye, 2023, no. 2, pp. 24-31.

13. Ivanyo, Ya.M. et all. Optimizatsiya proizvodstva sel'skokhozyaystvennoy produktsii pri sochetanii oroshayemykh i neoroshayemykh zemel' [Optimization of agricultural production with a combination of irrigated and non-irrigated lands]. Dostizheniya nauki i tekhniki APK, 2024, vol. 38, no. 5, pp. 48-54.

14. Stepanov, A.S. et all. Perspektivy ispol'zovaniya opticheskikh i radarnykh izobrazheniy dlya kontrolya za soblyudeniym sevooborotov v Khabarovskom kraye [Prospects for using optical and radar images to monitor crop rotation in Khabarovsk Krai]. Dostizheniya nauki i tekhniki APK, 2021, vol. 35, no.12, pp. 23-28.

15. Vilyunov, S.D. et all. Primeneniye vegetatsionnykh indeksov v selektsii ozimoy myagkooy pshenitsy [Application of vegetation indices in the breeding of winter soft wheat]. Zernobobovyye i krupyanyye kul'tury, 2022, no. 3(43), pp. 73-83, DOI 10.24412/2309-348X-2022-3-73-83, EDN MXTNXP.

16. Kulintsev ,V.V. et all. Sistema zemledeliya novogo pokoleniya Stavropol'skogo kraya [New-generation farming system of Stavropol Krai]. Stavropol', 2013, 520 p.

17. Storchak, I.G. Prognoz urozhaynosti ozimoy pshenitsy s ispol'zovaniyem vegetatsionnogo indeksa NDVI dlya usloviy Stavropol'skogo kraya [Forecasting the yield of winter wheat using the NDVI vegetation index for the conditions of Stavropol Krai. Avtoref. dis. kand., Stavropol'skiy gos. agrarnyy universitet, Stavropol', 2016, 22 p.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие конфликта интересов.

Author's contribution. All authors of this study were directly involved in the planning, execution and analysis of this study. All authors of the article reviewed and approved the final version of the manuscript.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interest.

История статьи / Article history:

Дата поступления в редакцию / Received: 19.06.2025

Поступила после рецензирования и доработки / Revised: 26.06.2025

Дата принятия к печати / Accepted: 27.06.2025

Сведения об авторах

Петрова Софья Андреевна – кандидат технических наук, доцент кафедры информатики и математического моделирования института экономики, управления и прикладной информатики. Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского.

Контактная информация: ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, 664038, Россия, Иркутская обл., Иркутский район, п. Молодежный, e-mail: sofia.registration@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9586-583X>.

Тобоева Долсон Сергеевна – выпускница направления подготовки 09.03.03 Прикладная информатика. Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского.

Контактная информация: ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, 664038, Россия, Иркутская обл., Иркутский район, п. Молодежный, e-mail: sofia.registration@mail.ru.

Information about authors

Sofya A. Petrova – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Computer Science and Mathematical Modeling of the Institute of Economics, Management and Applied Informatics Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky.

Contact information: FSBEI HE Irkutsk SAU, 664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk district, Molodezhny, e-mail: sofia.registration@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9586-583X>.

Dolson S. Toboeva – graduate of the training program 09.03.03 Applied Informatics Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky.

Contact information: FSBEI HE Irkutsk SAU, 664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk district, Molodezhny, e-mail: sofia.registration@mail.ru.

Требования к статьям, публикуемым в электронном научно-практическом журнале “Актуальные вопросы аграрной науки”

Условия опубликования статьи

1. Представленная для публикации статья должна быть актуальной, обладать новизной, содержать постановку задач (проблем), описание основных результатов исследования, полученных автором, выводы.
2. Доля ссылок на публикации в журналах из ядра РИНЦ должна составлять не менее 50% списка литературы за последние 8 лет, цитирование работ какого-либо автора, входящего и не входящего в состав авторского коллектива рукописи не должно превышать 30%.
3. Статья должна соответствовать правилам оформления.
4. Автор может опубликовать одну статью в полугодие и два раза в год в соавторстве.

Правила оформления статьи

1. Представление статьи осуществляется в электронном виде через электронную редакцию (адрес: <http://agronauka-irsau.ru>). После регистрации в системе электронной редакции автоматически формируется персональный профиль автора. Затем необходимо загрузить статью через меню “Мои публикации”. Все взаимодействия с редактором происходят через электронную редакцию. **Внимание авторов, имеющих соавторов:** регистрационную форму заполняет основной контактный автор, остальные авторы указываются специальным списком в отдельном окне.
2. В электронной форме подачи статьи необходимо заполнить обязательные поля: “УДК”, “Название статьи”, “И.О. Фамилия автора”, “Название организации”, “Аннотация статьи”, “Ключевые слова”. Далее все поля дублируются на английском языке.
3. Текст статьи должен быть тщательно вычитан автором, который несет ответственность за научно-теоретический уровень публикуемого материала.

Структура статьи

1. УДК размещается в левом верхнем углу: полужирный шрифт, размер – 12 пт.
2. Название статьи (ПРОПИСНЫМИ БУКВАМИ), полужирный шрифт, 14 пт, межстрочный интервал – 1.0.
3. И.О. Фамилия автора(ов), полужирный шрифт, 12 пт.
4. Название организации, 12 пт, межстрочный интервал – 1.0.
5. Аннотация статьи должна отражать основные положения работы и содержать от 200 до 250 слов (шрифт – Times New Roman, размер – 12 пт, интервал – 1.0).
6. После аннотации располагаются ключевые слова (шрифт – Times New Roman, курсив, размер – 12 пт.).
7. Далее: пункты 1, 2, 3, 4, 5, 6, дублируются на английском языке.
8. Основной текст статьи – шрифт Times New Roman, размер – 14 пт., межстрочный интервал – 1.0 пт.
9. В конце статьи размещается список литературы (по алфавиту) на русском языке, оформленный в соответствии с ГОСТ 7.1-2003.
10. Далее – транслитерация всего списка литературы.
11. Ссылки на литературу приводятся в тексте в квадратных скобках.
12. Благодарность(и) или указание(я) на какие средства выполнены исследования, приводятся в конце основного текста после выводов (шрифт Times New Roman, 12 пт.).
13. Оформление рисунков и таблиц согласно стандарту (ГОСТ 7.1-2003). Названия рисунков и таблиц дублируются на английском языке.
14. Набор формул осуществляется в MicrosoftEquation в версии не ниже 3.0.
15. Сведения об авторе(ах): фамилия, имя, отчество (полностью), ученая степень,

ученое звание, должность, место работы (место учебы или соискательство), контактные телефоны, e-mail, почтовый индекс и адрес учреждения. Сведения об авторе(ах) дублируются на английском языке.

16. Нумерация страниц статьи обязательна.

Регистрация статей

1. Поступившая статья регистрируется в общий список по дате поступления.
2. Автор(ы) извещаются по e-mail или по контактному телефону о публикации статьи(ей) в соответствующем выпуске.
3. Главный редактор в течение 7 дней уведомляет автора(ов) о получении статьи.

Порядок рецензирования статей

1. Научные статьи, поступившие в редакцию, проходят рецензирование.
2. Формы рецензирования статей:
 - внутренняя (рецензирование рукописей статей членами редакционной коллегии);
 - внешняя (направление на рецензирование рукописей статей ведущим специалистам в соответствующей отрасли).
3. Главный редактор определяет соответствие статьи профилю журнала, требованиям к оформлению и направляет ее на рецензирование специалисту (доктору или кандидату наук), имеющему наиболее близкую к теме статьи научную специализацию.
4. Сроки рецензирования в каждом отдельном случае определяются главным редактором с учетом создания условий для максимально оперативной публикации статьи.
5. В рецензии должны быть освещены следующие вопросы:
 - соответствует ли содержание статьи заявленной в названии теме;
 - насколько статья соответствует современным достижениям научно-теоретические мысли;
 - доступна ли статья читателям, на которых она рассчитана с точки зрения языка, стиля, расположения материала, наглядности таблиц, диаграмм, рисунков и т.д.;
 - целесообразна ли публикация статьи с учетом ранее выпущенной по данному вопросу научной литературы;
 - в чем конкретно заключаются положительные стороны, а также недостатки; какие исправления и дополнения должны быть внесены автором;
 - вывод о возможности опубликования данной рукописи в журнале: “рекомендуется”, “рекомендуется с учетом исправления отмеченных рецензентом недостатков” или “не рекомендуется”.
6. Рецензии заверяются в порядке, установленном в учреждении, где работает рецензент.
7. В случае отклонения статьи от публикации редакция направляет автору(ам) мотивированный отказ.
8. Статья, не рекомендованная рецензентом к публикации, к повторному рассмотрению не принимается. Текст отрицательной рецензии направляется автору(ам) по электронной или обычной почте.
9. Наличие положительной рецензии не является достаточным основанием для публикации статьи. Окончательное решение о целесообразности публикации принимается редакционным советом.
10. После принятия редакционным советом решения о допуске статьи к публикации главный редактор информирует об этом автора(ов) и указывает сроки публикации.
11. Оригиналы рецензий хранятся в редакции журнала.

Порядок рассмотрения статей

1. Представляя статью для публикации, автор тем самым выражает согласие на размещение полного ее текста в сети Интернет на официальных сайтах научной электронной библиотеки (www.elibrary.ru) и электронного научно-практического журнала

“Актуальные вопросы аграрной науки” (<http://agronauka.igsha.ru>).

2. Статьи принимаются по установленному графику:

- в № 1 (март) – до 1 января текущего года;
- в № 2 (июнь) – до 1 апреля текущего года;
- в № 3 (сентябрь) – до 1 июня текущего года;
- в № 4 (декабрь) – до 1 сентября текущего года.

В исключительных случаях, по согласованию с редакцией, срок приема статьи в ближайший номер может быть продлен не более, чем на три недели.

3. Поступившие статьи рассматриваются редакционным советом в течение месяца.

4. Редакционный совет правомочен отправить статью на дополнительное рецензирование.

5. Редакционный совет правомочен осуществлять научное и литературное редактирование поступивших материалов, при необходимости сокращать их по согласованию с автором(ами), либо, если тематика статьи представляет интерес для журнала, направлять статью на доработку автору(ам).

6. Редакционный совет оставляет за собой право отклонить статью, не отвечающую установленным требованиям оформления или тематике журнала.

7. В случае отклонения представленной статьи редакционный совет дает автору(ам) мотивированное заключение.

8. Автор(ы) в течение 7 дней получают уведомление о поступившей статье. Через месяц после регистрации статьи, редакция сообщает автору(ам) о результатах рецензирования и о плане публикации статьи.

Подробную информацию об оформлении статей можно получить по e-mail: iymex@rambler.ru.

**Requirements
to articles published in the electronic scientific and practical journal
“Actual issues of agrarian science”**

Conditions for publishing an article

1. The article submitted for publication must be relevant, have novelty, contain the statement of tasks (problems), a description of the main research results obtained by the author, and conclusions.
2. The share of references to publications in journals from the core of the RSCI should be at least 50% of the list of references for the last 8 years, citation of the works of any author, whether or not a member of the autograph team of the manuscript, should not exceed 30%.
3. The article must comply with the design rules.
4. The author can publish one article per half a year and twice a year as a co-author.

Article formatting rules

1. Submission of the article is carried out in electronic form through the electronic editorial office (address: <http://agronauka-irsau.ru>). After registration in the electronic editorial system, a personal profile of the author is automatically generated. Then you need to upload the article through the menu "My publications". All interactions with the editor occur through the electronic edition. To the attention of authors with co-authors: the main contact author fills out the registration form, the other authors are indicated in a special list in a separate window.
2. In the electronic form for submitting an article, it is necessary to fill in the required fields: “UDC”, “Article title”, “Author's initials and surname”, “Organization name”, “Article abstract”, “Keywords”. Further, all fields are duplicated in English.
3. The text of the article must be carefully proofread by the author, who is responsible for the scientific and theoretical level of the published material.

Article structure

1. UDC is placed in the upper left corner: bold, size – 12 pt.
2. Title of the article (in CAPITAL LETTERS), bold, 14 pt, line spacing – 1.0.
3. Author's initials and surname, bold, 12 pt.
4. Name of the organization, 12 pt, line spacing – 1.0.
5. The abstract of the article should reflect the main provisions of the work and contain from 200 to 250 words (font - Times New Roman, size - 12 pt, spacing - 1.0).
6. After the abstract, keywords are placed (font - Times New Roman, italics, size - 12 pt.).
7. Further: points 1, 2, 3, 4, 5, 6 are duplicated in English.
8. The main text of the article - Times New Roman font, size - 14 pt., line spacing - 1.0 pt.
9. At the end of the article there is a list of references (in alphabetical order) in Russian, drawn up in accordance with GOST 7.1-2003.
10. Next - transliteration of the entire list of references.
11. References to the literature are given in the text in square brackets.
12. Acknowledgment(s) or an indication(s) of what funds the research was carried out are given at the end of the main text after the conclusions (Times New Roman, 12 pt.).
13. Design of figures and tables according to the standard (GOST 7.1-2003). The names of figures and tables are duplicated in English.
14. A set of formulas is carried out in Microsoft Equation in version 3.0 or higher.
15. Information about the author(s): last name, first name, middle name (in full), academic degree, academic title, position, place of work (place of study or job seeker), contact numbers, e-mail, postal code and address of the institution. Information about the author(s) is duplicated in English.
16. The numbering of the pages of the article is obligatory.

Registration of articles

1. The received article is registered in the general list by the date of receipt.
2. The author(s) are notified by e-mail or by contact phone about the publication of the article(s) in the corresponding issue.
3. The editor-in-chief notifies the author(s) of receipt of the article within 7 days.

The procedure for reviewing articles

1. Scientific articles received by the editors are reviewed.
2. Forms of reviewing articles:
 - internal (review of manuscripts of articles by members of the editorial board);
 - external (direction for reviewing manuscripts of articles to leading experts in the relevant industry).
3. The editor-in-chief determines the compliance of the article with the profile of the journal, the requirements for registration and sends it for review to a specialist (doctor or candidate of sciences) who has the closest scientific specialization to the topic of the article.
4. The terms of reviewing in each individual case are determined by the editor-in-chief, taking into account the creation of conditions for the promptest publication of the article.
5. The review should cover the following issues:
 - whether the content of the article corresponds to the topic stated in the title;
 - how the article corresponds to modern achievements of scientific and theoretical thought;
 - is the article accessible to readers for whom it is designed in terms of language, style, arrangement of material, visibility of tables, diagrams, figures, etc.;
 - whether the publication of the article is appropriate, taking into account the previously published scientific literature on this issue;
 - what exactly are the positive aspects, as well as the disadvantages; what corrections and additions should be made by the author;
 - a conclusion about the possibility of publishing this manuscript in the journal: “recommended”, “recommended taking into account the correction of the shortcomings noted by the reviewer” or “not recommended”.
6. Reviews are certified in the manner prescribed by the institution where the reviewer works.
7. In case of rejection of the article from publication, the editors send a reasoned refusal to the author(s).
8. An article not recommended by the reviewer for publication is not accepted for re-consideration. The text of the negative review is sent to the author(s) by e-mail or regular mail.
9. The presence of a positive review is not a sufficient reason for publishing an article. The final decision on the expediency of publication is made by the editorial board.
10. After the editorial board decides on the admission of the article for publication, the editor-in-chief informs the author(s) about this and indicates the terms of publication.
11. The originals of the reviews are stored in the editorial office of the journal.

Order of consideration of articles

1. By submitting an article for publication, the author thereby agrees to place its full text on the Internet on the official websites of the scientific electronic library (www.elibrary.ru) and the electronic scientific and practical journal “Actual issues of agrarian science” (<http://agronauka.igsha.ru>).
2. Articles are accepted according to the established schedule:
 - in No. 1 (March) - until January 1 of the current year;
 - in No. 2 (June) - until April 1 of the current year;
 - in No. 3 (September) - until June 1 of the current year;
 - in No. 4 (December) - until September 1 of the current year.

In exceptional cases, in agreement with the editors, the deadline for submitting an article to the next issue can be extended by no more than three weeks.

3. Received articles are considered by the editorial board within a month.

4. The editorial board is authorized to send the article for additional review.

5. The editorial board is authorized to carry out scientific and literary editing of the received materials, if necessary, reduce them in agreement with the author(s), or, if the subject of the article is of interest to the journal, send the article for revision to the author(s).

6. The editorial board reserves the right to reject an article that does not meet the established requirements for the design or subject matter of the journal.

7. In case of rejection of the submitted article, the editorial board gives the author(s) a reasoned opinion.

8. The author(s) within 7 days receive a notification about the received article. A month after the registration of the article, the editors inform the author(s) about the results of the review and about the plan for publishing the article.

Detailed information about the design of articles can be obtained by e-mail: *iydex@rambler.ru*.

**ЭЛЕКТРОННЫЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
“АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ АГРАРНОЙ НАУКИ”**

Выпуск 2(55)

июнь

Технический редактор – Н.В. Спиридонова

Перевод – П.Г. Асалханов

Лицензия на издательскую деятельность

ЛР № 070444 от 11.03.98 г.

Дата выхода: 04.07.2025.

Усл. печ. л. 6,56.

Адрес редакции, издателя, типографии:

664038, Иркутская обл., Иркутский р-н, п. Молодежный,
ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ.