

Электронный научно-практический журнал
ELECTRONIC SCIENTIFIC-PRACTICAL JOURNAL

актуальные вопросы аграрной науки

ACTUAL ISSUES
OF AGRARIAN SCIENCE

Выпуск 1(58)

Март

VOLUME 1(58)

MARCH

ISSN: 2411-6483

МОЛОДЁЖНЫЙ 2026



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

2026 Выпуск 1(58)

Electronic scientific-practical journal

“Actual issues of agrarian science”

2026 Volume 1(58)

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 10.51215/2411-6483-2026-58

Электронный научно-практический журнал “Актуальные вопросы аграрной науки”, 2026, выпуск 1(58), март.

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. Джаникулов, 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”, 2026, issue 1(58), March.
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 EI № 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

Алтухов И.В., Очиров В.Д. Органолептическая оценка сушеных овощей, полученных с использованием энергосберегающей сушильной установки 8

Карамов Д.Н., Шиш Лю Универсальная модель фотоэлектрической системы малой мощности для условий северо-востока КНР 18

Наумов И.В., Подъячих С.В., Иванов Д.А. Исследование несимметричных режимов во внутренней электрической сети индивидуального домовладения 27

Шпак О.Н. К вопросу работы активного фильтра в рамках теории мгновенной реактивной мощности 40

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА, УПРАВЛЕНИЕ, МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Барсукова М.Н., Бояркин Е.В., Васильева Е.А. Проектирование информационной системы “Многофакторное моделирование урожайности однолетних кормовых культур” на примере лесостепи Предбайкалья 51

Иваньо Я.М., Ананьев Л.С. Многоэтапная оптимизация производства и переработки аграрной продукции в экстремальных условиях деятельности товаропроизводителя 64

Репецкий О.В. Влияние дефектов на ресурсные характеристики радиальных рабочих колес 77

Федурина Н.И., Бендик Н.В. Интеграция цифровых инструментов для моделирования и прогнозирования показателей качества образования Иркутского ГАУ 90

CONTENS

MECHANIZATION, ELECTRIFICATION, AGRO-ENGINEERING SYSTEMS

- Altukhov I.V., Ochirov V.D.* Organoleptic evaluation of dried vegetables obtained using an energy-saving drying unit 8
- Karamov D.N., Shiyi Liu* Universal model of a low-power photovoltaic system for the conditions of north-east China 18
- Naumov I.V., Podyachikh S.V., Ivanov D.A.* Research of asymmetrical modes in the internal electrical network of an individual household 27
- Shpak O.N.* To the question of operation of an active filter within the framework of the theory of instantaneous reactive power 40

INFORMATICS, COMPUTER ENGINEERING, MANAGEMENT, MATHEMATICAL MODELING

- Barsukova M.N., Boyarkin E.V., Vasilyeva E.A.* Designing an information system “Multi-variable modeling of annual forage crops yield” using the example of the forest-steppe of the Pre-baikal region 51
- Ivanyo Ya.M., Ananov L.S.* Multi-stage optimization of the production and processing of agricultural products in extreme conditions of the producer's activity 64
- Repetskii O.V.* The influence of defects on the resource characteristics of radial impellers 77
- Fedurina N.I., Bendik N.V.* Integration of digital tools for modeling and forecasting education quality indicators of Irkutsk SAU 90



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

DOI 10.51215/2411-6483-2026-58-8-17
УДК 664.856.085.1:634.11

Научная статья

**ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СУШЕНЫХ ОВОЩЕЙ,
ПОЛУЧЕННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ СУШИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ**

И.В. Алтухов, В.Д. Очиров

Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского
*п. Молодежный, с.п. Молодежное, муниципальный район Иркутский,
Иркутская область, Россия*

Аннотация. Овощи, представляющие собой коллоидные капиллярно-пористые материалы с высоким содержанием влаги (до 90%), очень нестойки при хранении. Для длительного хранения овощей в обычных условиях с сохранением питательных веществ их сушат до достижения массовой доли влаги, обеспечивающей их сохранность, в связи с чем, отпадает необходимость в помещениях для длительного хранения сырых овощей с установленным микроклиматом [16]. Сушеные овощи в сравнении со свежими овощами содержат биологически активные и питательные вещества в наиболее концентрированном виде, имеют значительно уменьшенную массу и не требуют особых условий для хранения. Такие качества позволили сушеным овощам получить большой спрос для снабжения населения дальних и труднодоступных районов нашей страны, армии и флота, экспедиций, космонавтов, туристов и т.п. Кроме этого, сушеные овощи, измельченные до порошкообразного состояния, эффективно используются, как один из ингредиентов, при приготовлении хлебобулочных и мучных кондитерских изделий. В работе представлены результаты, полученные при реализации гранта Фонда содействия инновациям в 2024 году. Одной из задач при выполнении гранта явилось тестирование полученной сушеной продукции по физико-химическим и органолептическим показателям. Результаты по сушеным картофелю и овощам, полученным с использованием инфракрасной сушки на энергосберегающей сушильной установке, показали, что продукты по органолептическим показателям изготовлены в соответствии с требованиями государственных стандартов. В них отсутствует посторонний вкус и запах, цвет продуктов соответствует исходному сырью.

Ключевые слова: энергосбережение, сушильная установка, инфракрасная сушка, овощи, органолептические показатели.

Для цитирования: Алтухов И.В., Очиров В.Д. Органолептическая оценка сушеных овощей, полученных с использованием энергосберегающей сушильной установки. *Электронный научно-практический журнал “Актуальные вопросы аграрной науки”*. 2026; 1(58):8-17. DOI: 10.51215/2411-6483-2026-58-8-17.

ORGANOLEPTIC EVALUATION OF DRIED VEGETABLES OBTAINED USING AN ENERGY-SAVING DRYING UNIT

Igor V. Altukhov, Vadim D. Ochirov

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

Abstract. Vegetables, which are colloidal capillary-porous materials with a high moisture content (up to 90%), are very unstable during storage. To ensure long-term storage of vegetables under normal conditions while preserving their nutrients, they are dried until they reach a moisture content sufficient to preserve them. This eliminates the need for long-term storage facilities with a controlled microclimate for raw vegetables [16]. Compared to fresh vegetables, dried vegetables contain biologically active substances and nutrients in a more concentrated form, have a significantly reduced weight, and require less special storage conditions. These qualities have made dried vegetables highly sought after for supplying residents of remote and hard-to-reach areas of our country, the army and navy, expeditions, astronauts, tourists, and other sectors. Furthermore, dried vegetables, ground to a powder, are effectively used as an ingredient in the preparation of bakery and flour confectionery products. This paper presents the results, obtained through a grant from the Foundation for Assistance to Small Innovative Enterprises in 2024. One of the objectives of the grant was to test the resulting dried products for their physicochemical and organoleptic properties. The results for dried potatoes and vegetables obtained using infrared drying on an energy-saving drying unit showed that the products complied with state standards in terms of organoleptic properties. They are free of foreign tastes and odors, and the color of the products matches the original raw materials.

Keywords: energy saving, drying unit, infrared drying, vegetables, organoleptic properties.

For citation: Altukhov I.V., Ochirov V.D. Organoleptic evaluation of dried vegetables obtained using an energy-saving drying unit. *Electronic scientific-practical journal “Actual issues of agrarian science”*. 2026; 1(58):8-17. DOI: 10.51215/2411-6483-2026-58-8-17.

В свежем виде овощи, имеющие высокое содержание свободной влаги, легко портятся, быстро увядают и загнивают. Одним из выходов из такого положения является применение тепловой обработки и сушки овощей. Сушеные продукты, содержащие до 12-14% влаги, имеют высокую устойчивость к действию микроорганизмов, не портятся в обычных условиях в герметически упакованном виде и могут долго сохраняться для употребления в пищу в течение длительного времени. Объем полученных сушеных овощей сокращается в 3-5 раз по сравнению со свежими продуктами, а масса уменьшается до 5-10 раз. Сушеные продукты можно использовать для производства пищевых концентратов, для снабжения экспедиций и в общественном питании [6].

Авторами статьи предлагается при получении сушеных овощей использовать инфракрасный способ сушки [1]. Данное научное направление в Иркутском ГАУ (ИСХИ, ИрГСХА), фундамент которого был заложен доцентом Назимовым В.В. [9] и профессором Худоноговым А.М. [17, 18], изучается с 60-х годов прошлого столетия. Идея использования инфракрасной сушки пищевых продуктов не нова и достаточно хорошо известна. Указанный способ сушки активно используется в агропромышленном комплексе и в пищевой промышленности, что подтверждается исследованиями ученых научных и учебных заведений аграрного профиля, таких как Вавиловский университет [8], КрасГАУ [15], Кузбасский ГАУ [4], РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева [14], СФНЦА РАН [3], ФГБНУ ФНАЦ ВИМ [7], Южно-Уральский ГАУ [2] и другие.

Цель работы – органолептическая оценка сушеных овощей инфракрасной сушки.

Материалы и методики исследования. Сушка овощей проведена на опытном образце энергосберегающей сушильной установки, общий вид которой представлен на рисунке 1 [10]. В качестве нагревательных элементов в установке использованы карбоновые нагреватели, созданные и изготовленные доцентом Шелеховым И.Ю. с соавторами [11, 12]. Описание работы и принцип действия сушильной установки подробно представлены в работах [5, 13].

Сушеные овощи получены при температуре сушки 60-80°C и изготовлены в соответствии с требованиями ГОСТ и с соблюдением требований ТР ТС 021/2011. Для объективной оценки органолептических показателей отбирались сушеные овощи с пищевых лотков, расположенных в верхней, средней и нижней части рабочей камеры сушильной установки. Масса каждой из трех проб составляла не менее 500 г [19].

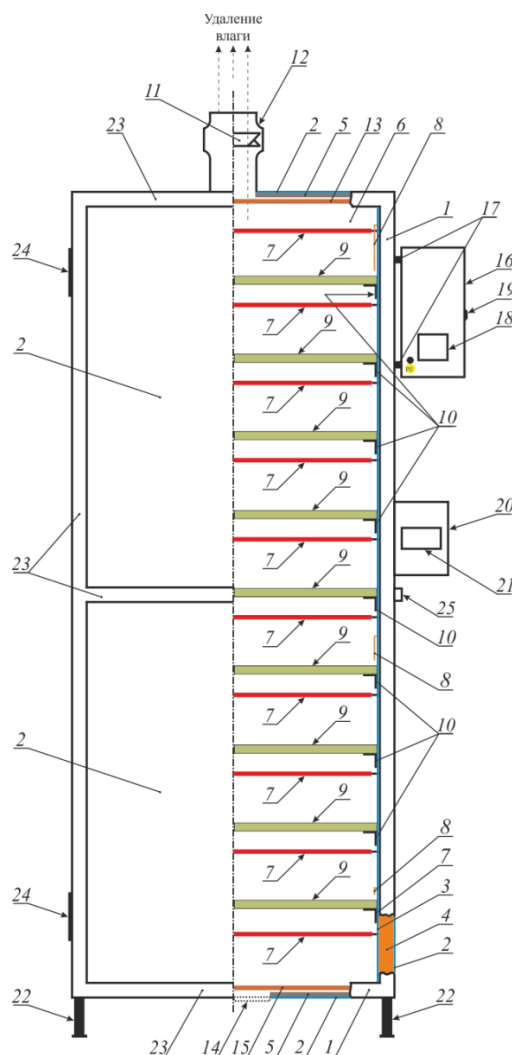


Рисунок 1 – Схематическое изображение сушильной установки (вид спереди):

- 1 – каркас установки; 2 – окрашенный стальной лист; 3 – лист из нержавеющей стали;
 4 – тепловая изоляция боковых стенок; 5 – тепловая изоляция потолка и пола; 6 – рабочая камера; 7 – нагревательный элемент; 8 – датчик температуры; 9 – пищевой лоток;
 10 – уголок алюминиевый; 11 – вентилятор; 12 – канал для отвода влаги из установки;
 13 – верхняя заслонка; 14 – решетка для подачи воздуха; 15 – нижняя заслонка; 16 – щит управления; 17 – крепление щита управления к установке; 18 – дисплей терморегулятора;
 19 – замок щита управления; 20 – коробка контрольных указателей температуры;
 21 – дисплей контрольного терморегулятора; 22 – ножка; 23 – каркас двери; 24 – шарнир дверной; 25 – затяжная защелка.

Figure 1 – Schematic representation of the drying unit (front view):

- 1 – unit frame; 2 – painted steel sheet; 3 – stainless steel sheet; 4 – side wall thermal insulation; 5 – ceiling and floor thermal insulation; 6 – working chamber; 7 – heating element; 8 – temperature sensor; 9 – food tray; 10 – aluminum corner; 11 – fan; 12 – unit moisture outlet duct; 13 – upper damper; 14 – air supply grille; 15 – lower damper; 16 – control panel; 17 – control panel mount to the unit; 18 – thermostat display; 19 – control panel lock; 20 – temperature control indicator box; 21 – control thermostat display; 22 – leg; 23 – door frame; 24 – door hinge; 25 – tightening latch.

Результаты исследований. По окончании процесса сушки и извлечения сушеных овощей (рис. 2) из рабочей камеры сушильной установки проведена их органолептическая оценка (рис. 3) по разработанной шкале (табл.). Среднее время сушки овощей составляет 210 минут.

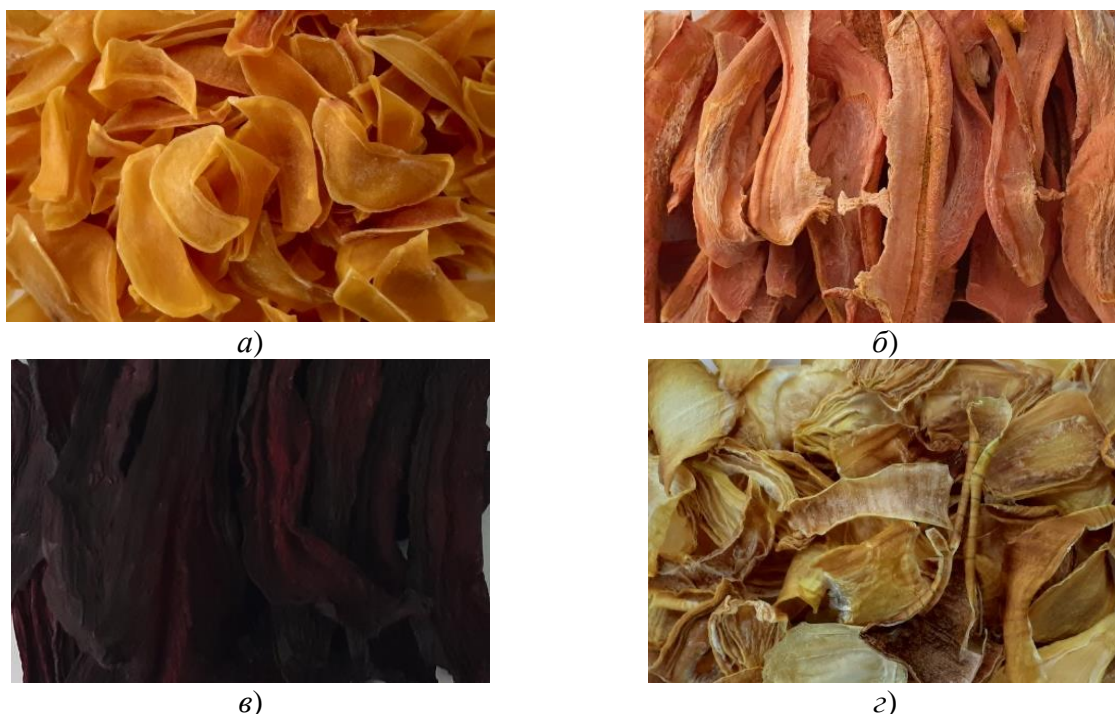


Рисунок 2 – Внешний вид сушеных овощей, нарезанных в форме пластинок:
 а) картофель; б) морковь; в) свекла; г) лук

Figure 2 – Appearance of dried vegetables cut into slices:
 a) potatoes; b) carrots; c) beets; d) onions

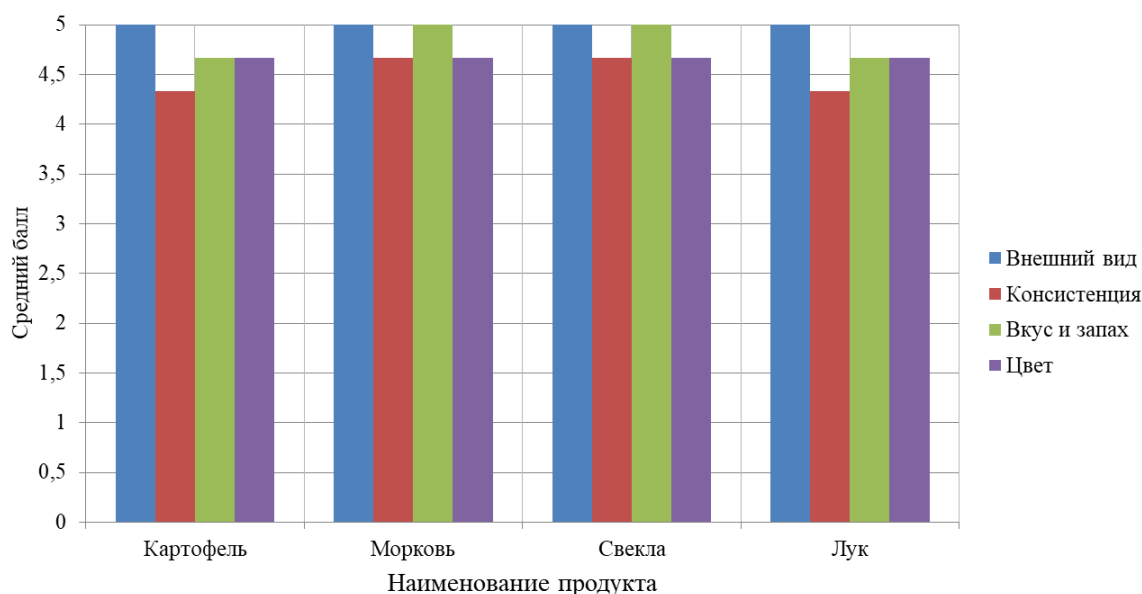


Рисунок 3 – Балльная органолептическая оценка сушеного картофеля и овощей

Figure 3 – Organoleptic assessment of dried potatoes and vegetables

Органолептическая оценка с выставлением баллов по сушеному картофелю и овощам проведена авторами статьи. По четырем показателям (рис. 3) полученные продукты получили средние баллы от 4.33 до 5.0.

Таблица – Шкала для органолептической оценки

Table – Scale for organoleptic evaluation

Показатели	Характеристика	Баллы
Внешний вид	Правильная форма с ровной поверхностью, частицы равномерные по толщине, целые, без обломанных граней, сохраняющие свою форму при завертке, укладке в тару и транспортировании, легко разминающиеся	5
	Правильная форма с неровной поверхностью, частицы равномерные по толщине, целые, с обломанными гранями, сохраняющие свою форму при завертке, укладке в тару и транспортировании, легко разминающиеся	4
	Неправильная форма с неровной поверхностью, частицы неравномерные по толщине, целые, с обломанными гранями, сохраняющие свою форму при завертке, укладке в тару и транспортировании, легко разминающиеся	3
	Неправильная форма с неровной поверхностью, частицы неравномерные по толщине, ломаные, несохраняющие свою форму при завертке, укладке в тару и транспортировании, легко разминающиеся	1-2
Цвет	Свойственный цвету сырья, из которого были изготовлены сушеные продукты	4-5
	Разный, неоднородный цвет по всей поверхности	2-3
Консистенция	Однородная, целые рассыпающиеся частицы одинакового размера, сохраняющие свою форму при завертке, укладке в тару и транспортировании, имеется легкая хрупкость	5
	Неоднородная, целые рассыпающиеся частицы различного размера, сохраняющие свою форму при завертке, укладке в тару и транспортировании, имеется легкая хрупкость	3-4
	Неоднородная, наличие большого количества пригорелых частиц различного размера, при завертке, укладке в тару и транспортировании грани частиц ломаются	1-2
Вкус и запах	Свойственный продуктам данного вида без посторонних привкусов и запахов	5
	Слабовыраженный продукту данного вида	3-4
	Горький, наличие посторонних запахов, запах пригоревшей пищи, затхлый	1-2

Выводы. Полученные результаты позволяют сделать заключение, что сушеные картофель и овощи, полученные с использованием инфракрасной сушки, по органолептическим показателям изготовлены в соответствии с требованиями государственных стандартов. В сушеных продуктах отсутствует посторонний вкус и запах, цвет продуктов соответствует исходному сырью.

В дальнейшем для длительного хранения сушеных овощей (более одного календарного года) с исходными показателями необходимо соблюдать определенные требования правил упаковки и хранения. Сушеные овощи необходимо герметично упаковать в полимерные пакеты и хранить в сухих, чистых и проветриваемых помещениях при относительной влажности воздуха 65-70% и температуре окружающей среды $20\pm 2^{\circ}\text{C}$. Нарушение правил упаковки и режимов хранения может привести к плесневению и обесцвечиванию сушеных продуктов [19].

Благодарность. Работа выполнена при грантовой поддержке Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере по программе “Старт-1” в 2024 г. [13].

Список литературы

1. Алтухов, И.В. Технология инфракрасной сушки сахаросодержащих корнеплодов / И.В. Алтухов, В.Д. Очиров // *Engineering problems in agriculture and industry*. – Ulaanbaatar, 2010. – С. 87-92.
2. Афонькина, В.А. Техничко-экономическая оценка внедрения установки лоткового типа для сушки молочных заквасок / В.А. Афонькина, В.М. Попов, В.Н. Левинский, А.В. Медведев // *Техника и технологии в животноводстве*. – 2023. – № 3(51). – С. 92-97.
3. Волончук, С.К. Теоретическое обоснование и практическое применение инфракрасного излучения в технологии сушки растительного сырья / С.К. Волончук // *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. – 2011. – № 9-10(222). – С. 116-123.
4. Ермолаев, В.А. Исследование влияния характеристик отражателя на процесс сушки пищевых продуктов / В.А. Ермолаев // *Хранение и переработка сельхозсырья*. – 2023. – № 1. – С. 45-56.
5. Инновационные технологии в агропромышленном комплексе: энергетика, хранение и переработка: монография / Е.Н. Неверов, И.А. Короткий, Е.В. Короткая [и др.]. – Кемерово, 2025. – 216 с.
6. Кац, З.А. Производство сушеных овощей, картофеля и плодов / З.А. Кац. – М., 1976. – 198 с.
7. Лобачевский, Я.П. Инфракрасная сушка семян в псевдооживленном слое / Я.П. Лобачевский, С.А. Павлов // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. – 2018. – Т. 12. – № 5. – С. 39-43.
8. Лягина, Л.А. Система автоматического управления процессом сушки растительного сырья / Л.А. Лягина, В.А. Каргин, А.П. Моисеев // *Аграрный научный журнал*. – 2017. – № 7. – С. 78-82.
9. Очиров, В.Д. К 85-летию со дня рождения Анатолия Михайловича Худогова / В.Д. Очиров // *Актуальные вопросы инженерно-технического и технологического обеспечения АПК: матер. XI нац. научно-практ. конф. с междунар. участием*. – Молодежный, 2024. – С. 427-252.
10. Пат. 228774 Российская Федерация, U1 МПК F26B 3/30. Сушильная установка / Алтухов И.В., Очиров В.Д., Быкова С.М.; заявитель Общество с ограниченной ответственностью “Инфракрасные инновационные технологии”. 2024106663; заявл. 11.03.2024; опубл. 11.09.2024. Бюл. 26. – 7 с.
11. Пат. 2463748 Российская Федерация, C1 МПК H05B. Способ изготовления толсто пленочного резистивного нагревателя / Шелехов И.Ю., Шелехова И.В., Иванов Н.А., Ким Б.Ч., Головных И.М.; патентообладатель ООО “Термостат”. 2011103148/07; заявл. 28.01.2011, опубл. 10.10.2012. Бюл. № 28. – 7 с.

12. Пат. 2713729 Российская Федерация, С1 МПК H05B. Нагревательный элемент широкого спектра применения / Шелехов И.Ю.; патентообладатель Шелехов Игорь Юрьевич. 2018116517; заявл. 03.05.2018, опублик. 07.02.2020. Бюл. № 4. – 12 с.

13. Разработка и испытание опытного образца энергосберегающей установки для сушки овощей, реализующей биотехнические требования технологических режимов и получение продуктов длительного хранения: отчет о НИР (заключ.) / ООО “Инфракрасные инновационные технологии”; рук. И.В. Алтухов; исп. В.Д. Очиров, С.М. Быкова. – Дзержинск, 2024. – 121 с. – Номер государственного учета отчета 224111900022-2 от 19.11.2024 г.; дата утверждения отчета 05.11.2024 г.

14. Рудобашта, С.П. Тепломассоперенос при непрерывной инфракрасной сушке сферического тела / С.П. Рудобашта, Э.М. Карташов, Г.А. Зуева // Теоретические основы химической технологии. – 2025. – Т. 59. – № 4. – С. 6-13.

15. Счисленко, Д.М. Мобильная гелиосушильная установка для сушки плодов ягодных культур / Д.М. Счисленко, А.В. Бастрон // Вестник КрасГАУ. – 2018. – № 6(141). – С. 131-135.

16. Филоненко, Г.К. Сушка пищевых растительных материалов / Г.К. Филоненко, М.А. Гришин, Я.М. Гольденберг, В.К. Коссек. – М., 1971. – 440 с.

17. Худоногов, А.М. Обработка продуктов концентрированным электроинфракрасным излучением / А.М. Худоногов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1987. – № 9. – С. 55-56.

18. Худоногов, А.М. Теоретическое обоснование технологического использования электроинфракрасного нагрева в процессах обработки продовольственной продукции / А.М. Худоногов // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 1986. – № 4. – С. 79-86.

19. Экспертиза продуктов переработки плодов и овощей: учебно-справочное пособие / И.Э. Цапалова, Л.А. Маюрникова, В.М. Позняковский, Е.Н. Степанова. – Новосибирск, 2003. – 271 с.

References

1. Altuhov, I.V., Ochirov, V.D. Tekhnologiya infrakrasnoj sushki saharosoderzhashchih korneplodov [Technology of infrared drying of sugar-containing root vegetables]. Engineering problems in agriculture and industry, Ulaanbaatar. 2010, pp. 87-92.

2. Afon'kina, V.A. et all. Tehniko-ehkonomicheskaya ocenka vnedreniya ustanovki lotkovogo tipa dlya sushki molochnyh zakvasok [Feasibility study for the implementation of a tray-type installation for drying milk starters]. Tehnika i tehnologii v zhivotnovodstve, 2023, no. 3(51), pp. 92-97.

3. Volonchuk, S.K. Teoreticheskoe obosnovanie i prakticheskoe primeneniye infrakrasnogo izlucheniya v tehnologii sushki rastitel'nogo syr'ya [Theoretical justification and practical application of infrared radiation in the technology of drying plant materials]. Sibirskij vestnik sel'skohozyajstvennoj nauki, 2011, no. 9-10(222), pp. 116-123.

4. Ermolaev, V.A. Issledovanie vliyaniya harakteristik otrazhatelya na process sushki pishchevyh produktov [Study of the influence of reflector characteristics on the food drying process]. Hranenie i pererabotka sel'hozsyr'ya, 2023, no. 1, pp. 45-56.

5. Neverov, E.N. et all. Innovacionnye tehnologii v agropromyshlennom komplekse: ehnergetika, hranenie i pererabotka [Innovative technologies in the agro-industrial complex: energy, storage and processing]. Kemerovo, 2025, 216 p.

6. Кас, Z.A. Proizvodstvo sushenyh ovoshchej, kartofelya i plodov [Production of dried vegetables, potatoes and fruits]. Moscow, 1976, 198 p.

7. Lobachevskij, Ya.P., Pavlov, S.A. Infrakrasnaya sushka semyan v psevdoozhizhennom sloe [Infrared drying of seeds in a fluidized bed]. Sel'skohozyajstvennye mashiny i tehnologii, 2018, no. 5, pp. 39-43.

8. Lyagina, L.A. et all. Sistema avtomaticheskogo upravleniya processom sushki

rastitel'nogo syr'ya [Automatic control system for the drying process of plant materials]. *Agrarnyj nauchnyj zhurnal*, 2017, no 7, pp. 78-82.

9. Ochirov, V.D. К 85-летию со дня рождения Анатолия Михайловича Худоногова [On the 85th anniversary of the birth of Anatoly Mikhailovich Khudonogov]. *Aktual'nye voprosy inzhenerno-tehnicheskogo i tekhnologicheskogo obespecheniya APK, Molodezhnyj*, 2024, pp. 427-252.

10. Altuhov, I.V. et al. Patent 228774 Rossijskaya Federaciya, U1 MPK F26B 3/30. Sushil'naya ustanovka [Patent 228774 Russian Federation, U1 МПК F26B 3/30. Drying plant]. *Infrakrasnye Innovacionnye tehnologii*, 2024, 7 p.

11. Shelehov, I.Yu. Patent 2463748 Rossijskaya Federaciya, C1 MPK H05B. Sposob izgotovleniya tolstoplenochnogo rezistivnogo nagrevatelya [Patent 2463748 Russian Federation, C1 МПК H05B. Method for manufacturing a thick-film resistive heater]. *Termostat*, 2012, 7 p.

12. Shelehov, I.Yu. Patent 2713729 Rossijskaya Federaciya, C1 MPK H05B. Nagrevatel'nyj element širokogo spektra primeneniya [Patent 2713729 Russian Federation, C1 МПК H05B. Heating element with a wide range of applications]. 2020, 12 p.

13. Altuhov, I.V. et al. Razrabotka i ispytanie opytnogo obrazca ehnergosberegayushchej ustanovki dlya sushki ovoshchej, realizuyushchej biotekhnicheskie trebovaniya tehnologicheskix rezhimov i poluchenie produktov dlitel'nogo hraneniya [Development and testing of a prototype of an energy-saving vegetable drying unit that implements biotechnical requirements of technological modes and produces long-lasting products]. *Dzerzhinsk*, 2024, 121 p.

14. Rudobashta, S.P. et al. Teplomassoperenos pri nepreryvnoj infrakrasnoj sushke sfericheskogo tela [Heat and mass transfer during continuous infrared drying of a spherical body]. *Teoreticheskie osnovy himicheskoy tehnologii*, 2025, no. 4, pp. 6-13.

15. Schislenko, D.M., Bastron, A.V. Mobil'naya geliosushil'naya ustanovka dlya sushki plodov yagodnyh kul'tur [Mobile solar drying unit for drying berry fruits]. *Vestnik KrasGAU*, 2018, no. 6(141), pp. 131-135.

16. Filonenko, G.K. et al. Sushka pishchevyh rastitel'nyh materialov [Drying of food plant materials]. Moscow, 1971, 440 p.

17. Hudonogov, A.M. Obrabotka produktov koncentrirovannym ehlektroinfrakrasnym izlucheniem [Processing of products with concentrated electro-infrared radiation]. *Mehanizaciya i ehlektrofikaciya sel'skogo hozyajstva*, 1987, no. 9, pp. 55-56.

18. Hudonogov, A.M. Teoreticheskoe obosnovanie tehnologicheskogo ispol'zovaniya ehlektroinfrakrasnogo nagreva v processah obrabotki prodovol'stvennoj produkcii [Theoretical justification for the technological use of electro-infrared heating in food processing processes]. *Sibirskij vestnik sel'skohozyajstvennoj nauki*, 1986, no. 4, pp. 79-86.

19. Capalova, I.Eh. Ehkspertiza produktov pererabotki plodov i ovoshchej [Expertise of processed fruit and vegetable products]. *Novosibirsk*, 2003, 271 p.

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: 12.03.2026

Поступила после рецензирования и доработки / Received: 08.04.2026

Дата принятия к печати / Accepted: 09.04.2026

Сведения об авторах

Алтухов Игорь Вячеславович – доктор технических наук, доцент, заведующий научно-исследовательской лабораторией “Энергосбережение в электротехнологиях”. Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского.

Контактная информация: ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, 664038, Россия, Иркутская область, муниципальный район Иркутский, с.п. Молодежное, п. Молодежный, 1/1, тел. 89500505500, e-mail: altukhigor@yandex.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-4638-5842>.

Очиров Вадим Дансарунович – кандидат технических наук, заведующий кафедрой энергообеспечения и теплотехники энергетического факультета. Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского.

Контактная информация: ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, 664038, Россия, Иркутская область, муниципальный район Иркутский, с.п. Молодежное, п. Молодежный, 1/1, e-mail: ochirov@igsha.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9978-9691>.

Information about the authors:

Igor V. Altukhov – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the scientific research laboratory "Energy Saving in Electrical Technologies". Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky.

Contact information: FSBEI HE Irkutsk SAU, 664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk municipal district, Molodezhnoye village, Molodezhny, tel. 89500505500, e-mail: altukhigor@yandex.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-4638-5842>.

Vadim D. Ochirov – Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Energy Supply and Heat Engineering, Energy Faculty. Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky.

Contact information: FSBEI HE Irkutsk SAU, 664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk municipal district, Molodezhnoye village, Molodezhny, e-mail: ochirov@igsha.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9978-9691>.



DOI 10.51215/2411-6483-2026-58-18-26

УДК 620.92

Научная статья

УНИВЕРСАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ МАЛОЙ МОЩНОСТИ ДЛЯ УСЛОВИЙ СЕВЕРО-ВОСТОКА КНР

Д.Н. Карамов, Лю Ши

Иркутский национальный исследовательский технический университет,
Байкальский Институт БРИКС,
г. Иркутск, Россия

Аннотация. Потребители сельских распределительных сетей, особенно в удаленных и протяженных районах, часто сталкиваются с перебоями электроснабжения. Использование фотоэлектрических систем малой мощности позволяет повысить надежность энергоснабжения частных домохозяйств и ферм, снижая экономические риски. В статье представлена универсальная методика математического моделирования режимных параметров такой системы для условий северо-востока Китая. Подход базируется на концепции типичного метеорологического года, сформированного на основе многолетних данных (2006-2026 гг.) о суммарной солнечной радиации, температуре воздуха и скорости ветра, полученных с использованием геопортала ИДСТУ СО РАН. Модель учитывает влияние рабочих параметров (температуры панели и скорости ветра) на КПД фотоэлектрических преобразователей и итоговую выходную мощность. Предложенный алгоритм включает расчет рабочей температуры поверхности панели, уточненного КПД и активной мощности с учетом корреляционных коэффициентов и потерь на загрязнение. В численном примере для гипотетической станции мощностью 50 кВт в пригороде Шэньяна (провинция Ляонин) показано, что максимальная генерация достигается в весенне-летний период (до 45 кВт), годовая выработка составляет 68 тыс. кВт·ч, а коэффициент использования установленной мощности (КИУМ) – 15.5%. Результаты демонстрируют работоспособность методики и её применимость для оценки эффективности солнечных станций в условиях северо-востока КНР. Дальнейшие исследования авторы планируют посвятить анализу влияния таких станций на режимы работы сельских распределительных сетей.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, фотоэлектрические системы, солнечные панели, математическое моделирование, метеопараметры.

Для цитирования: Карамов Д.Н., Ши Лю Универсальная модель фотоэлектрической системы малой мощности для условий северо-востока КНР. *Электронный научно-практический журнал “Актуальные вопросы аграрной науки”*. 2026; 1(58):18-26. DOI 10.51215/2411-6483-2026-58-18-26.

UNIVERSAL MODEL OF A LOW-POWER PHOTOVOLTAIC SYSTEM FOR THE CONDITIONS OF NORTH-EAST CHINA

Dmitriy N. Karamov, Liu Shiyi

Irkutsk National Research Technical University, Baikal school of BRICS,
Irkutsk, Russia

Abstract. Consumers of rural distribution networks, especially in remote and extended areas, often experience power outages. The use of low-power photovoltaic systems can improve the reliability of power supply to private households and farms, reducing economic risks. This article presents a universal method for mathematical modeling of the operating parameters of such a system for northeastern China. The approach is based on the concept of a typical meteorological year, formed using long-term data (2006-2026) on total solar radiation, air temperature, and wind speed obtained using the ISU SB RAS geoportal. The model takes into account the influence of operating parameters (panel temperature and wind speed) on the efficiency of photovoltaic converters and the resulting output power. The proposed algorithm includes calculation of the operating temperature of the panel surface, adjusted efficiency, and active power, taking into account correlation coefficients and pollution losses. A numerical example for a hypothetical 50 kW power plant in the suburbs of Shenyang (Liaoning Province) shows that maximum generation is achieved in the spring and summer (up to 45 kW), with an annual output of 68,000 kWh and a capacity factor of 15.5%. The results demonstrate the feasibility of the method and its applicability for assessing the efficiency of solar power plants in northeastern China. The authors plan to devote further research to analyzing the impact of such plants on the operating modes of rural distribution networks.

Keywords: renewable energy sources, photovoltaic systems, solar panels, mathematical modeling, meteorological parameters.

For citation: Karamov D.N., Shiyi Liu. Universal model of a low-power photovoltaic system for the conditions of north-east China. *Electronic scientific-Practical journal “Actual issues of agrarian science”*. 2026; 1(58):18-26. DOI 10.51215/2411-6483-2026-58-18-26.

Введение. Потребители, расположенные в сельской местности, часто сталкиваются с перебоями электроснабжения из-за технических, природно-климатических, антропогенных и других причин. Особенно часто перебои в электроснабжении наблюдаются в сельских распределительных сетях, имеющих значительную протяженность по сравнению с городскими. Несмотря на то, что нормативные документы регламентируют время ремонта или замены повреждённого оборудования, практика показывает, что время устранения аварии может существенно варьироваться, особенно в случае труднодоступных и протяженных сельских электрических сетей. Перерыв в электроснабжении приводит не только к неудобствам и ухудшению качества жизни людей, но и к различным убыткам, особенно в случае небольших частных домохозяйств и ферм [3].

Опыт последнего десятилетия показал, что потребители электрической энергии могут быть активными участниками электроэнергетической

системы, особенно в вопросах повышения надежности электроснабжения. Использование небольших частных фотоэлектрических систем и аккумуляторных батарей позволяет не только повысить показатели надежности потребителя, но и значительно уменьшить вероятность возникновения экономического ущерба из-за аварий в электросетях.

Анализ эффективности применения небольших фотоэлектрических систем опирается на потенциальную выработку с учетом фактического актинометрического потенциала местности. Математическое моделирование режимных параметров фотоэлектрических преобразователей является основным инструментом для технико-экономической оценки солнечной электростанции.

Настоящая статья посвящена универсальному подходу к математическому моделированию фотоэлектрической системы малой мощности.

Цель работы – представить универсальный подход к расчету режимных параметров небольшой солнечной электростанции частного домохозяйства для метеорологических условий северо-востока КНР.

Материалы и обсуждение. Формирование условий к выбору математической модели солнечных элементов должно опираться на специфику решаемой задачи, где характер поставленной проблемы является основным фактором в выборе уровня детализации математической модели [4]. В данном случае задача включает в себя один из фундаментальных вопросов, связанных с развитием энергетических систем, так как возникает вопрос интеграции нового элемента генерации в уже существующую сеть. Принимая во внимание, что задачи развития не относятся к вопросам оперативного управления, то дискретный шаг расчета режимных параметров будет зависеть от детализации природно-климатических параметров, выступающих в качестве входной информации. В качестве режимных параметров солнечных панелей принимаются: активная мощность, рабочая температура и КПД. Данный набор параметров имеется в каждой технической документации солнечных панелей [2].

Подготовка климатических данных

При математическом моделировании объектов возобновляемой энергетики часто используется концепция типичного метеорологического года, который представляет собой искусственно созданный год, сформированный на базе многолетних метеорологических данных. Типичный метеорологический год является стандартной методикой при решении задач возобновляемой энергетики. Наибольшую популярность данный подход получил за рубежом в коммерческих программах, таких как PVscout, PV SOL и PVsyst для моделирования систем солнечного теплоснабжения и процессов кондиционирования воздуха в зданиях. Он описывает среднестатистическую обстановку на рассматриваемой локации и не позволяет увидеть экстремальные значения определенных ключевых

наборов метеоданных в зависимости от сезона, месяца и дня расчётного периода.

Этап формирования типичного метеорологического года выполняется на геопортале ИДСТУ СО РАН, который представляет собой веб-платформу, где отображается необходимая географическая информация посредством веб-сервисов. Его главная задача – это обеспечение пользователя средствами работы с геопространственными данными и их визуализацией. Приложение включает набор сервисов и их композиций, файловое хранилище для хранения промежуточных результатов и набор веб-парсеров данных, получаемых от внешних информационно-вычислительных систем. В текущей версии приложения поддерживается интеграция с внешними системами для получения архивов метеорологических данных [5].

В качестве примера (рисунок 1) показана характеристика суммарной солнечной радиации для условий северо-востока КНР (провинция Ляонин, г. Шэньян) за 20 лет расчетного периода с 2006 по 2026 год.

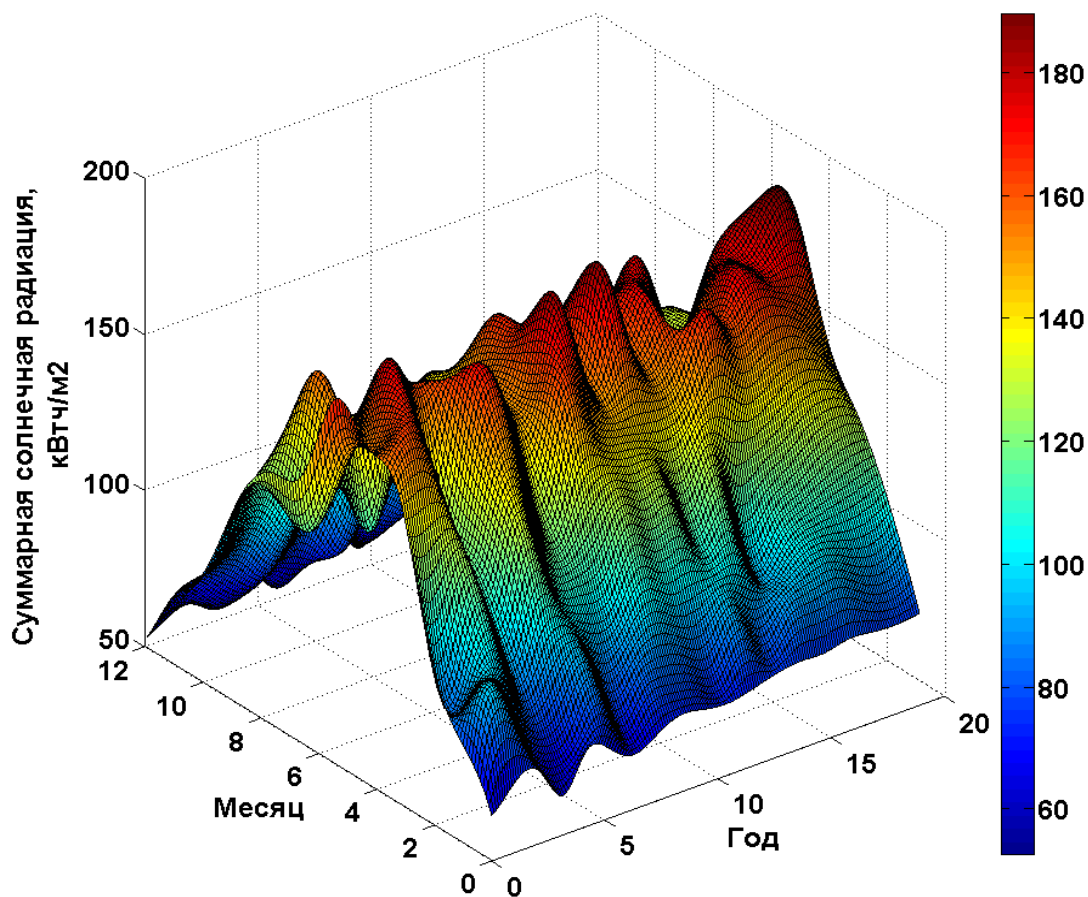


Рисунок 1 – Суммарная солнечная радиация за 20 лет расчетного периода для условий г. Шэньяна, КНР

Figure 1 – Total solar radiation for a 20-year calculation period for the conditions of Shenyang, China

Аналогичным образом подготавливаются метеоданные для температуры воздуха и скорости ветра. В дальнейшем полученные многолетние метеопараметры используются для создания массива данных типичного метеорологического года, который используется для моделирования солнечной электростанции малой мощности.

Расчет параметров фотоэлектрической системы

На первом этапе выполняется расчет рабочей температуры солнечных панелей в зависимости от температуры воздуха, скорости ветра и солнечной радиации. Учитывая, что задачи теплообмена являются сложными и требовательными к вычислительному процессу, то для упрощения используются корреляционные коэффициенты. Рабочая температура солнечной панели имеет непосредственное влияние на её эффективность, где жаркая погода и, как результат, высокая температура снижают КПД фотоэлектрической системы и совершенно противоположная картина в холодное время года. При определении КПД с учетом динамики температуры элементов появляется возможность определить выходную мощность фотоэлектрической системы.

Формулы, описывающие данный алгоритм, представлены в следующей последовательности [8].

Рабочая температура на поверхности, градусы Цельсия:

$$T_{\text{ФЭП}}(t) = T_B(t) + \frac{I_t^{\circ}(t)}{k_0 + (k_1 \cdot V_B(t))},$$

КПД солнечной панели с учетом рабочей температуры, о.е.:

$$\eta_{\text{ФЭП}}(t) = \bar{\eta}_{\text{ФЭП}} \cdot [1 - \beta \cdot (T_{\text{ФЭП}}(t) - 48)],$$

выходная мощность, Вт:

$$P_{\text{ФЭП}}(t) = I_t^{\circ}(t) \cdot \eta_{\text{ФЭП}}(t) \cdot A_{\text{ФЭП}} \cdot k_{\text{П}},$$

где в данных выражениях $T_B(t)$ - температура воздуха на поверхности рассматриваемой территории; $I_t^{\circ}(t)$ - суммарная солнечная радиация на наклонной поверхности солнечной панели, Вт/м²; k_0, k_1 - коэффициенты связи (30.02 и 6.28) [9]; $V_B(t)$ - скорость ветра на поверхности рассматриваемой территории, м/с. $\bar{\eta}_{\text{ФЭП}}$ - паспортное значение КПД фотоэлектрического преобразователя, о.е.; β - температурный коэффициент для КПД, о.е./°C; $A_{\text{ФЭП}}$ - площадь всей фотоэлектрической системы, м²; $k_{\text{П}}$ - коэффициент потерь из-за загрязнений (0.85-0.95), о.е.

Приведенный набор формул позволяет определить выходную мощность фотоэлектрической системы при условии, что установленная мощность инверторов равна мощности солнечной электростанции. Данное

ограничение практически всегда выполняется на практике. В таком случае вопросы, связанные с определением схемы соединения солнечных панелей, для каждого силового ввода инвертора можно не учитывать.

Численный пример

В качестве примера рассмотрим небольшую фотоэлектрическую станцию мощностью 50 кВт, условно расположенную на территории небольшой частной фермы в пригороде Шэньяна, КНР. Фотоэлектрическая система состоит из 125 панелей, где каждый элемент имеет 400 Вт установленной мощности, площадь - 1.95 м² и КПД - 19%. Суммарная установленная мощность и площадь составляют 50 кВт и 780 м².

Метеорологические данные для локации получены с помощью открытых сервисов и геопортала ИДСТУ СО РАН [6]. Моделирование выполнялось согласно представленным в статье формулам.

На рисунке 2 показана выходная мощность фотоэлектрической системы на протяжении года для метеорологических условий пригорода Шэньяна.

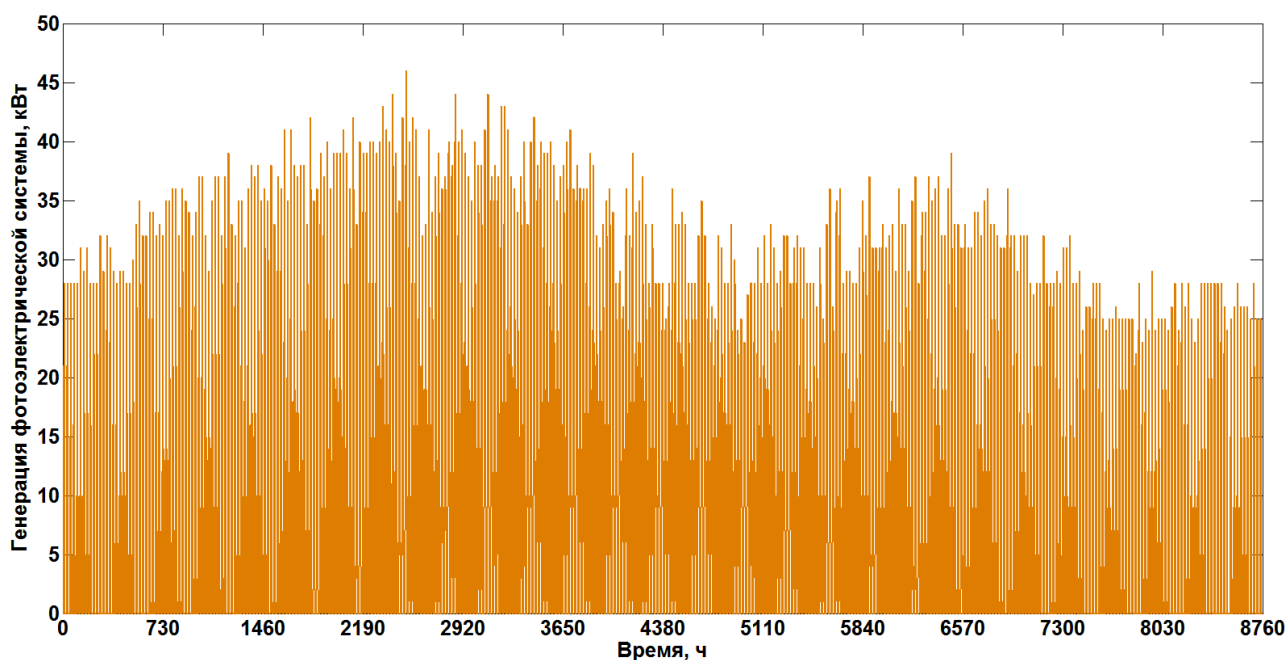


Рисунок 2 – Выходная мощность фотоэлектрической системы 50 кВт для метеоусловий пригорода Шэньяна, КНР

Figure 2 – Output power of the photovoltaic system is 50 kW for the weather conditions of the suburbs of Shenyang, China

Результаты показывают, что наибольшая генерация наблюдается в весенне-летний период, где достигается максимальное значение генерации фотоэлектрической системы - 45 кВт. Годовая генерация составляет 68 тысяч кВт·ч, а коэффициент использования установленной мощности (КИУМ) равен 15.5%. Реальные данные с нескольких солнечных

электростанций данного региона имеют в среднем КИУМ 15-16% по заявлениям китайской ассоциации электроэнергетики [10].

Выводы. В статье представлена универсальная методика моделирования фотоэлектрической системы малой мощности. Методика учитывает особенности реального оборудования, а также технические ограничения. Использование предлагаемой методики возможно для оценки выработки фотоэлектрической системы с учетом динамики солнечной радиации на рассматриваемой локации.

Предложенный подход может быть использован для решения задач надежности электроснабжения небольших ферм и домохозяйств, подключенных к сельским распределительным сетям [1, 7].

Дальнейшие исследования будут направлены на анализ влияния фотоэлектрических станций на основные элементы сельских распределительных сетей.

Список литературы

1. Губий, Е.В. Модели и методы анализа надежности энергоснабжения отдаленных населенных пунктов / Е.В. Губий, В.И. Зоркальцев // Управление большими системами: сборник трудов. – 2019. – № 78. – С. 221-234. – EDN NDBZKH.

2. Еделев, А.В. Моделирование автономной микросети / А.В. Еделев, Д.Н. Карамов, О.Ю. Башарина // Информационные и математические технологии в науке и управлении. – 2023. – № 3(31). – С. 74-85. – DOI 10.25729/ESI.2023.31.3.007. – EDN SYMVYS.

3. Наумов, И.В. Повреждаемость электрических сетей Российской Федерации: Аналитическая оценка (монография) / И.В. Наумов. – Москва: Колос-с, 2024. – 218 с. – ISBN 978-5-00129-455-9. – EDN YJXURR.

4. Обухов, С.Г. Имитационная модель режимов работы автономной фотоэлектрической станции с учетом реальных условий эксплуатации / С.Г. Обухов, И.А. Плотников // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2017. – Т. 328, № 6. – С. 38-51. – EDN ZCIDNX.

5. Феоктистов, А.Г. Разработка сервис-ориентированной среды моделирования природно-технических систем / А.Г. Феоктистов, М.Л. Воскобойников, И.В. Бычков, А.В. Еделев: матер. VII Междунар. семинара по информационным, вычислительным и управляющим системам для распределенных сред (ICCS-DE 2025), Иркутск, 07-11 июля 2025 года. – Иркутск: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН, 2025. – С. 141-145. – DOI 10.47350/ICCS-DE.2025.18.

6. Feoktistov, A. et al. Framework for Development and Execution of Scientific WorkFlows: Designing Service-Oriented Applications. – Programming and Computer Software, 2024, vol. 50, no. 8, pp. 900-913. – DOI 10.1134/S0361768824700828. – EDN HLBQRW.

7. Ivanyo, Ya.M., Polkovskaya M.N. Simulation of electrical network element failures and visualization of results. Power Technology and Engineering. – 2022, vol. 56, no. 1, pp. 146-151. – DOI 10.1007/s10749-023-01486-z. – EDN OYWYFY.

8. Karamov D.N. et al. Installed capacity optimization of autonomous photovoltaic systems under energy service contracting. – Energy Conversion and Management, 2021, vol. 240, pp. 114256. – DOI 10.1016/j.enconman.2021.114256. – EDN EOFJAY.

9. Karamov, D.N., Suslov, K.V. Structural optimization of autonomous photovoltaic systems with storage battery replacements. – Energy Reports, 2021, vol. 7, no. suppl. 1, pp. 349-358. – DOI 10.1016/j.egy.2021.01.059. – EDN KDAVAN.

10. 中国电力企业联合会.发电设备平均利用小时:太阳能光伏:辽宁.
URL: <https://www.ceicdata.com/ru/china/utilization-of-power-generating-equipment-solar-photovoltaic/cn-power-generating-equipment-utilization-solar-photovoltaic-liaoning> (дата обращения: 26.03.2026).

References

1. Gubij, E.V., Zorkal'cev, V.I. Modeli i metody analiza nadežnosti énergosnabženiâ otdalennyh naseleennyh punktov [Models and Methods for Reliability Analysis of Power Supply to Remote Settlements]. Upravlenie bol'simi sistemami, 2019, no. 78, pp. 221-234. – EDN NDBZKH.

2. Edelev, A.V. et all. Modelirovanie avtonomnoy mikroseti [Modeling of an Autonomous Microgrid]. Informatsionnye i matematicheskie tekhnologii v nauke i upravlenii, 2023, no. 3(31), pp. 74-85. – DOI 10.25729/ESI.2023.31.3.007. – EDN SYMVYS.

3. Naumov, I.V. Povrezhdaemost' elektricheskikh setey Rossiyskoy Federatsii: Analiticheskaya otsenka [Damageability of Electric Networks of the Russian Federation: Analytical Assessment]. Moscow: Kolos-s, 2024, 218 p. – ISBN 978-5-00129-455-9. – EDN YJXURR.

4. Obukhov, S.G., Plotnikov I.A. Imitatsionnaya model' rezhimov raboty avtonomnoy fotoelektricheskoy stantsii s uchetom real'nykh usloviy ekspluatatsii [Simulation Model of Operating Modes of an Autonomous Photovoltaic Plant Taking into Account Real Operating Conditions]. Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov, 2017, vol. 328, no. 6, pp. 38-51. – EDN ZCIDNX.

5. Feoktistov, A.G. et all. Razrabotka servis-orientirovannoy sredy modelirovaniya prirodno-tekhnicheskikh sistem [Development of a Service-Oriented Modeling Environment for Natural-Technical Systems]. Irkutsk, 2025, pp. 141-145. – DOI 10.47350/ICCS-DE.2025.18.

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: 12.03.2026

Поступила после рецензирования и доработки / Received: 26.03.2026

Дата принятия к печати / Accepted: 09.04.2026

Сведения об авторах

Карамов Дмитрий Николаевич – кандидат технических наук, доцент. Иркутский национальный исследовательский технический университет, Байкальский институт БРИКС.

Контактная информация: ФГБОУ ВО ИрНТУ, 664074, г. Иркутск, Россия, e-mail: dmitriy.karamov@mail.ru; ORCID ID: 0000-0001-5360-4826

Лю Шии – аспирант. Иркутский национальный исследовательский технический университет, Байкальский институт БРИКС.

Контактная информация: ФГБОУ ВО ИрНТУ, 664074, г. Иркутск, Россия, e-mail: 847550268@qq.com

Information about the authors

Dmitriy N. Karamov – Candidate of Technical Sciences (PhD), Associate Professor. Irkutsk National Research Technical University, Baikal School of BRICS.

Contact information: Irkutsk National Research Technical University, 664074, Irkutsk, Russia; e-mail: dmitriy.karamov@mail.ru; ORCID ID: 0000-0001-5360-4826

Liu Shiyi – Postgraduate Student. Irkutsk National Research Technical University, Baikal School of BRICS.

Contact information: Irkutsk National Research Technical University, 664074, Irkutsk, Russia; e-mail: 847550268@qq.com



DOI 10.51215/2411-6483-2026-58-27-39

УДК 621.311

Научная статья

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСИММЕТРИЧНЫХ РЕЖИМОВ ВО ВНУТРЕННЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ДОМОВЛАДЕНИЯ

И.В. Наумов, С.В. Подъячих, Д.А. Иванов

Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского
*п. Молодежный, с.п. Молодежное, муниципальный район Иркутский,
Иркутская область, Россия*

Аннотация. Целью статьи является выявление соответствия реальных показателей качества электрической энергии во внутренней электрической сети индивидуального домовладения. В статье представлены результаты экспериментальных исследований несбалансированных режимов функционирования внутренней низковольтной электрической сети напряжением 0.4 кВ индивидуального домовладения, расположенного в посёлке Молодёжный Иркутской области. Контроль исследуемых параметров электрической сети осуществлялся специальным сертифицированным измерителем “PQM-701” фирмы SONEL, осуществляющим фиксацию изменяющихся параметров в соответствии с требованиями ГОСТ 32144-2013. Анализ полученных диаграмм изменения исследуемых параметров производился с помощью программного продукта “Sonel Analysis 4”. В статье показаны, рассмотрены и проанализированы следующие зависимости: графики изменения токов в фазах сети и нулевом проводе; временные диаграммы изменения фазных напряжений и полных мощностей в фазах сети. Кроме того, представлена динамика изменения установленных показателей, характеризующих несимметрию трёхфазной системы напряжения электропитания. В соответствии с полученными результатами представлены рекомендации по повышению качества электрической энергии и снижению дополнительных потерь мощности в исследуемой электрической сети. Проведённые исследования наглядно подтверждают выводы, полученные в результате многолетних экспериментальных и теоретических исследований кафедры электроснабжения и электротехники ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, по объективности несимметрии напряжения электропитания в электрических сетях индивидуальных жилых домов с трехфазными вводами на сельских территориях Иркутской области. Полученные результаты могут представлять интерес для научных работников, занимающихся исследованиями в области качества электрической энергии. Направление дальнейших исследований связано с исследованием объединенных несимметрично-несинусоидальных режимов в низковольтных электрических сетях.

Ключевые слова: качество электрической энергии, электрические сети, несимметрия напряжений, электроснабжение индивидуального жилого дома.

Для цитирования: Наумов И.В., Подъячих С.В., Иванов Д.А. Исследование несимметричных режимов во внутренней электрической сети индивидуального домовладения. *Электронный научно-практический журнал “Актуальные вопросы аграрной науки”*. 2026; 1(58):27-39. DOI 10.51215/2411-6483-2026-58-27-39.

RESEARCH OF ASYMMETRICAL MODES IN THE INTERNAL ELECTRICAL NETWORK OF AN INDIVIDUAL HOUSEHOLD

Igor V. Naumov, Sergey V. Podyachikh, Dmitry A. Ivanov

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

Abstract. The purpose of this article is to determine the compliance of actual power quality indicators in the internal electrical network of an individual household. The article presents the results of experimental studies of unbalanced operating modes of the internal low-voltage 0.4 kV electrical network of an individual household located in the village of Molodezhny, Irkutsk Region. The studied electrical network parameters were monitored using a special certified meter “PQM-701” from SONEЛ, which records changing parameters in accordance with the requirements of GOST 32144-2013. The analysis of the obtained diagrams of changes in the studied parameters was performed using the software product “Sonel Analysis 4”. The article shows, considers and analyzes the following dependencies: graphs of changes in currents in the network phases and neutral wire; time diagrams of changes in phase voltages and apparent powers in the network phases. In addition, the dynamics of changes in the established indicators characterizing the asymmetry of the three-phase power supply system are presented. Based on the obtained results, recommendations are presented for improving the quality of electrical power and reducing additional power losses in the studied electrical network. The conducted studies clearly confirm the conclusions reached through many years of experimental and theoretical research by the Department of Power Supply and Electrical Engineering at Irkutsk State Agrarian University on the objectivity of power supply voltage asymmetry in the electrical networks of individual residential buildings with three-phase inputs in rural areas of the Irkutsk Region. The obtained results may be of interest to researchers conducting research in the field of electrical power quality. Further research is focused on the study of combined asymmetrical and non-sinusoidal modes in low-voltage electrical networks.

Keywords: electrical power quality, electrical networks, voltage asymmetry, electrical supply of an individual residential building.

For citation: Naumov I.V., Podyachikh S.V., Ivanov D.A. Research of asymmetrical modes in the internal electrical network of an individual household. *Electronic scientific-Practical journal “Actual issues of agrarian science”*. 2026; 1(58):27-39. DOI 10.51215/2411-6483-2026-58-27-39.

Актуальность. К электрической энергии, как к продукту, предъявляются высокие требования по качеству, регламентируемому стандартом ГОСТ 32144-2013 [3]. В условиях современного электроснабжения индивидуальных домовладений (ИД) на территории сельских поселений реализуется система трёхфазных вводов электропитания напряжением 0.4 кВ. При этом на стадии проектирования указанных систем электроснабжения специалистами-проектировщиками предпринимается попытка равномерного распределения нагрузок групп электроприемников (ЭП) по фазам сети внутри дома. Вместе с этим, разнообразность бытовых электроприемников по назначению и установленной мощности не позволяет системно осуществить такую равномерность, что изначально противоречит

принятым условиям равномерности электропотребления при проектировании. Дополнительно к неравномерности распределения (на стадии проектировании) электроприёмников по фазам электрической сети в ИД происходит наложение случайного характера коммутаций этих ЭП, что в результате усиливает обобщенную несимметрию электропитания, которая и создает объективную картину несимметричного электропотребления [12, 4].

Указанные факторы, связанные с существенным снижением качественных показателей ЭЭ, неоднократно публиковались в исследованиях [1, 2, 4, 13].

В связи с тем, что любая электрическая сеть уникальна своими характеристиками электропотребления, всегда имеет место необходимость в исследовании режимов работы этих сетей с целью выявления количественных показателей несимметрии напряжений и дополнительных потерь мощности, их анализа и разработке рекомендаций по нормализации этих показателей до установленных стандартом значений.

Кафедрой электроснабжения и электротехники ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ в течение более 30 лет проводятся исследования в области повышения качества электрической энергии в сельских распределительных сетях 0.4 кВ.

Целью предлагаемой статьи является выявление несоответствий значений показателей устанавливаемого Государственным стандартом с реальными значениями аналогичных показателей, имеющими место в исследуемой внутренней электрической сети индивидуального домовладения. Для достижения поставленной цели предлагается *ряд задач*, связанных с выбором объекта исследования, установкой средства измерения на действующем объекте электрических сетей и анализом полученных результатов. В качестве объекта исследования принят индивидуальный жилой дом, расположенный в посёлке Молодёжный Молодежного административного округа Иркутского муниципального округа Иркутской области. Группы ЭП, получающие питание во внутренней электрической сети ИД, представлены различными бытовыми приемниками электрической энергии установленной мощности от 50 до 7500 Вт. Основной электрической нагрузкой являются нагревательные приёмники электрической энергии: электрическая печь, водонагреватель, воздушные конвекторы отопления, электрическая сауна.

Как уже отмечалось, контроль состояния параметров электрической энергии (ЭЭ) производился сертифицированным измерительным комплексом “PQM-701”, осуществляющим фиксирование изменяющихся величин в соответствии с требованиями стандарта [2]. Общий вид измерительного прибора “PQM-701” представлен на рисунке 1. В перечне регистрируемых данным прибором параметров качества присутствуют: фазные и междуфазные напряжения электропитания, фазные токи, активная и реактивная мощности, фазовые углы между напряжениями и токами;

параметры гармоник до 50-ой (коэффициенты ТНД, амплитудные значения); коэффициенты несимметрии и несинусоидальности напряжения.

Производство измерений осуществлялось с 18:09 22 октября 2024 года до 19:06 29 октября 2024 года с дискретностью измерений 10 минут, что позволило качественно и в полном объеме оценить работу системы электроснабжения ИД по измеряемым параметрам в течение недели, в том числе и в выходные дни, когда все члены семьи находились дома.



Рисунок 1 – Общий вид измерительного прибора “PQM-701”

Figure 1 – General view of the measuring instrument "PQM-701"

Результаты исследования. На рисунках 2-5 приведены зависимости токов, напряжений, мощностей и коэффициентов несимметрии напряжений, полученные при помощи программы для настройки и анализа данных регистрации параметров электрической сети и качества электрической энергии Sonel Analysis 4 (версия 4.7.1).

На рисунке 2 представлена динамика изменения токов (I , А) в фазах сети и нулевом проводе. Анализ приведённых зависимостей показывает, что наиболее загруженной фазой сети является фаза “В”. Максимальные значения токов в фазах сети составляют: в фазе “А” $I_A = 17.73$ А; в фазе “Б” $I_B = 30.14$ А; в фазе “С” $I_C = 25.62$ А. Средние значения токов в фазах сети: “А” – 4.79 А; “В” – 17.01 А; “С” – 16.03 А. Фаза “А” является наименее загруженной, относительно фаз “В” и “С”, следовательно, часть нагрузки необходимо перераспределить. Это позволит снизить значение тока в нулевом проводе (среднее значение за период измерений составляет $I_N = 12.15$ А) и приведёт к снижению дополнительных потерь мощности в системе электроснабжения ИД. Как видно, в данном случае, при

проектировании системы электроснабжения ИД, распределение мощности по фазам сети реализовано неравномерно.

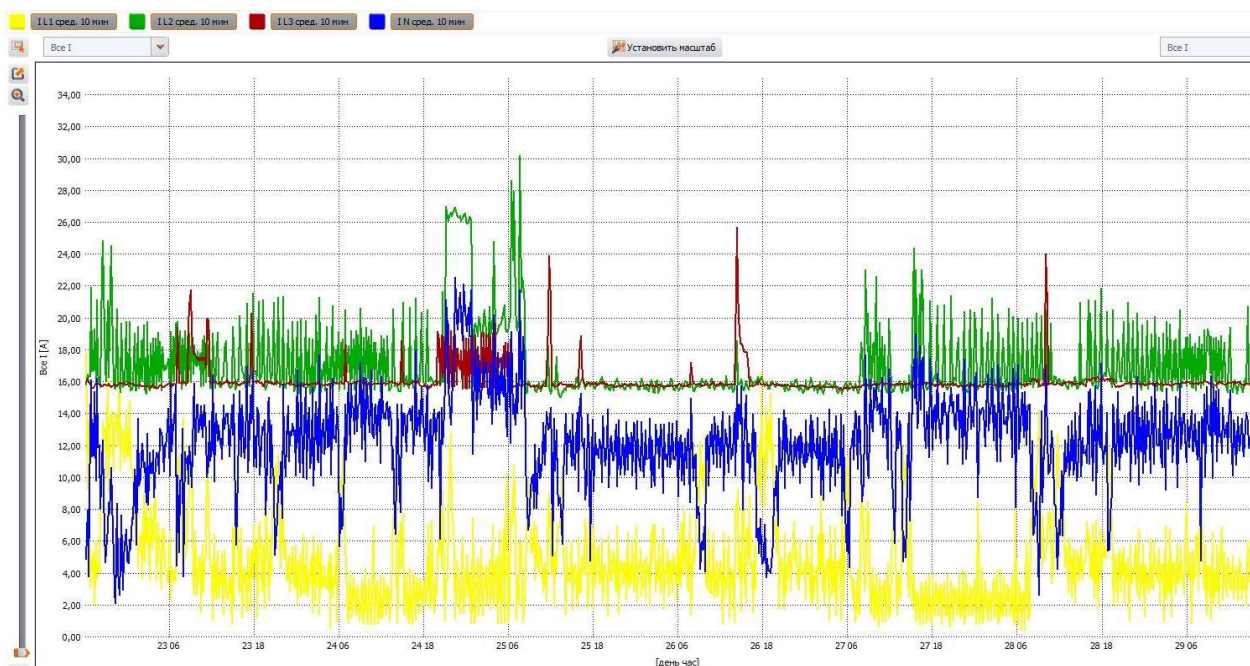


Рисунок 2 – Графики изменения токов в фазах сети и нулевом проводе
(IL1 – ток в фазе “А”, IL1 - ток в фазе “В”, IL1 – ток в фазе “С”,
IN – ток в нулевом проводе)

Figure 2 – Graphs of current changes in the phases of the network and the zero wire
(IL1 – current in phase "A", IL1 - current in phase "B", IL1 – current in phase "C",
IN – current in the zero wire)

Равномерное распределение нагрузки по фазам электрической сети при проектировании системы электроснабжения ИД не всегда возможно вследствие ограничения количества отходящих линий во вводном распределительном устройстве электроустановки дома и большого количества различных по мощности бытовых электроприёмников.

На рисунке 3 представлены графики зависимостей фазных напряжений (U , В). Средние значения фазных напряжений за весь период измерения составили соответственно в фазе “А” – $U_A = 242.95$ В, в фазе “В” – $U_B = 232.07$ В и в фазе “С” – $U_C = 233.24$ В. Анализ приведенных зависимостей подтверждает вывод, полученный по графикам изменения токов в фазах сети: фаза “А” низковольтной электрической сети жилого дома наименее загружена и существует возможность перераспределения нагрузки с фаз “В” и “С” на фазу “А” в вводном распределительном устройстве.

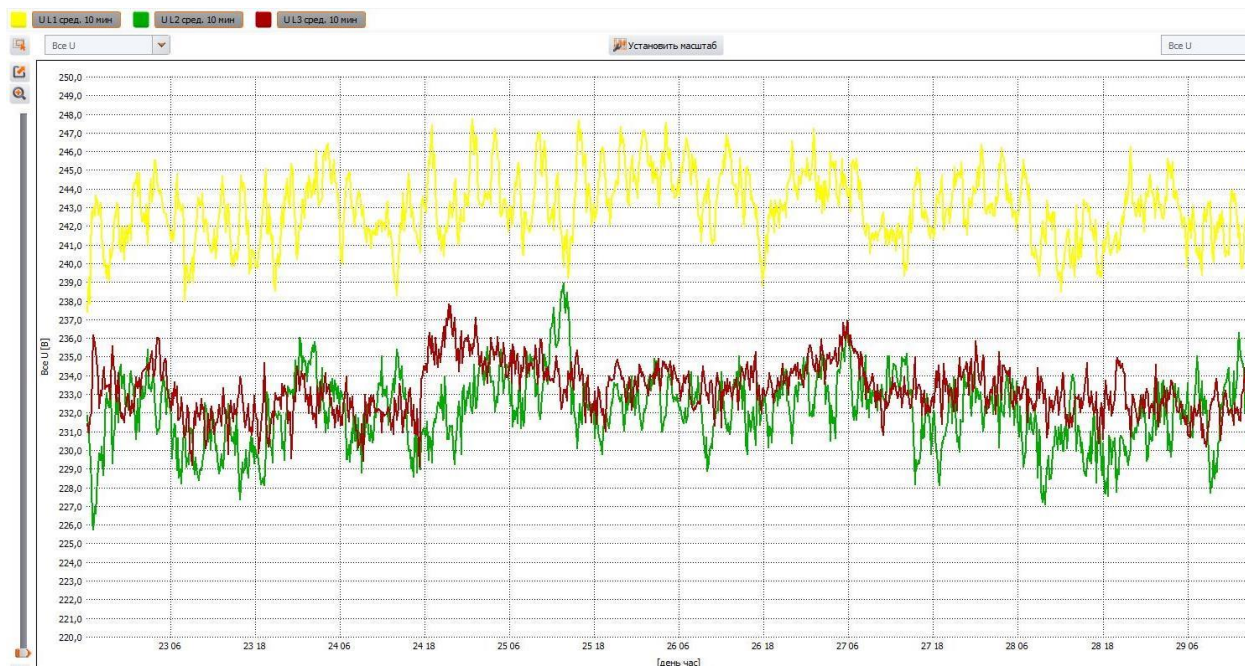


Рисунок 3 – Графики изменения токов фазных напряжений (UL1 – напряжение в фазе “А”, UL2 - напряжение в фазе “В”, UL3– напряжение в фазе “С”)

Figure 3 – Graphs of changes in phase voltage currents (UL1 – voltage in phase "A", UL2 - voltage in phase "B", UL3– voltage in phase "C")

Анализ временных диаграмм изменения полных мощностей (S , кВА) в трёхфазной системе (рис. 4) показывает, что средние значения мощности составляют: в фазе “А” $S_A = 1.04$ кВА; в фазе “Б” $S_B = 3.91$ кВА; в фазе “С” $S_C = 3.74$ кВА. Максимальные значения полной мощности: $S_A = 4.09$ кВА; $S_B = 6.85$ кВА; $S_C = 5.79$ кВА. Разница по мощности в фазах значительная, что приводит к прохождению разного тока в фазах электрической сети и появлению тока в нулевом проводе (среднее значение $I_N = 12.15$ А). Это в свою очередь вызывает появление несимметрии напряжения и снижения качества электрической энергии. Медианные значения мощностей в фазах “В” и “С” на 73% превышают мощность в фазе “А”. Максимальные мощности также “показывают” значительное неравномерное распределение нагрузки по фазам сети в индивидуальном жилом доме: в фазах “В” и “С” на 35% максимальные значения больше мощности в фазе “А”.

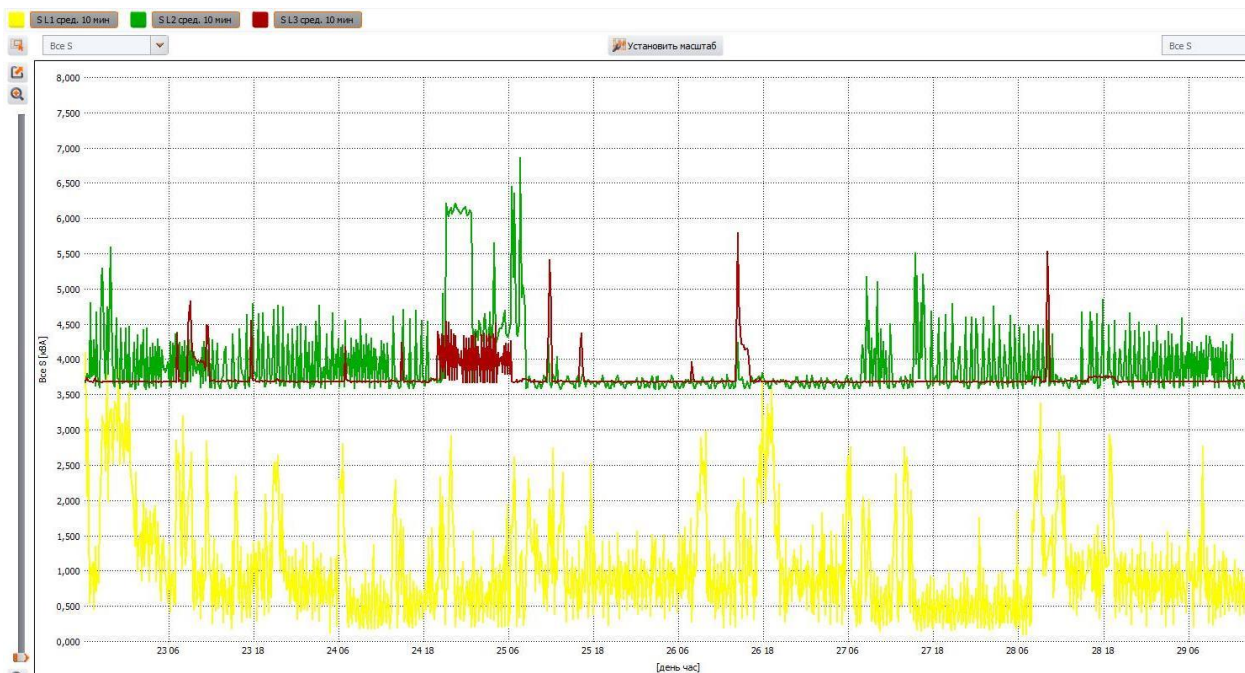


Рисунок 4– Графики изменения полных мощностей в фазах сети
(SL1 – мощность в фазе “А”, SL2 - мощность в фазе “В”,
SL3– мощность в фазе “С”)

Figure 4 – Graphs of changes in total capacity in the phases of the network
(SL1 – power in phase “A”, SL2 - power in phase “B”,
SL3– power in phase “C”)

Для устранения представленного дисбаланса токов и напряжений необходимо перераспределить мощность по фазам электрической сети: с наиболее загруженных фаз “В” и “С” перенести часть нагрузки на наименее загруженную фазу “А”. С фазы “В” перенести нагрузку на фазу “А” мощностью 1000 Вт, с фазы “С” перенести нагрузку на фазу “А” мощностью 750 Вт. Это позволит выровнять средние значения мощности по фазам сети.

Динамика изменения показателей качества ЭЭ, характеризующих степень несимметрии напряжений в трехфазной системе, которыми являются коэффициенты несимметрии напряжений по нулевой (K_{0U}) и обратной последовательностям (K_{2U}), в соответствии с [3] представлена на рисунке 5.

В соответствии со стандартом [2] значения K_{0U} и K_{2U} в точке передачи электрической энергии, усредненные в интервале времени 10 мин, не должны превышать 2% в течение 95% времени интервала в одну неделю и не должны превышать 4% в течение 100% времени интервала в одну неделю. Средние значения коэффициентов несимметрии напряжений по нулевой и обратной последовательностям за рассматриваемый промежуток времени составили 2.37% и 0.77% соответственно. Максимальное пиковое значение K_{0U} зафиксировано и составило 3.95%. Значение K_{2U} за весь период наблюдений находится в допустимых пределах и не превышает 2%. Для

снижения коэффициента несимметрии напряжения по нулевой последовательности предлагается перераспределить нагрузку по фазам сети. Если распределение нагрузки не позволит привести показатели несимметрии в нормативные пределы, то необходимо применять новейшие методы расчета несбалансированных режимов [1, 4, 12], основанные на использовании новейших достижений теории электрических сетей и цифровой техники. Кроме того, авторским коллективом кафедры Электроснабжения в течении ряда лет производится работ по созданию специальных технических средств, минимизирующих воздействие искажающей эмиссии дополнительных прямой, обратной и нулевой последовательностей [4, 5, 8, 10].

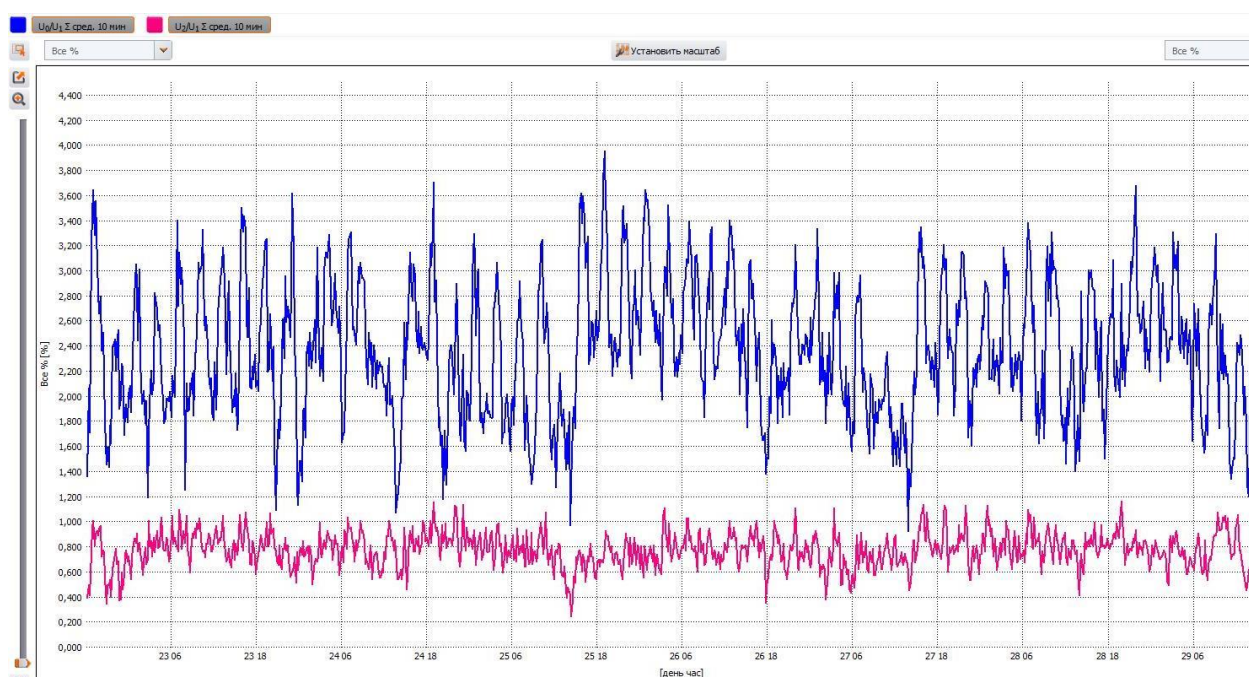


Рисунок 5 – Графики изменения коэффициентов несимметрии напряжений по нулевой и обратной последовательностям

Figure 5 – Graphs of changes in the stress asymmetry coefficients in the zero and reverse sequences

Проведённые исследования показателей несимметрии напряжений и анализ полученных зависимостей показывают объективное состояние системы электроснабжения индивидуального жилого дома, расположенного в посёлке Молодёжный Молодежного административного округа Иркутского муниципального округа Иркутской области.

Таким образом, на основе проведенных экспериментальных исследований и анализа полученных результатов можно сформулировать следующие **выводы**.

1. Трёхфазный ввод электропитания в ИД не гарантирует равномерное распределение нагрузки по фазам и работу системы электроснабжения в

симметричном режиме, т.к. большое разнообразие бытовых приёмников электрической энергии по назначению и по мощности не позволяет равномерно распределить их по фазам сети даже на стадии проектирования.

2. Экспериментальные исследования несимметрии напряжений в электрической сети на вводе в исследуемом объекте показало наличие неравномерного распределения электроприемников по фазам электрической сети – медианные значения мощностей в фазах “В” и “С” на 73% превышают мощность в фазе “А”, что вызывает появление тока в нулевом проводе – среднее значение за период измерений составило 12.15 А.

3. Для выравнивания распределения нагрузки по фазам сети системы электроснабжения рекомендуется реализовать переподключение электроприемников во вводном распределительном устройстве жилого дома – с наиболее загруженных фаз “В” и “С” перенести часть нагрузки на наименее загруженную фазу “А”. С фазы “В” перенести нагрузку на фазу “А” мощностью 1000 Вт, с фазы “С” перенести нагрузку на фазу “А” мощностью 750 Вт. Это позволит выровнять средние значения мощности по фазам сети.

4. Распределение нагрузки во вводном распределительном устройстве жилого дома не позволяет системе электроснабжения дома работать в симметричном режиме из-за случайного характера коммутаций электроприемников. Поэтому рекомендуется дополнительно применять специальные симметрирующие устройства.

Результаты исследований, изложенные в данной статье, наглядно подтверждают итог многолетних экспериментальных и теоретических исследований кафедры электроснабжения и электротехники ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ – объективное наличие несимметрии напряжений в электрических сетях индивидуальных жилых домов с трехфазными вводами на сельских территориях Иркутской области.

Дальнейшие разработки новых методов, программных средств реализации разработанных алгоритмов по минимизации последствий несбалансированных режимов будут возможны с использованием технологий, описанных в [6, 7, 9, 11].

Соответственно, для дальнейшей нормализации показателей качества электрической энергии по несимметрии напряжений (в дополнение к “ручному” перераспределению нагрузки, позволяющей снизить показатели несимметрии на 30%), необходимо применять специальные симметрирующие устройства (позволяют снизить показатели несимметрии до 90%). Данные устройства индивидуально рассчитываются и изготавливаются под конкретный индивидуальный жилой дом (в зависимости от конфигурации электрической сети дома, “набора” бытовых электроприемников и режима их работы).

В 2026 году кафедрой будут осуществлены работы по созданию действующего экспериментального образца симметрирующего устройства и

предложен ряд других устройств, которые можно использовать для минимизации последствий несбалансированных режимов работы в системах электроснабжения индивидуальных жилых домов в сельской местности.

Список литературы

1. Бошняга, В.А. Исследование несимметрий, возникающих в распределительной линии 0.4 кВ при различных схемах соединения обмоток питающего трансформатора и подключении однофазного источника возобновляемой энергии / В.А. Бошняга, В.М. Суслов // Проблемы региональной энергетики. – 2025. – № 3(67). – С. 65-75. – DOI 10.52254/1857-0070.2025.3-67.06. – EDN ENQUNO.
2. ГОСТ 30804.4.30-2013 (IEC 61000-4-30:2008). Методы измерений показателей качества электрической энергии. Межгосударственный стандарт. – Текст: электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <http://www.spesemc.ru/upload/files/gost/gost-30804.4.30-2013.pdf> (дата обращения: 12.12.2025).
3. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения: межгос. стандарт: дата введения 2014-07-01. – Текст: электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200104301> (дата обращения: 12.12.2025).
4. Наумов, И.В. Устройство для снижения потерь в электрических сетях с нелинейно-несимметричной нагрузкой / И.В. Наумов // Электричество. – 2023. – № 6. – С. 57-66.
5. Наумов, И.В. Исследование потерь электрической энергии в сети 0,4 кВ / И.В. Наумов, С.В. Подъячих, Д.А. Иванов // Вестник ИрГСХА. – 2017. – №81/2. – С. 70-77.
6. Наумов, И.В. Метод и программа расчёта потерь мощности и показателей несимметрии токов и напряжений в распределительной сети 0.4 кВ с симметрирующим устройством / И.В. Наумов. – Текст: непосредственный // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1989. – С. 22-30.
7. Наумов, И.В. Сравнительный анализ методов вычисления показателей несимметрии в трёхфазных системах электроснабжения / И.В. Наумов, Э.С. Федоринова, М.А. Якупова. – Текст: электронный // Актуальные вопросы инженерно-технического и технологического обеспечения АПК: матер. XI нац. научно-практ. конф. с междунар. участием "Чтения И.П. Терских", посвящ. 90-летию ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ и 85-летию д.т.н., проф. А.М. Худоногова, 3-4 октября 2024 г. – Молодежный, 2024. – С. 306-313 // Электронная библиотека ИрГАУ. – URL: http://195.206.39.221/fulltext/i_033867.pdf (дата обращения: 14.12.2025).
8. Оморов, Т.Т. Симметрирование распределенной электрической сети методом цифрового регулирования / Т.Т. Оморов // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2018. – Т. 19, № 3. – С. 194-200. – DOI 10.17587/mau.19.194-200. – EDN VYYNYL.
9. Оморов, Т.Т. Управление потерями электроэнергии в распределительных сетях в составе автоматизированных систем контроля и учета электроэнергии / Т.Т. Оморов, Б.К. Тақырбашев, Т.Д. Койбагаров // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2021. – Т. 22, № 4. – С. 191-199. – DOI 10.17587/mau.22.191-199. – EDN ZXVPLP.
10. Эльхоли, А. М. Влияние параметров линии электропередачи и её нагрузки на потери и качество электроэнергии в точке подключения нагрузки / А.М. Эльхоли, Д.И. Панфилов, М.Г. Асташев // Электротехника. – 2023. – № 6. – С. 29-37. – DOI 10.53891/00135860_2023_6_29. – EDN TEVPLI.

11. Calculation of balancing and filter compensating devices of the power supply system / A. S. Lukovenko, V. V. Kukartsev, V. S. Tynchenko [et al.] // Journal of Physics: Conference Series : International Scientific Conference "Conference on Applied Physics, Information Technologies and Engineering - APITECH-2019", Krasnoyarsk, 25-27 сентября 2019 года / Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations; Polytechnical Institute of Siberian Federal University. Vol. 1399. – Krasnoyarsk: Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2019. – P. 55086. – DOI 10.1088/1742-6596/1399/5/055086. – EDN TZDLTU.

12. Evaluation of the Operating Modes of the Urban Electric Networks in Dushanbe City, Tajikistan / S. Sh. Tavarov, I. Zicmane, S. Beryozkina [et al.] // Inventions. – 2022. – Vol. 7, No. 4. – P. 107. – DOI 10.3390/inventions7040107. – EDN MRLXFO.

13. Maksimov, S. The means of losses reduction and electric lines operation reliability increase / S. Maksimov, S. Trofimova, A. Maksimova // 2016 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2016 – Proceedings, Chelyabinsk, 19–20 мая 2016 года. – Chelyabinsk: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2016. – P. 7911447. – DOI 10.1109/ICIEAM.2016.7911447. – EDN PRMBCH.

Referense

1. Boshnyaga, V.A. Issledovaniye nesimmetriy. vznikayushchikh v raspredelitelnoy linii 0.4 kV pri razlichnykh skhemakh soyedineniya obmotok pitayushchego transformatora i podklyuchenii odnofaznogo istochnika vozobnovlyayemoy energii [Investigation of asymmetries occurring in a 0.4 kV distribution line with various schemes for connecting the windings of a supply transformer and connecting a single-phase renewable energy source]. Problemy regional'noj ehnergetiki, 2025, no. 3(67), pp. 65-75. DOI 10.52254/1857-0070.2025.3-67.06. – EDN ENQUNO.

2. GOST 30804.4.30-2013 (IEC 61000-4-30:2008). Metody izmereniy pokazateley kachestva elektricheskoy energii. Mezhhgosudarstvennyy standart. – Tekst: elektronnyy // Elektronnyy fond pravovykh i normativno-tekhnicheskikh dokumentov [Methods of measuring the quality of electrical energy. Interstate standard]. URL: <http://www.specemc.ru/upload/files/gost/gost-30804.4.30-2013.pdf> (date of request: 12.12.2025).

3. GOST 32144-2013. Elektricheskaya energiya. Sovmestimost tekhnicheskikh sredstv elektromagnitnaya. Normy kachestva elektricheskoy energii v sistemakh elektrosnabzheniya obshchego naznacheniya: mezhhgos. standart: data vvedeniya 2014-07-01 [Electrical energy. Electromagnetic compatibility of technical means. Standards for the quality of electrical energy in general-purpose power supply systems: inter-state standard: date of introduction 2014-07-01]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200104301> (date of request: 12.12.2025).

4. Naumov, I.V. Ustroystvo dlya snizheniya poter v elektricheskikh setyakh s nelineyny-nesimmetrichnoy nagruzkoy. [A device for reducing losses in electrical networks with a non-linearly asymmetric load]. Elektrichestvo, 2023, no. 6, pp. 57-66.

5. Naumov, I.V. et all. Issledovaniye poter elektricheskoy energii v seti 0.4 kV [Investigation of electrical energy losses in a 0.4 kV network]. Vestnik IrGSHA, 2017, no. 81/2, pp. 70-77.

6. Naumov, I.V. Metod i programma rascheta poter moshchnosti i pokazateley nesimmetrii tokov i napryazheniy v raspredelitelnoy seti 0.4 kV s simmetriruyushchim ustroystvom [Method and program for calculating power losses and current and voltage asymmetry indicators in a 0.4 kV distribution network with a symmetrical device]. Mehanizatsiya i ehlektrifikatsiya socialisticheskogo sel'skogo hozyajstva, 1989, pp. 22-30.

7. Naumov, I.V. et all. Sravnitelnyy analiz metodov vychisleniya pokazateley nesimmetrii v trekhfaznykh sistemakh elektrosnabzheniya [Comparative analysis of methods for

calculating asymmetry indicators in three-phase power supply systems]. Molodezhny, 2024, pp. 306-313. URL: http://195.206.39.221/fulltext/i_033867.pdf (date of request: 14.12.2025).

8. Omorov, T.T. Simmetrirovaniye raspredelennoy elektricheskoy seti metodom tsifrovogo regulirovaniya [Symmetrization of a distributed electrical network by digital regulation]. Mehatronika, avtomatizatsiya, upravlenie, 2018, vol. 19, no. 3, pp. 194-200. DOI 10.17587/mau.19.194-200. – EDN VYYNYL.

9. Omorov, T.T. et all. Upravleniye poteryami elektroenergii v raspredelitelnykh setyakh v sostave avtomatizirovannykh sistem kontrolya i ucheta elektroenergii [Management of electricity losses in distribution networks as part of automated systems for monitoring and metering electricity]. Mehatronika, avtomatizatsiya, upravlenie, 2021, vol. 22, no. 4, pp. 191-199. DOI 10.17587/mau.22.191-199. – EDN ZXBPLP.

10. Elkholi, A.M. et all. Vliyaniye parametrov linii elektropredachi i eye nagruzki na poteri i kachestvo elektroenergii v tochke podklyucheniya nagruzki [The influence of the parameters of the power transmission line and its load on the loss and quality of electricity at the point of connection of the load]. Ehlektrotehnika, 2023, no. 6, pp. 29-37. DOI 10.53891/00135860_2023_6_29. – EDN TEVPLI.

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: 16.12.2025

Поступила после рецензирования и доработки / Received: 27.03.2026

Дата принятия к печати / Accepted: 09.04.2026

Сведения об авторе

Наумов Игорь Владимирович – доктор технических наук, профессор кафедры электроснабжения и электротехники энергетического факультета. Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского.

Контактная информация: ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, 664038, Россия, Иркутская область, муниципальный район Иркутский, с.п. Молодежное, п. Молодежный, 1/1, тел. 89246088990, e-mail: professornaumov@list.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-4767-0127>.

Подъячих Сергей Валерьевич – кандидат технических наук, заведующий кафедрой электроснабжения и электротехники энергетического факультета. Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского.

Контактная информация: ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, 664038, Россия, Иркутская область, муниципальный район Иркутский, с.п. Молодежное, п. Молодежный, 1/1, тел. 89021761226, e-mail: psv78@yandex.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-7031-0704>.

Иванов Дмитрий Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры электроснабжения и электротехники энергетического факультета. Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского.

Контактная информация: ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, 664038, Россия, Иркутская область, муниципальный район Иркутский, с.п. Молодежное, п. Молодежный, 1/1, тел.

89021776910, e-mail: ivanov-irk@yandex.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-9777-3779>.

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.

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

Sergey V. Podyachikh – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Power Supply and Electrical Engineering. Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky.

Contact information: FSBEI HE Irkutsk SAU, 664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk municipal district, Molodezhnoye village, Molodezhny, tel. 89021761226, e-mail: psv78@yandex.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-7031-0704>.

Dmitry A. Ivanov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Power Supply and Electrical Engineering. Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky.

Contact information: FSBEI HE Irkutsk SAU, 664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk municipal district, Molodezhnoye village, Molodezhny, tel. 89021776910, e-mail: ivanov-irk@yandex.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-9777-3779>.



DOI 10.51215/2411-6483-2026-58-40-50

УДК 621.313

Научная статья

К ВОПРОСУ РАБОТЫ АКТИВНОГО ФИЛЬТРА В РАМКАХ ТЕОРИИ МГНОВЕННОЙ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

О.Н. Шпак

Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского
*п. Молодежный, с.п. Молодежное, муниципальный район Иркутский,
Иркутская область, Россия*

Аннотация. Существенные по величине помехи в низковольтных электрических сетях возникают из-за потока неактивной энергии, циркулирующего между источником и нагрузкой, вызванного действием на участках электрической сети составляющих гармоник тока и напряжения, отличных от основной гармоники. Следовательно, основные положения теории мгновенных составляющих мощности в многофазных системах в несинусоидальных режимах работы должны быть адаптированы к новым условиям их функционирования. С учетом большого количества гармоник, связанных с составляющими мгновенной мощности, результирующий фазный ток должен быть компенсирован реактивным элементом, обладающим одинаковой чувствительностью ко всем частотам напряжения, и максимально снижать суммарные потери энергии на участках электрической цепи. Для небольшого числа гармоник процесс компенсации может быть легко реализован аппаратными средствами (комбинацией пассивных реактивных элементов). Однако при наличии большого количества гармоник нелегко получить компенсирующие устройства с одинаковым сопротивлением для всего спектра гармоник, возникающих в процессе работы нелинейной нагрузки. Здесь потребуется компенсация с помощью активных фильтров. Использование понятий мгновенной реальной мощности и мгновенной воображаемой мощности для анализа работы многофазных систем при нелинейной нагрузке позволяет получить составляющие компенсируемого тока в двух ортогональных базисах. При этом каждая составляющая физически связана с элементами различной мгновенной мощности. В рамках предложенной теории возможен расчет определенных компонентов тока/мощности в многофазной цепи, а также выбор вариантов схемных решений для мгновенной компенсации реактивной мощности с помощью активного фильтра без элементов накопления энергии. Моделирование практического случая показывает результаты, подтверждающие предложенную теорию.

Ключевые слова: теория, реактивная мощность, нелинейная нагрузка, активный фильтр.

Для цитирования: Шпак О.Н. К вопросу работы активного фильтра в рамках теории мгновенной реактивной мощности. *Электронный научно-практический журнал “Актуальные вопросы аграрной науки”*. 2026; 1(58):40-50. DOI: 10.51215/2411-6483-2026-58-40-50.

TO THE QUESTION OF OPERATION OF AN ACTIVE FILTER WITHIN THE FRAMEWORK OF THE THEORY OF INSTANTANEOUS REACTIVE POWER

Oksana N. Shpak

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

Abstract. Significant interference in low-voltage electrical networks arises from the flow of inactive energy circulating between the source and load, caused by the action of harmonic current and voltage components different from the fundamental in sections of the electrical network. Consequently, the fundamental principles of the theory of instantaneous power components in multiphase systems operating in non-sinusoidal modes must be adapted to these new operating conditions. Given the large number of harmonics associated with instantaneous power components, the resulting phase current must be compensated by a reactive element with equal sensitivity to all voltage frequencies, minimizing the total energy losses in the electrical circuit sections. For a small number of harmonics, the compensation process can be easily implemented in hardware (a combination of passive reactive elements). However, with a large number of harmonics, it is difficult to obtain compensating devices with the same impedance for the entire spectrum of harmonics arising during the operation of a nonlinear load. In this case, compensation using active filters is required. Using the concepts of instantaneous real power and instantaneous imaginary power to analyze the operation of multiphase systems under nonlinear loads allows us to obtain the components of the compensated current in two orthogonal bases. Each component is physically associated with elements of different instantaneous power. Within the framework of the proposed theory, it is possible to calculate specific current/power components in a multiphase circuit, as well as select circuit solutions for instantaneous reactive power compensation using an active filter without energy storage elements. A practical case simulation shows results that support the proposed theory.

Keywords: theory, reactive power, nonlinear load, active filter

For citation: Shpak O.N. To the question of operation of an active filter within the framework of the theory of instantaneous reactive power. *Electronic scientific-Practical journal “Actual issues of agrarian science”*. 2026; 1(58):40-50. DOI: 10.51215/2411-6483-2026-58-40-50.

Введение. Классические определения понятий электрических мощностей (активная, реактивная и кажущаяся), вводимых в теорию однофазных цепей синусоидального тока и напряжения с сосредоточенными параметрами относительно единственной основной гармоники, не могут быть использованы для электрической системы, в которой действуют периодические несинусоидальные электрические величины (токи и напряжения) [9]. Как и для случая синусоидальных цепей, уравнения электрического равновесия систем с несинусоидальными электрическими величинами синтезируются для выбранной гармоники с помощью правил топологии, которые адаптированы к соответствующим уравнениям электрического равновесия на основании законов Кирхгоффа [1]. Таким образом, в пределе для исследуемой электрической системы может быть составлена система линейных интегро-дифференциальных уравнений

электрического равновесия для каждой гармоники из принятого ряда, соответствующего номеру конкретной гармоники [4]. Учитывая, что большинство современных электрических систем являются нелинейными относительно входящих в них нагрузок, то и результирующие уравнения электрического равновесия для таких систем, также будут нелинейными высокого порядка. При этом для каждой гармоники можно определить реакцию системы от ее воздействия [5]. Множество реакций позволяет определить результирующую реакцию в узле нагрузки. Если ставится задача компенсации указанных реакций, то очевидно, что необходимо использовать математический аппарат, который позволяет синтезировать управляющее воздействие на соответствующее исполнительное устройство компенсации, не в виде набора скалярных воздействий, а в виде некоторого пространственного вектора [10].

В качестве устройства компенсации, которое в процессе своего функционирования не резонирует с электрической системой и работает независимо от частотных характеристик полного сопротивления в локальных узлах нагрузки, как правило, выбирают активные фирмы [2]. Что касается пространственного вектора, то от его формализации с точки зрения принадлежности к электрической величине (току) или энергетической (мощности) зависит методика его определения [3]. Если исходить из понятия многофазной электрической цепи, как совокупности нескольких электрических устройств, в которых действуют э.д.с., напряжения и токи одной и той же частоты, то базовой характеристикой такой цепи является количество самих цепей, называемых фазами.

В большинстве практических случаев, исследуемая электрически связанная система содержит три фазы. Тогда пространственный вектор определится в трехмерном ортогональном базисе, оси которого характеризуют соответствующие проекции электрической мощности, смысловая трактовка которой определяется не классической теорией синусоидальных цепей, а методологией получения такой мощности, построенной на вариационных принципах анализа несинусоидальных электрических цепей. Наиболее полно разработаны теоретические положения расчета пространственного вектора, основанные на трактовке указанной мощности в интерпретациях Депенброка М.А., Эмануэля А.Е. и Чарнецкого Л.С. [6, 7, 8]. Применение разработанных на их основе алгоритмов управления активными фильтрами для компенсации воздействия нелинейных нагрузок на электрическую цепь позволяет достигать различных целей компенсации.

Однако недостатком всех отмеченных выше авторских теоретических положений, использующихся для расчета пространственного вектора мгновенной мощности, является базовое ограничение по функционированию исследуемой системы, связанное с числом входящих в нее фаз, ограниченное тремя фазами. Таким образом, развитие теории анализа электрических цепей

с несинусоидальными напряжениями и токами применительно к методике аналитического определения значений реактивной мощности и производной от нее мгновенной составляющей реактивного тока в многофазных цепях является актуальной научно-практической задачей.

Цель работы – в рамках исследуемой теории мгновенной реактивной мощности установление связи между передачей энергии от источника к нагрузке в многофазной системе, включая трехфазную систему, в наиболее распространенных условиях асимметрии и искажений. Задачами исследования являются: 1) разработка методики определения мгновенной реальной (активной) мощности и мгновенной воображаемой (или реактивной) мощности; 2) исследование работы предложенной функциональной схемы системы компенсации мгновенной реактивной мощности и гармонического тока трехфазной системы на динамической модели в интегрально-программируемой среде моделирования Matlab-Simulink.

Материалы и методика исследования. Введение в практику расчета многофазных цепей переменного тока новой переменной определенной тождеством (1) позволяет существенно расширить исходную систему уравнений, характеризующую состояние цепи за счет добавления квази вектора мощности $\vec{q}(t)$:

$$\vec{u}(t) \times \vec{i}(t) \stackrel{def}{=} \vec{q}(t), \quad (1)$$

где $\vec{u} = [u_1 \ u_2 \ \dots \ u_n]^T$ – вектор фазных напряжений цепи; $\vec{i} = [i_1 \ i_2 \ \dots \ i_n]^T$ – вектор токов в линии многофазной системы; n – число фаз; \times – символ векторного произведения, t – начальный момент времени, T – период напряжения и тока.

Вектор $\vec{q}(t)$ является мгновенным вектором реактивной (или неактивной) мощности многофазной цепи. Модуль вектора $|\vec{q}(t)| = |\vec{u}(t) \times \vec{i}(t)|$ – мгновенная реактивная мощность.

В свою очередь, мгновенная активная мощность $\vec{p}(t)$ определится выражением

$$\vec{p}(t) = \vec{u}(t) \cdot \vec{i}(t) \stackrel{def}{=} u_1 \cdot i_1 + u_2 \cdot i_2 + \dots + u_n \cdot i_n. \quad (2)$$

Для трехфазной системы (a, b, c) с учетом выражений (1) и (2) фазные составляющие вектора \vec{q} , мгновенный вектор активного тока \vec{i}_p , мгновенный вектор реактивного тока \vec{i}_q , мгновенная кажущаяся мощность $\vec{s}(t)$ удовлетворяют тождествам

$$\vec{q} = \begin{bmatrix} q_a \\ q_b \\ q_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_b & u_c \\ i_b & i_c \\ u_c & u_a \\ i_c & i_a \\ u_a & u_b \\ i_a & i_b \end{bmatrix}, \quad \vec{i}_p = \begin{bmatrix} i_{ap} \\ i_{bp} \\ i_{cp} \end{bmatrix} \stackrel{def}{=} \frac{\vec{u}}{\|\vec{u}\|^2} \cdot \vec{p}, \quad \vec{i}_q = \begin{bmatrix} i_{aq} \\ i_{bq} \\ i_{cq} \end{bmatrix} \stackrel{def}{=} \frac{\vec{q} \times \vec{u}}{\|\vec{u}\|^2}, \quad \vec{s} = \vec{u} \cdot \vec{i} + \vec{u} \times \vec{i}.$$

где u_a, u_b, u_c – мгновенные фазные напряжения; i_a, i_b, i_c – мгновенные фазные токи; i_{ap}, i_{bp}, i_{cp} – мгновенные фазные составляющие активного тока; i_{aq}, i_{bq}, i_{cq} – мгновенные фазные составляющие реактивного тока.

С физической точки зрения, величина q_a представляет собой расчетное значение реактивной мощности, которая циркулирует между фазами "b" и "c". Положительное значение q_a соответствует положительному сдвигу тока относительно напряжения в фазе "a". Аналогично, q_b и q_c представляют собой реактивные мощности, циркулирующие между фазами "c" и "a" и между фазами "a" и "b" соответственно. Таким образом, мгновенный реактивный ток i_q не передает никакой мгновенной активной мощности от источника к нагрузке, но увеличивает потери в сети и результирующую величину трехфазного тока. Если добиться компенсации векторов q или i_q , то потребляемый от источника ток будет минимальным.

Приведенные выше выкладки позволяют сделать следующие выводы.

1. Вектор тока i_p необходим для мгновенной передачи активной мощности p , в то время как ток i_q не связан с передачей данной мощности.
2. Компенсация реактивной мощности с помощью инвертора не требует накопителя энергии для его функционирования.
3. В процессе работы инвертора без накопления энергии мгновенная активная мощность в цепи не может быть изменена, а минимальные потери в цепи достигаются при нулевом значении мгновенной реактивной мощности.

С помощью преобразований Кларка перейдем из трехфазной системы "abc" в двухфазную систему "αβ0".

$$i_{\alpha\beta 0} = \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \\ i_0 \end{bmatrix} \stackrel{def}{=} \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \underbrace{\begin{bmatrix} 1 & -1/2 & -1/2 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \\ 1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} \end{bmatrix}}_C \times \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix}; \quad u_{\alpha\beta 0} = \begin{bmatrix} u_\alpha \\ u_\beta \\ u_0 \end{bmatrix} \stackrel{def}{=} C \times \begin{bmatrix} u_a \\ u_b \\ u_c \end{bmatrix}.$$

Если трехфазный источник напряжения симметричный, то составляющие реактивного и активного тока в системе "αβ0" определяются выражениями

$$i_{\alpha q} = \frac{u_{\beta}}{u_{\alpha}^2 + u_{\beta}^2} \times q = \frac{\sqrt{6} \cdot \left(-\frac{u_a}{4} - \frac{u_b}{4} \right) \cdot (u_a \cdot i_b - u_b \cdot i_a)}{u_a^2 + u_b^2 + u_a \cdot u_b}; \quad i_{\beta q} = \frac{-u_{\alpha}}{u_{\alpha}^2 + u_{\beta}^2} \times q = \frac{\frac{3u_a}{\sqrt{2}} \cdot (u_a \cdot i_b - u_b \cdot i_a)}{u_a^2 + u_b^2 + u_a \cdot u_b}.$$

$$i_{\alpha p} = \frac{u_{\alpha}}{u_{\alpha}^2 + u_{\beta}^2} \times p = \frac{\sqrt{\frac{3}{2}} \cdot (2u_a^2 \cdot i_a + 2u_a \cdot u_b \cdot i_b + u_a \cdot u_b \cdot i_a + u_a^2 \cdot i_b)}{u_a^2 + u_b^2 + u_a \cdot u_b};$$

$$i_{\beta p} = \frac{u_{\beta}}{u_{\alpha}^2 + u_{\beta}^2} \times p = \frac{\frac{1}{\sqrt{2}} \cdot (2u_b + u_a) \cdot (2u_a \cdot i_a + 2u_b \cdot i_b + u_b \cdot i_a + u_a \cdot i_b)}{u_a^2 + u_b^2 + u_a \cdot u_b}, \text{ где}$$

$$\begin{bmatrix} p \\ q \\ p_0 \end{bmatrix} \stackrel{\text{def}}{=} \begin{bmatrix} u_{\alpha} & u_{\beta} & 0 \\ u_{\beta} & -u_{\alpha} & 0 \\ 0 & 0 & u_0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} \quad (3); \quad i_q = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} i_0 \\ i_0 \\ i_0 \end{bmatrix} + C^{-1} \times \begin{bmatrix} i_{\alpha q} \\ i_{\beta q} \\ 0 \end{bmatrix}.$$

Функциональная схема системы компенсации мгновенной реактивной мощности и гармонического тока многофазной системы, включая трехфазную, показана на рисунке 1.

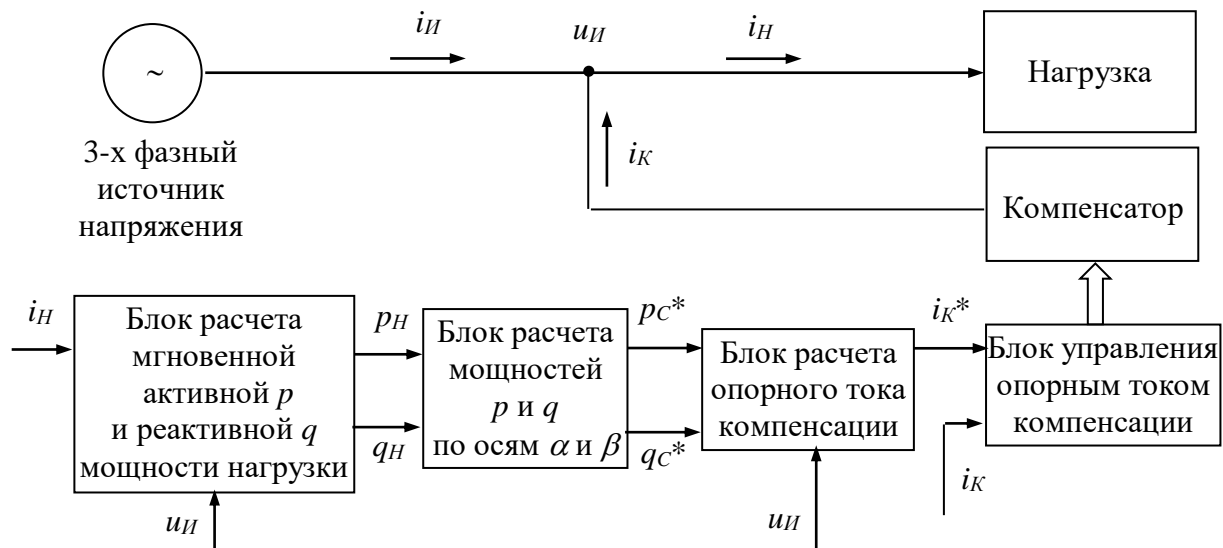


Рисунок 1 – Функциональная схема системы компенсации мгновенной реактивной мощности и гармонического тока трехфазной системы

Figure 1 – Functional diagram of the instantaneous reactive power and harmonic current compensation system of a three-phase system

Приведенные на рисунке 1 обозначения соответствуют: u_{Hl} – вектор фазных напряжений 3-х-фазного источника; i_H – вектор тока нагрузки; i_K – генерируемый инвертором 3-х-фазный ток компенсации; $p_H = \bar{p}_H + \tilde{p}_H$ – активная мощность на нагрузке, включающая две составляющие, первая обусловлена действием основной составляющей (положительной последовательности) тока нагрузки, вторая связана с протеканием в нагрузке гармонических составляющих и составляющей (обратной последовательности) тока нагрузки; $q_H = \bar{q}_H + \tilde{q}_H$ – реактивная мощность на нагрузке так же, как и реактивная мощность имеет две составляющих той же природы.

Функциональная схема на рисунке 1 включает в себя блок компенсации, который подключен параллельно нагрузке, а также ряд вычислительных блоков, позволяющих идентифицировать мгновенные значения активной и реактивной мощности в соответствующих координатных базисах, включая блок управления опорным током компенсации, структурная схема которого приведена на рисунке 2.

Фазные значения компенсирующих токов i_{Ka^*} , i_{Kb^*} и i_{Kc^*} (рис. 2) рассчитываются мгновенно, без какой-либо временной задержки, с использованием мгновенных напряжений и токов на стороне нагрузки. Схема управления состоит из нескольких аналоговых множителей, делителей и операционных усилителей. В приведенной схеме управления отсутствуют фильтры нижних частот и интеграторы.

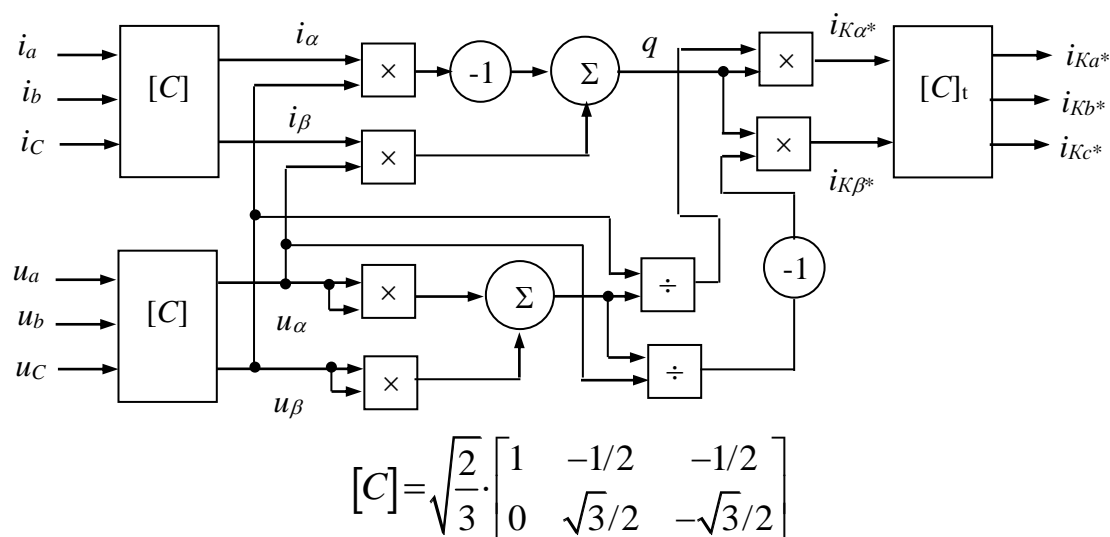


Рисунок 2 – Схема управления опорным током компенсации

Figure 2 – Control circuit of the compensation reference current

Приведенные на рисунке 2 обозначения соответствуют: i_α – ток по оси α ортогонального базиса (α, β); u_α – напряжение по оси α ортогонального базиса (α, β); i_β – ток по оси β ортогонального базиса (α, β); u_β – напряжение по оси β ортогонального базиса (α, β); (\times) – арифметическая операция умножения; (\div) – арифметическая операция деления; (Σ) – арифметическая операция сложения; $[t]$ – символ транспонирования матрицы.

Результаты исследований. Работа функциональной схемы, приведенной на рисунке 1, исследована на соответствующей адаптированной модели с использованием программного обеспечения Matlab-Simulink Power System Toolbox для трехфазной энергосистемы с шунтирующим фильтром активной мощности.

Шунтирующие фильтры активной мощности разработаны для подавления гармонических токов и одновременной компенсации реактивной мощности. Шунтирующие фильтры активной мощности используются в качестве источника тока параллельно нелинейной нагрузке. Силовой преобразователь на базе IGBT-переключателей фильтра активной мощности управляется таким образом, чтобы генерировать компенсационный ток, который равен, но противоположен гармоническому и реактивному токам, генерируемым нелинейной нагрузкой. Текущая погрешность между током нагрузки и эталонным током генерируется IGBT-модулем моста через гистерезисное переключение. В этом случае сетевой ток имеет синусоидальную форму и совпадает по фазе с сетевым напряжением.

В исследуемой модели, в качестве нелинейной нагрузки, рассмотрена 12-импульсная нагрузка, которая соответствует практической схеме, наиболее часто используемой в силовой электронике. Трехфазный источник питает два трансформатора со схемами соединения обмоток $Y\bar{Y}$, $Y\Delta$. Вторичные обмотки трансформаторов питают два соответствующих диодных выпрямителя, сдвинутых по фазе на 30° и соединенных параллельно относительно источника с активно-индуктивной нагрузкой на стороне постоянного тока. В начальный момент времени работает трансформатор, включенный по схеме $Y\bar{Y}$. В этом режиме работы нагрузка по отношению к источнику является 6-импульсной. Через шесть тактов частоты приложенного напряжения подключается трансформатор со схемой соединения обмоток $Y\Delta$, и нагрузка становится 12-импульсной. Результаты моделирования приведены на рисунке 3.

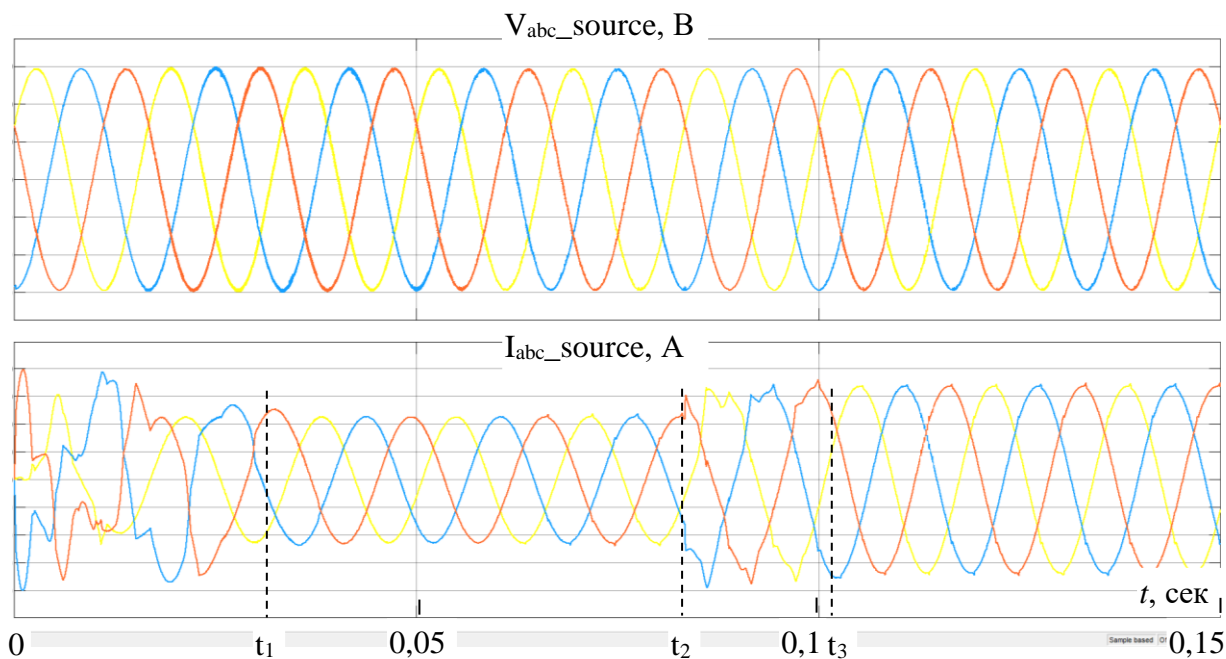


Рисунок 3 – Фазные кривые мгновенных значений напряжения и тока источника

Figure 3 – Phase curves of instantaneous source voltage and current values

Выводы. В данной статье рассмотрена обобщенная теория мгновенной реактивной мощности для компенсации реактивного и гармонического тока. Даны определения мгновенной активной и реактивной составляющих, таких как активная мощность, реактивная мощность, активный ток, реактивный ток, коэффициент мощности и т.д. Математически формализованы соответствующими выражениями их взаимосвязь друг с другом и физический смысл указанных мгновенных величин. Показано применение рассматриваемой теории для синусоидальных или несинусоидальных, сбалансированных или несбалансированных трехфазных цепей с компонентами нулевой последовательности или без них. Предложена функциональная схема, отражающая практическое применение обобщенной теории для компенсации реактивной мощности и гармоник, вызванных нелинейной нагрузкой. С помощью математического моделирования показана целесообразность использования предложенного алгоритма для мгновенного измерения реактивной мощности и гармонического тока и их компенсации при комплексной нелинейной нагрузке.

Список литературы

1. Аррилага, Дж. Гармоники в электрических системах: пер. с англ. / Дж. Аррилага, Д. Брэдли, П. Боджер. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 320 с.
2. Мещеряков, В.Н. Параллельный активный фильтр электроэнергии на базе релейного регулятора тока с функцией контроля заряда / В.Н. Мещеряков, А.М. Евсеев, Р.Н. Белокопытов // Информационные системы и технологии ИСТ-2017: матер. докл. XXIII Междунар. научно-техн. конф., посвящ. 100-летию НГТУ – Нижегородского

политехнического института, Нижний Новгород, 21 апреля 2017 года. – Нижний Новгород: Нижегородский ГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2017. – С. 234-239. – EDN BLGWUG.

3. Черных, А.Г. Автоматическое управление реактивной мощностью в схеме с конденсатором и управляемым реактором / А.Г. Черных, М.О. Вантеев // Поколение будущего: Взгляд молодых ученых-2025: сб. научных статей 14-й Междунар. молодежной научн. конф. В 4-х томах, Курск, 13-14 ноября 2025 года. – Курск: ЗАО "Университетская книга", 2025. – С. 292-299. – EDN JIXTYU.

4. Черных, А.Г. Спектрограммы выходного напряжения и тока экранированного асинхронного генератора установки микроГЭС / А.Г. Черных // Актуальные вопросы аграрной науки. – 2020. – № 35. – С. 19-27. – EDN SCILCF.

5. Шидловский, А.К. Высшие гармоники в низковольтных электрических сетях / А.К. Шидловский, А.Ф. Жаркин // Нац. акад. наук Украины, Ин-т электродинамики. – Киев: Наукова думка, 2005. – (Проект "Наукова книга"). – EDN QMLTXN.

6. Czarnecki, L.S. Reactive and unbalanced currents compensation in three-phase asymmetrical circuits under no sinusoidal conditions / Journal of IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 1989, vol. 38, pp. 754-759.

7. Depenbrock, M.A et all. Theoretical investigation of original and modified instantaneous power theory applied to four-wire systems / Journal of IEEE Transactions on Industry Applications, 2003, vol. 39, pp. 1160-1168.

8. Emanuel, A.E. Summary of IEEE standard 1459: Definitions for the measurement of electric power quantities under sinusoidal, nonsinusoidal, balanced, or unbalanced conditions / Journal of IEEE Transactions on Industry Applications, 2004, vol. 40, pp. 869-876.

9. Jeltsema, D. Budeanu's Concept of Reactive and Distortion Power Revisited / Journal of Przegląd Elektrotechniczny, 2016, vol. 4, pp. 68-73.

10. Salmeron, P. et all. Instantaneous power components in polyphase systems under nonsinusoidal conditions / Journal of IEE Proceedings – Science, Measurement and Technology, 1996, vol. 143(2), pp. 151-155.

References

1. Arrilaga, Dzh. Garmoniki v e`lektricheskix sistemax [Harmonics in electrical systems]. Moscow: E`nergoatomizdat, 1990, 320 p.

2. Meshheryakov, V.N. et all. Parallelny`j aktivny`j fil`tr e`lektroe`nergii na baze relejnogo regulatora toka s funkciej kontrolya zaryada [Parallel active power filter based on a relay current regulator with charge control function]. Informacionny`e sistemy` i texnologii IST-2017, Nizhnij Novgorod, 2017, pp. 234-239. – EDN BLGWUG.

3. Cherny`h, A.G., Vanteev, M.O. Avtomaticheskoe upravlenie reaktivnoj moshhnost`yu v sxeme s kondensatorom i upravlyaemy`m reaktorom [Automatic control of reactive power in a circuit with a capacitor and a controlled reactor]. Pokolenie budushhego: Vzglyad molody`x ucheny`x-2025, Kursk, 2025, pp. 292-299. – EDN JIXTYU.

4. Cherny`h, A.G. Spektrogrammy` vy`hodnogo napryazheniya i toka e`kranirovannogo asinxronnogo generatora ustanovki mikroge`s [Spectrograms of the output voltage and current of a shielded asynchronous generator of a micro hydroelectric power plant]. Aktualny`e voprosy` agrarnoj nauki, 2020, no. 35, pp. 19-27. – EDN SCILCF.

5. Shidlovskij, A.K., Zharkin, A.F. Vy`sshie garmoniki v nizkovo`ltny`x e`lektricheskix setyax [Higher harmonics in low-voltage electrical networks]. Kiev: Naukova dumka, 2005. – EDN QMLTXN.

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 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: 27.03.2026

Поступила после рецензирования и доработки / Received: 06.04.2026

Дата принятия к печати / Accepted: 09.04.2026

Сведения об авторе:

Шпак Оксана Николаевна – старший преподаватель кафедры “Электроснабжения и электротехники” энергетического факультета. Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского.

Контактная информация: ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, 664038, Россия, Иркутская область, муниципальный район Иркутский, с.п. Молодежное, п. Молодежный, 1/1, тел.: 89027625641, e-mail: ok.shpak2015 @yandex.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2979-2713>.

Information about the author:

Oksana N Shpak – Senior lecturer of the Department of “Electrical Equipment and Physics” of the Faculty of Energy. Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky.

Contact information: FSBEI HE Irkutsk SAU, 664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk municipal district, Molodezhnoye village, Molodezhny, tel. 89027625641, e-mail: ok.shpak2015@yandex.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2979-2713>.



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

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

DOI 10.51215/2411-6483-2026-58-51-63

УДК 004.415.2: 519.216.3:63

Научная статья

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ
“МНОГОФАКТОРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УРОЖАЙНОСТИ
ОДНОЛЕТНИХ КОРМОВЫХ КУЛЬТУР” НА ПРИМЕРЕ
ЛЕСОСТЕПИ ПРЕДБАЙКАЛЬЯ**

М.Н. Барсукова, Е.В. Бояркин, Е.А. Васильева

*Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского
п. Молодежный, с.п. Молодежное, муниципальный район Иркутский,
Иркутская область, Россия*

Аннотация. Для агропромышленного комплекса Иркутской области актуально создание современных систем управления производством кормов. Технологическая модернизация сельскохозяйственного производства требует внедрения цифровых решений для оптимизации использования земельных ресурсов, повышения точности прогнозирования урожайности, улучшения планирования агротехнических мероприятий, снижения производственных рисков. Однако климатические особенности региона создают дополнительные вызовы для сельскохозяйственного производства: короткий вегетационный период, резкие температурные перепады, неравномерное распределение осадков, риск возвратных заморозков. С учетом перечисленного необходим оперативный анализ влияния различных факторов на урожайность кормовых культур, что возможно обеспечить с помощью информационной системы многофакторного моделирования урожайности однолетних кормовых культур. В данной работе рассмотрено проектирование процесса влияния факторов на урожайность однолетних кормовых культур. При проектировании системы выбрана методология IDEF0, которая отражает основные процессы обработки метеорологических и агрономических данных. Разработана база данных на платформе SQLite, которая спроектирована таким образом, чтобы обеспечивать эффективную работу с информацией для проведения статистического анализа и построения математических моделей. Практическая ценность разрабатываемой системы заключается в возможности оперативного анализа влияния различных факторов на урожайность, прогнозирования результатов агротехнических мероприятий, оптимизации структуры посевных площадей, повышения эффективности использования земельных ресурсов. Реализация проекта в виде разработки с внедрением позволит аграриям повысить эффективность принятия управленческих решений на основе оптимизации производственных процессов.

Ключевые слова: проектирование, база данных, информационная система, урожайность, кормовые культуры.

Для цитирования: Барсукова М.Н., Бояркин Е.В., Васильева Е.А. Проектирование информационной системы “многофакторное моделирование урожайности однолетних кормовых культур” на примере лесостепи Предбайкалья. *Электронный научно-практический журнал “Актуальные вопросы аграрной науки”*. 2026; 1(58):51-63. DOI 10.51215/2411-6483-2026-58-51-63.

DESIGNING AN INFORMATION SYSTEM “MULTI-VARIABLE MODELING OF ANNUAL FORAGE CROPS YIELD” USING THE EXAMPLE OF THE FOREST-STEPPE OF THE PRE-BAIKAL REGION

Margarita N. Barsukova, Evgeny V. Boyarkin, Ekaterina A. Vasilyeva

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

Abstract. The development of modern feed production management systems is essential for the agro-industrial complex of the Irkutsk Region. Technological modernization of agricultural production requires the implementation of digital solutions to optimize land use, increase the accuracy of yield forecasts, improve planning of agronomic measures, and reduce production risks. However, the region's climatic conditions pose additional challenges for agricultural production: a short growing season, sharp temperature fluctuations, uneven precipitation distribution, and the risk of recurrent frosts. Given these factors, it is necessary to quickly analyze the impact of various factors on forage crop yields, which can be achieved using an information system for multivariate yield modeling of annual forage crops. This paper examines the design of a process for analyzing the influence of factors on the yield of annual forage crops. The IDEF0 methodology, which reflects the main processes for processing meteorological and agronomic data, was selected for the system design. A database on the SQLite platform was developed to ensure efficient processing of information for statistical analysis and the construction of mathematical models. The practical value of the developed system lies in its ability to quickly analyze the impact of various factors on crop yields, predict the results of agricultural interventions, optimize cropland structure, and improve land use efficiency. Implementation of the project, through development and implementation, will enable farmers to improve the effectiveness of management decisions by optimizing production processes.

Keywords: design, database, information system, yield, forage crops.

For citation: Barsukova M.N., Boyarkin E.V., Vasilyeva E.A. Designing an information system “Multi-variable modeling of annual forage crops yield” using the example of the forest-steppe of the Pre-baikal region. *Electronic scientific-Practical journal “Actual issues of agrarian science”*. 2026; 1(58):51-63. DOI 10.51215/2411-6483-2026-58-51-63.

Введение. Кормопроизводство является одной из ключевых отраслей сельского хозяйства Иркутской области, обеспечивающей сырьевую базу для животноводства и продовольственную безопасность региона [3]. Исследование факторов, влияющих на урожайность однолетних кормовых культур, использование методов многофакторного анализа является актуальной задачей, решение которой способствует повышению эффективности управления кормопроизводством в регионе и обеспечению устойчивого развития животноводства [4, 8]. Разработка информационной системы многофакторного анализа урожайности однолетних кормовых культур позволит выявлять основные факторы, влияющие на биопродуктивность кормовых культур разных видов.

Цель данной работы заключается в создании проекта информационной системы “Многофакторное моделирование урожайности однолетних кормовых культур” на примере лесостепи Предбайкалья с оценкой дальнейшего развития проекта.

Материалы и методы исследования. В качестве исходных данных в работе использованы экспериментальные данные полевых опытов с 2007 по 2022 год, проведённых на опытном поле Иркутского НИИСХ [3].

Исходные данные структурированы и подготовлены для проведения однофакторного анализа, многофакторного регрессионного анализа, а также построения прогностических моделей и оценки статистической значимости полученных результатов.

Для создания программного комплекса использованы методы проектирования информационных систем с учетом разработок, предложенных в работах [9, 10].

В статье проанализированы труды исследователей по прогнозированию и планированию производственно-экономических показателей на основе прогностических и оптимизационных моделей реализованных впоследствии в программных комплексах для управленческих решений [6, 11, 12], в том числе с применением искусственного интеллекта [1, 5, 7]

Основные результаты. Проект по созданию приложения для расчёта урожайности и всхожести предполагает поэтапное выполнение всех необходимых задач, начиная с анализа требований и разработки технической документации, и заканчивая развертыванием на целевых платформах.

На каждом этапе важно уделить внимание, как функциональным, так и техническим аспектам, включая выбор инструментов, проектирование архитектуры и интерфейса, а также качественное тестирование системы.

Составлен план выполнения работ по созданию проекта, включая в себя анализ требований, проектирование приложения, разработку приложения, а также тестирование, отладку и доработку.

В процессе проектирования создана функциональная модель процесса многофакторного анализа урожайности кормовых культур с применением методологии IDEF0 [9], которая отражает основные процессы обработки метеорологических и агрономических данных с целью построения регрессионных моделей и анализа влияния факторов на урожайность однолетних кормовых культур (рис. 1).

На уровне декомпозиции (рис. 2) данная функция детализируется на четыре взаимосвязанных процесса: сбор и ввод данных, построение регрессионных моделей, оценка качества моделей, визуализация результатов и формирование выходной информации.

Процесс “Сбор и ввод данных” отвечает за сбор, подготовку и предварительную обработку входных данных для последующего анализа. На данном этапе происходит загрузка метеорологических и агрономических

данных из локальной базы данных и их подготовка для обработки в рамках системы. Данные проходят проверку на корректность и полноту.

В качестве входных данных определены следующие (данные представлены за конкретный месяц в определенный период лет):

– метеоданные: средняя температура воздуха за месяц, сумма выпавших осадков;

– агроданные: всхожесть (показатели полевой всхожести однолетних кормовых культур); урожайность (показатели урожайности для однолетних кормовых культур).



Рисунок 1 – Функциональная модель многофакторного анализа урожайности кормовых культур

Figure 1 – Functional model of multivariate analysis of forage crop yields

Процесс “Построение регрессионных моделей” реализуется на основе корреляционно-регрессионного анализа. Используя подготовленные данные, осуществляется построение множественной линейной регрессии, позволяющей выявить зависимости между урожайностью культур и внешними факторами (температура воздуха, сумма осадков, всхожесть). Результатом процесса является получение уравнений регрессии для различных культур с учетом степени влияния факторов.

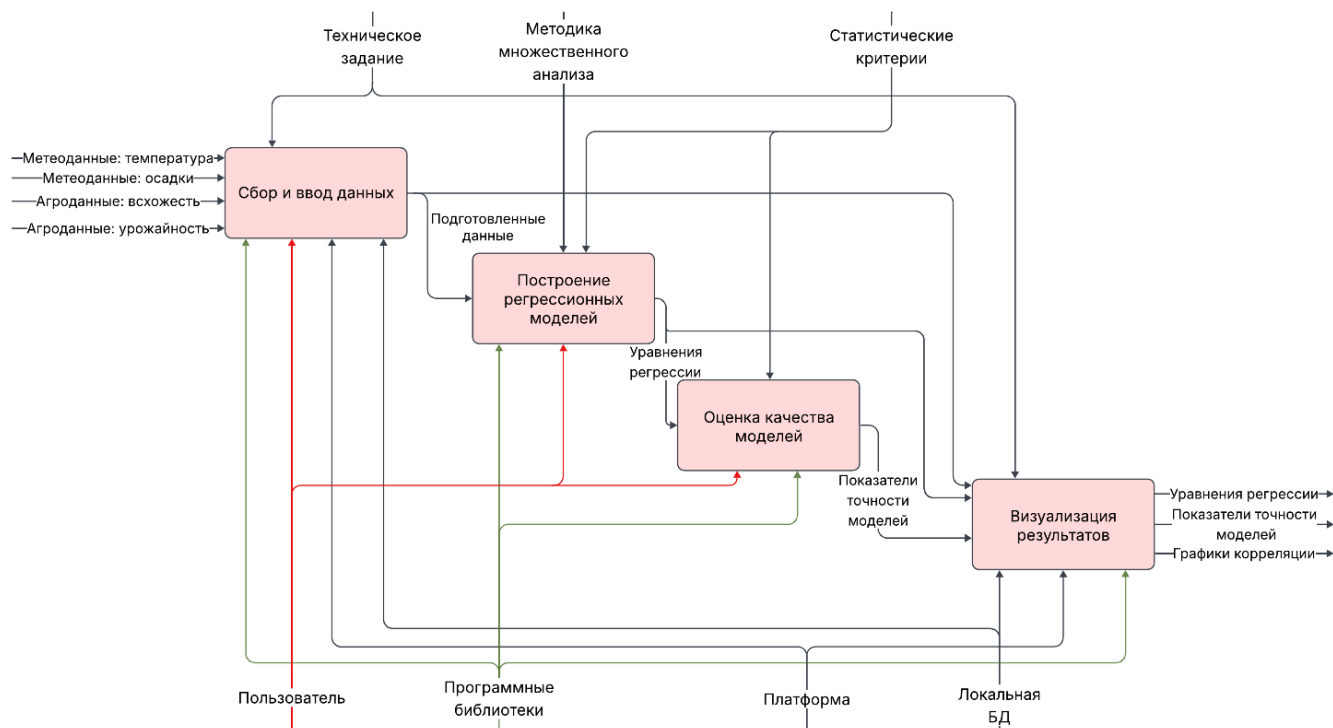


Рисунок 2 – Декомпозиция диаграммы в нотации IDEF0 многофакторного анализа урожайности кормовых культур

Figure 2 – Decomposition of the diagram in IDEF0 notation for multivariate analysis of forage crop yields

На третьем этапе оценивается качество построенных регрессионных моделей с использованием статистических методов. Система анализирует точность моделей и значимость моделей с помощью коэффициента детерминации (R^2), стандартную ошибки и F -критерия Фишера и t -критерия Стьюдента.

Процесс “Визуализация результатов” отвечает за представление результатов анализа в виде удобных для восприятия графиков и результатов. На основе полученных уравнений и статистических показателей строятся графики зависимости урожайности от факторов, а также приводятся регрессионные уравнения и показатели точности и значимости моделей. Результаты визуализируются в интерфейсе пользователя для дальнейшего анализа и интерпретации.

Для реализации информационной системы “Многофакторное моделирование урожайности однолетних кормовых культур” на примере лесостепи Предбайкалья создана база данных SQLite, которая хранит данные о температуре воздуха, осадках, полевой всхожести и урожайности однолетних кормовых культур (таблица). В процессе разработки базы данных созданы следующие таблицы.

Таблица “Crops” (культура) (рис. 3) имеет структуру: id (INTEGER) – уникальный идентификатор записи, автоматически увеличиваемый

(первичный ключ), Name (TEXT) – название культуры. Таблица содержит в себе 30 уникальных и смешанных культур.

Таблица – Структура базы данных

Table – Database Structure

Характеристика	Описание
Культура (Crops)	Содержит список однолетних кормовых культур, которые участвуют в многофакторном анализе
Температура (TemperatureData)	Хранит данные о среднесуточной температуре воздуха для месяцев “май, июнь, июль, август” за период 2007-2022 гг.
Осадки (PrecipitationData)	Хранит данные о сумме выпавших осадков для месяцев “май, июнь, июль, август” за период 2007-2022 гг.
Полевая всхожесть (EmergenceData)	Содержит ежегодные данные о всхожести, за период 2007-2022 гг.
Урожайность (YieldData)	Содержит ежегодные данные об урожайности, за период 2007-2022 гг.

Таблица “TemperatureData” (температура) имеет структуру: Id (INTEGER), Month (TEXT) – месяц, для которого указана температура, Temperature (REAL) – средняя температура воздуха за месяц, Year (INTEGER) – год, для которого указана температура. Количество уникальных записей – 80.

Таблица “PrecipitationData” (осадки) имеет структуру: Id (INTEGER), Month (TEXT) – месяц, для которого указаны осадки, Precipitation (REAL) – количество осадков за месяц (в миллиметрах), Year (INTEGER) – год, для которого указано количество осадков.

Количество уникальных записей – 80. На рисунке 4 показаны записи таблицы “Осадки”, отфильтрованные по месяцу “июнь”.

Таблица “EmergenceData” (Полевая всхожесть) имеет структуру таблицы: Id (INTEGER), Year (INTEGER) – год, для которого зафиксирована всхожесть; Emergence (TEXT) – процент всхожести посаженных семян; CropId (INTEGER) – внешний ключ, ссылающийся на таблицу Crops, указывающий, для какой культуры зафиксированы данные; Name (TEXT) – название культуры, для которой зафиксирована всхожесть.

Таблица “YieldData” (Урожайность) представлена в виде следующей структуры: Id (INTEGER), Year (INTEGER), GreenMass (REAL) – значение зелёной массы (т/га), Silage (REAL) – масса силоса (т/га), CropId (INTEGER) – внешний ключ, указывающий на идентификатор культуры в таблице Crops, Name (TEXT) – название культуры.

Id	Name
1	Овёс 100 (к)
2	Просо 100
3	Суданка 100
4	Рапс 100
5	Горох посевной 100
6	Пелюшка 100
7	Вика 100
8	Овёс 70 + горох 50
9	Просо 70 + вика 30
10	Просо 70 + вика 50
11	Просо 60 + вика 60
12	Просо 70 + горох 30
13	Просо 70 + горох 50
14	Просо 60 + горох 60
15	Просо 70 + пелюшка 30

Рисунок 3 – Структура и содержание таблицы “Crops”

Figure 3 – Structure and contents of the “Crops” table

Определен формат текстовых и числовых данных, что обеспечило удобство работы с функциями многофакторного регрессионного анализа. Для таблиц EmergenceData и YieldData введены внешние ключи (Foreign Keys), что связывает данные о всхожести и урожайности с конкретными культурами из таблицы Crops.

Для реализации информационной системы создан кроссплатформенный мобильный и десктопный интерфейс, который позволяет работать как на Windows, так и на Android устройствах.

Приложение состоит из нескольких вкладок, каждая из которых выполняет свою функцию. Вкладка “Расчёт” (рис. 5) является основной и активной при запуске приложения. Здесь пользователь может ввести параметры для расчёта, которые будут использоваться для анализа (рис. 5a).

Year	Month	Precipitation
2007	Июнь	16
2008	Июнь	26.2
2009	Июнь	45.71
2010	Июнь	57.9
2011	Июнь	34.7
2012	Июнь	71.5
2013	Июнь	22.1
2014	Июнь	40.4
2015	Июнь	33.3
2016	Июнь	37
2017	Июнь	13.1
2018	Июнь	27
2019	Июнь	71.7
2020	Июнь	28
2021	Июнь	78.3
2022	Июнь	46

Рисунок 4 – Структура и содержание таблицы “Осадки”

Figure 4 – Structure and content of the “Precipitation” table

После заполнения полей пользователь должен нажать кнопку “Рассчитать”. Это запускает процесс расчёта. Если введённые данные корректны, на экран размещаются результаты статистической обработки данных:

- уравнение регрессии, коэффициент детерминации (R^2), эмпирический и табличный F -критерий Фишера и другие статистические показатели;
- графики, характеризующие зависимость между урожайностью/всхожестью и выбранными факторами (рис. 5б).

Особенность информационной системы является уникальная база данных, содержащая сведения о наиболее распространенных и перспективных однолетних кормовых культурах и их характеристиках за многолетний период. Основной зависимостью между результативным признаком и средними температурами воздуха и суммами осадков по месяцам в течение теплого периода является двухфакторная линейная модель. Это позволяет моделировать различные ситуации, используя метод Монте-Карло ввиду случайной изменчивости факторов с применением вероятностных распределений Крицкого-Менкеля и Пирсона III типа [2].

Реализация метода статистических испытаний может служить дополнительным модулем к описанному проекту.

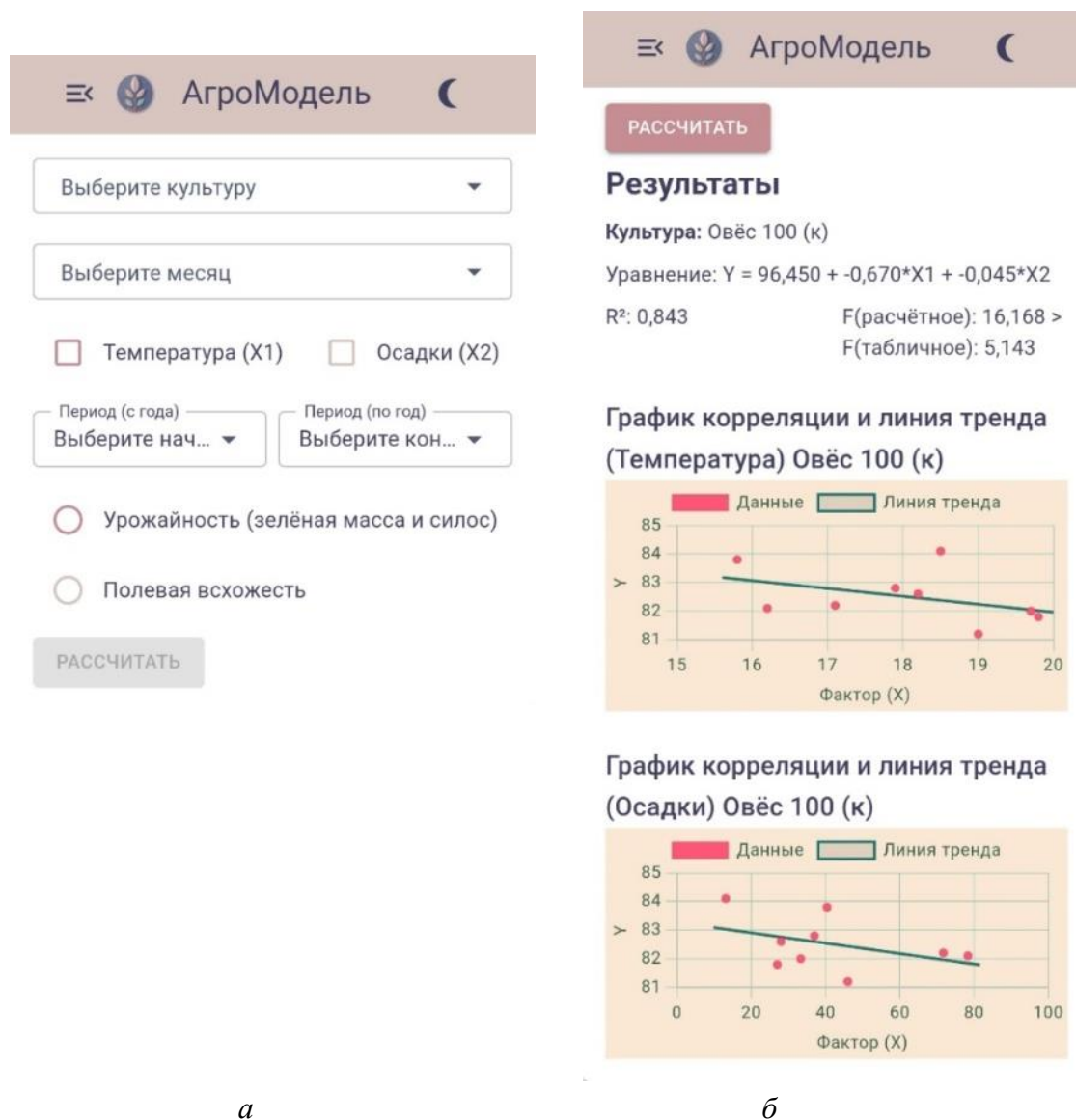


Рисунок 5 – Вкладка “Расчет” (а) и пример результата расчета (б)

Figure 5 – “Calculation” tab (a) and an example of the calculation result (b)

Выводы. Рассмотрен процесс проектирования многофакторного анализа урожайности однолетних кормовых культур с применением методологии IDEF0.

Создана функциональная модель и ее декомпозиция. На уровне декомпозиции функция детализируется на четыре взаимосвязанных процесса: сбор и ввод данных, построение регрессионных моделей, оценка качества моделей, визуализация результатов и формирование выходной информации.

Создана база данных SQLite, которая хранит многолетние данные о месячных температурах воздуха и осадках, полевой всхожести и урожайности однолетних кормовых культур, распространенных на территории Иркутской области.

Разработан первичный кроссплатформенный мобильный и десктопный интерфейс, который позволяет работать информационной системе, как на базе Windows, так и на Android устройствах.

Получены двухфакторные линейные модели, позволяющие с использованием метода статистических испытаний моделировать разные ситуации получения урожайности однолетних кормовых культур для управления процессами кормопроизводства.

Список литературы

1. Асалханов, П.Г. Интеллектуальная система моделирования изменчивости климатических явлений / П.Г. Асалханов, Н.В. Бендик, Я.М. Иваньо // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2020. – Т. 47. – № 2. – С. 30-39.

2. Блохинов, Е. Г. Распределение вероятностей величин речного стока / АН СССР. Ин-т водных проблем. – Москва: Наука, 1974. – 169 с.

3. Бояркин, Е.В. Смешанные посевы проса с высокобелковыми культурами для кормопроизводства Прибайкалья / Е.В. Бояркин, В.А. Агафонов // Вестник КрасГАУ, 2022. – №8. – (185). – С. 42-50.

4. Винокуров, Г.М. Экономическая эффективность производства кормов в Иркутской области / Г.М. Винокуров // АПК: экономика, управление. – 2019. – №11. – С. 41-47.

5. Иваньо, Я.М. Алгоритм определения оптимального интервала влияния факторов в моделировании урожайности / Я.М. Иваньо, Е.С. Климов // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2025. – Т.21. – № 3. – С. 29-34.

6. Иваньо, Я.М. Информационные технологии многоуровневого моделирования в решении управленческих задач аграрного производства / Я. М. Иваньо, С.А. Петрова, В.В. Цыренжапова // Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2025. – Т. 21. – № 4. – С. 850-857.

7. Климов, Е.С. Программное приложение “Моделирование урожайности сельскохозяйственных культур” / Е.С. Климов, Я.М. Иваньо // В сб.: Научные исследования и разработки к внедрению в АПК: матер. нац. научно-практ. конф. молодых ученых с междунар. участием, посвящ. 80-летию Победы в Великой Отечественной войне. – Иркутск, 2025. – С. 247-251.

8. Полковская, М.Н. Перспективы производства кормов для сельскохозяйственных животных в Иркутской области / М.Н. Полковская, Н.В. Баркова // Вестник ИрГСХА. – 2025. – №129. – С. 16-25.

9. Программный комплекс “Прогнозирование производственно-экономических показателей аграрного производства” / М.Н. Барсукова и др. // Информационные и математические технологии в науке и управлении. – 2021. – № 2 (22). – С. 115-123.

10. Ромме, А.А. Проектирование программного комплекса “Многоуровневое прогнозирование показателей аграрного производства” / А.А. Ромме, Я.М. Иваньо // В сб.: Научные исследования студентов в решении актуальных проблем АПК: матер. всерос. студ. научно-практ. конф. – Молодежный, 2022. – С. 194-199.

11. Современное состояние и перспективы развития технической базы сельского хозяйства в условиях цифровой экономики / Ф.Н. Мухаметгалиев, Ф.Ф. Садриева, Э.Ф. Амирова, Е.В. Губанова, Г.П. Захарова // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2020. – Т. 15. – №3 (59). – С. 121-125.

12. Федеральные государственные информационные системы в сельском хозяйстве России: проблемы использования и возможные решения / С.В. Киселев, И.В. Филимонов, С.К. Сеитов, В.А. Самсонов, Е.С. Суровцева // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2025. – №3. – С. 167-186.

References

1. Asalkhanov, P.G. et all. *Intellektual'naya sistema modelirovaniya izmenchivosti klimaticheskikh yavleniy* [Intelligent system for modeling the variability of climate phenomena.]. *Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskiye nauki*, 2020, vol. 47, no. 2, pp. 30-39.

2. Blokhinov, Ye.G. *Raspredeleniye veroyatnostey velichin rechnogo stoka* [Probability distribution of river runoff values]. *AN SSSR. In-t vodnyh problem*, Moscow: Nauka, 1974, 169 p.

3. Boyarkin, E.V., Agafonov, V.A. *Smeshanny`e posevy` prosa s vy`sokobelkovy`mi kul`turami dlya kormoproizvodstva Pribajkal`ya* [Mixed crops of millet with high-protein crops for forage production in the Baikal region]. *Vestnik KrasGAU*. 2022, no. 8(185), pp. 42-50.

4. Vinokurov, G.M. *E`konomicheskaya e`ffektivnost` proizvodstva kormov v Irkutskoj oblasti* [Economic efficiency of feed production in the Irkutsk region]. *APK: e`konomika, upravlenie*, 2019, no. 11, pp. 41-47.

5. Ivanyo, Ya.M., Klimov, E.S. *Algoritm opredeleniya optimal`nogo intervala vliyaniya faktorov v modelirovanii urozhajnosti* [Algorithm for determining the optimal range of influence of factors in crop yield modeling]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2025, vol. 21, no. 3, pp. 29-34.

6. Ivanyo, Ya.M. et all. *Informacionny`e tekhnologii mnogourovnevnogo modelirovaniya v reshenii upravlencheskix zadach agrarnogo proizvodstva* [Information technologies of multilevel modeling in solving management problems of agricultural production]. *Sovremenny`e informacionny`e tekhnologii i IT-obrazovanie*, 2025, vol. 21, no. 4, pp. 850-857.

7. Klimov, E.S., Ivan'o, Ya.M. *Programmnoe prilozhenie Modelirovanie urozhajnosti sel`skoxozyajstvenny`x kul`tur* [Software application “Modeling of agricultural crop yields”]. *Irkutsk*, 2025, pp. 247-251.

8. Polkovskaya, M.N., Barkova N.V. *Perspektivy` proizvodstva kormov dlya sel`skoxozyajstvenny`x zhivotny`x v Irkutskoj oblasti* [Prospects for the production of animal feed in the Irkutsk Region]. *Vestnik IrGSXA*, 2025, no. 129, pp. 16-25.

9. Barsukova, M.N. et all. *Programmny`j kompleks “Prognozirovanie proizvodstvenno-e`konomicheskix pokazatelej agrarnogo proizvodstva”* [Software package “Forecasting production and economic indicators of agricultural production”]. *Informacionny`e i matematicheskie tekhnologii v nauke i upravlenii*, – 2021, no. 2 (22), pp. 115-123.

10. Romme, A.A., Ivanyo, Ya.M. *Proektirovanie programmnoego kompleksa “Mnogourovnevoe prognozirovanie pokazatelej agrarnogo proizvodstva”* [Design of the software package “Multilevel forecasting of agricultural production indicators”]. *Molodezhnyj*, 2022, pp. 194-199.

11. Muxametgaliev, F.N. et all. *Sovremennoe sostoyanie i perspektivy` razvitiya tekhnicheskoy bazy` sel`skogo xozyajstva v usloviyax cifrovoj e`konomiki* [Current state and prospects for the development of the technical base of agriculture in the digital economy].

Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, 2020, vol. 15, no.3 (59), pp. 121-125.

12. Kiselev, S.V. et all. Federal'ny'e gosudarstvenny'e informacionny'e sistemy` v sel'skom khozyajstve Rossii: problemy` ispol'zovaniya i vozmozhny'e resheniya [Federal state information systems in Russian agriculture: problems of use and possible solutions]. Izvestiya Timiryazevskoj sel'skoxozyajstvennoj akademii, 2025, no. 3, pp. 167-186.

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: 19.03.2026

Поступила после рецензирования и доработки / Received: 01.04.2026

Дата принятия к печати / Accepted: 09.04.2026

Сведения об авторах

Барсукова Маргарита Николаевна – 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, муниципальный район Иркутский, с.п. Молодежное, п. Молодежный, 1/1, e-mail: margarita1982@bk.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1947-0892>.

Бояркин Евгений Викторович – кандидат биологических наук, доцент кафедры земледелия и растениеводства агрономического факультета. Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского.

Контактная информация: ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, 664038, Россия, Иркутская область, муниципальный район Иркутский, с.п. Молодежное, п. Молодежный, 1/1, тел. 89500513963, e-mail: boyarkinevgenii@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4291-3812>.

Васильева Екатерина Андреевна – выпускник направления 09.03.03 Прикладная информатика. Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского.

Контактная информация: ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, 664038, Россия, Иркутская область, муниципальный район Иркутский, с.п. Молодежное, п. Молодежный, 1/1, тел. 89996844336, email: katyvasand@gmail.com.

Information about the authors:

Margarita N. Barsukova – Candidate of Technical Sciences, the associate professor of 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 municipal district, Molodezhnoye village, Molodezhny, e-mail: bmn1982@rambler.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1947-0892>.

Evgeny V. Boyarkin – Candidate of Biological Sciences, Ass. Prof. of the Department of Agriculture and Plant Industry of the Agronomy Faculty. Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky.

Contact information: FSBEI HE Irkutsk SAU, 664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk municipal district, Molodezhnoye village, Molodezhny, tel. 89500513963, e-mail: boyarkinevgenii@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4291-3812>.

Ekaterina A. Vasilyeva – Graduate of the 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 municipal district, Molodezhnoye village, Molodezhny, tel. 89996844336, email: katyvasand@gmail.com.



DOI 10.51215/2411-6483-2026-58-64-76

УДК 519.863:631.15

Научная статья

МНОГОЭТАПНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА И ПЕРЕРАБОТКИ АГРАРНОЙ ПРОДУКЦИИ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ТОВАРОПРОИЗВОДИТЕЛЯ

Я.М. Иваньо, Л.С. Ананьев

Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского
*п. Молодежный, с.п. Молодежное, муниципальный район Иркутский,
Иркутская область, Россия*

Аннотация. В статье рассматривается задача оптимизации производства и переработки растениеводческой продукции в экстремальных условиях деятельности. Разработана связанная система моделей, включающая модель оптимизации производства и переработки продукции. Особенностью предложенной системы является рассмотрение производства и переработки в условиях проявления редких экстремальных событий. Благоприятное экстремальное событие характеризует работу сельскохозяйственного товаропроизводителя при очень хорошем сочетании внешних и технологических факторов. Неблагоприятное редкое событие приводит к противоположным последствиям. Сельскохозяйственный товаропроизводитель работает в условиях высоких рисков. Для построения предложенных моделей использована многоуровневая задача параметрического программирования применительно к двум этапам получения продукции: производство и переработка. Это позволяет определять целевую функцию и оптимальные планы для усредненных, благоприятных и неблагоприятных условий, а также для благоприятных и неблагоприятных событий. В случае с экстремальными событиями используется стохастическая задача. Ее решением является оптимальный план, соответствующий максимальной прибыли, с расчетной вероятностью. Двухэтапная многоуровневая модель оптимизации производства и переработки растениеводческой продукции с учетом редкого благоприятного и неблагоприятного события применена для СХАО “Белореченское”. Вероятностная оценка экстремальных событий, характеризующих максимальный прирост и наибольшие потери урожайности сельскохозяйственных культур, осуществлена с помощью закона Пирсона III типа. Проведен сравнительный анализ полученных результатов с оптимальными решениями с использованием многоэтапной задачи параметрического программирования для усредненных, благоприятных и неблагоприятных условий деятельности сельскохозяйственного товаропроизводителя. Рассмотрены ситуации управления предприятием в условиях дефицита и избытка произведенной продукции.

Ключевые слова: оптимизация, производство, переработка, растениеводческая продукция, экстремальные события, многоэтапная модель, параметрическое программирование.

Для цитирования: Иваньо Я.М., Ананьев Л.С. Многоэтапная оптимизация производства и переработки аграрной продукции в экстремальных условиях деятельности товаропроизводителя. *Электронный научно-практический журнал “Актуальные вопросы аграрной науки”*. 2026; 1(58):64-76. DOI 10.51215/2411-6483-2026-58-64-76.

MULTI-STAGE OPTIMIZATION OF THE PRODUCTION AND PROCESSING OF AGRICULTURAL PRODUCTS IN EXTREME CONDITIONS OF THE PRODUCER'S ACTIVITY

Yaroslav M. Ivanyo, Leonid S. Anan'ev

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

Abstract. The article examines the problem of optimizing the production and processing of plant products under extreme conditions. A coupled system of models has been developed, including a model for optimizing production and processing. A distinctive feature of the proposed system is its consideration of production and processing under rare extreme events. A favorable extreme event characterizes the performance of an agricultural producer with a very favorable combination of external and technological factors. An unfavorable rare event leads to opposite consequences. The agricultural producer operates under high-risk conditions. To develop the proposed models, a multi-level parametric programming problem was applied to two stages of product acquisition: production and processing. This allows us to determine the objective function and optimal plans for average, favorable, and unfavorable conditions, as well as for favorable and unfavorable events. For extreme events, a stochastic problem is used. Its solution is the optimal plan corresponding to maximum profit, with a calculated probability. A two-stage, multi-level model for optimizing the production and processing of crop products, taking into account rare favorable and unfavorable events, is applied to the Belorechenskoye Agricultural Joint-Stock Company. A probabilistic assessment of extreme events characterizing the maximum increase and greatest losses in agricultural crop yields is performed using Pearson's type III law. A comparative analysis of the obtained results with optimal solutions is conducted using a multi-stage parametric programming problem for average, favorable, and unfavorable conditions of agricultural production. Situations of enterprise management under conditions of shortages and surpluses of produced goods are considered.

Key words: optimization, production, processing, crop products, extreme events, multi-stage model, parametric programming.

For citation: Ivanyo Ya.M., Ananyev L.S. Multi-stage optimization of the production and processing of agricultural products in extreme conditions of the producer's activity. *Electronic scientific-practical journal “Actual issues of agrarian science”*. 2026; 1(58):64-76. DOI 10.51215/2411-6483-2026-58-64-76.

Введение. Сельскохозяйственные предприятия в процессе деятельности сталкиваются с множеством факторов неопределенности, среди которых ключевую роль играет изменчивость природно-климатических условий. Колебания температуры, неравномерность выпадения осадков, засухи и наводнения оказывают сильное влияние на урожайность сельскохозяйственных культур и объемы производства и переработки продукции [11, 12, 20]. Для эффективного управления предприятиями при планировании структуры посевных площадей и дальнейшем распределении полученного урожая между реализацией и переработкой вынуждены учитывать возможные изменения внешней среды [10, 13, 19]. В этих

условиях разработка математических моделей оптимизации, описывающих функционирование предприятия при различных воздействиях внешней среды, становится инструментом повышения устойчивости сельскохозяйственных товаропроизводителей [1, 8, 14], так как они позволяют оценивать возможные риски, формировать адаптивные стратегии и принимать обоснованные управленческие решения, направленные на максимизацию прибыли [4, 6, 9]. При этом важным инструментом реализации моделей и автоматизации разных сторон производственных процессов является цифровая трансформация [17].

В статье “Многоэтапная многоуровневая оптимизация производства и переработки сельскохозяйственной продукции” авторов этой работы предложена модель оптимизации производства и переработки растениеводческой продукции, учитывающей три уровня внешних условий: благоприятный, усредненный и неблагоприятный. Однако помимо регулярно встречающихся условий существуют экстремальные ситуации, возникающие с малой вероятностью, но способные оказать значительное влияние на производственные процессы либо, напротив, создать условия для получения значительных объемов урожая. К таким ситуациям относятся экстремальные природные явления, или аномально благоприятные вегетационные периоды с оптимальным сочетанием тепла и влаги. Поэтому помимо трехуровневой модели предлагается дополнительно рассматривать модели с учетом экстремальных событий, как неблагоприятных, так и благоприятных [9]. Целью работы является описание разработанной многоуровневой параметрической модели производства и переработки сельскохозяйственной продукции, учитывающей благоприятные и неблагоприятные экстремальные события. Для достижения цели решались задачи: построения стохастической модели производства и переработки и ее реализация на примере крупного сельскохозяйственного предприятия.

Материалы и методы. В работе рассмотрены научные работы, посвященные вопросам оптимизации производственных процессов в агропромышленном комплексе, включая этапы получения сельскохозяйственной продукции и переработку сырья. Особое внимание уделено публикациям по многоуровневому моделированию с использованием задачи параметрического программирования в разных вариантах [7, 14], в том числе для нелинейных моделей [18].

Для реализации предложенной модели использованы данные о производстве и переработке растениеводческой продукции СХАО “Белореченское”. Кроме того, использованы сведения об урожайности сельскохозяйственных культур в Усольском районе за 1996-2024 гг.

В работе использован метод построения законов распределения вероятностей для прироста и потерь урожайности сельскохозяйственных культур [2] и многоуровневая многопараметрическая и стохастическая задача [7] для оптимизации получения произведенной и переработанной продукции.

Основные результаты. Для эффективного управления процессами сельскохозяйственных предприятий, модель оптимизации должна учитывать связь производства и переработки, а также сопутствующие этим процессам риски. В наибольшей степени природно-климатические факторы влияют на производство растениеводческой продукции [3, 5, 15, 16], поскольку оно непосредственно зависит от погодных условий, качества почв, вносимых удобрений и средств защиты растений. Такие условия производства важно учитывать для повышения эффективности оптимизационных моделей.

В работе Иванько Я.М. и Ананьева Л.С. "Многоэтапная многоуровневая оптимизация производства и переработки сельскохозяйственной продукции", принятой к изданию, рассмотрена многоуровневая модель, характеризующая производство и переработку продукции сельского хозяйства в благоприятных, усредненных и неблагоприятных условиях деятельности предприятия. При этом не рассматриваются экстремальные ситуации – планирование продукции при неблагоприятных и благоприятных событиях [7, 9].

Модифицируем модель, приведенную в работе [14], для случая, учитывающего экстремальные благоприятные и неблагоприятные события и связь производства и переработки растениеводческой продукции. Целевая функция многоуровневой модели производства при формировании экстремальных явлений представляет собой максимальную прибыль:

$$F = \sum_{s \in S} c_s^{lp} x_s \rightarrow \max, \quad (1)$$

при условиях:

1) ограниченности производственных ресурсов

$$\sum_{s \in S} a_{os}^{lp} x_s \leq A_o^{lp}, o \in O, \quad (2)$$

2) ограниченности по площадям сельскохозяйственных угодий

$$\sum_{s \in S} x_s \leq B, \quad (3)$$

3) производства конечной продукции заданного объема

$$\sum_{s \in S} u_{ws}^{lp} x_s + \sum_{s \in S} \varphi_{ws}^l \geq V_w^{lp}, w \in W, \quad (4)$$

4) определенного количества вносимых удобрений и средств защиты растений

$$\sum_{s \in S} b_{sm}^{lp} x_s \leq B_m^{lp}, m \in M, \quad (5)$$

5) неотрицательности переменных

$$x_s \geq 0, \quad (6)$$

где x_s – искомая переменная, площадь культуры; p – вероятность события; c_s^{lp} – доход от производства единицы культуры s ; a_{os}^{lp} – расход ресурса o на единицу площади культуры s ; A_o^{lp} – наличие ресурса o -вида; V_w^{lp} – гарантированный объем производства продукции вида w ; B – площади земельных угодий; u_{ws}^{lp} – выход товарной продукции w -вида с единицы площади культуры s ; b_{sm}^{lp} – расход удобрений и средств защиты растений вида m на единицу площади культуры s ; B_m^{lp} – необходимый объем удобрений вида m ; S – количество выращиваемых культур; Q – число производимой продукции; M – количество видов удобрений и средств защиты растений, φ_{ws}^l – дополнительный объем продукции, необходимый для переработки, l – значение уровня: 4, 5 – благоприятные и неблагоприятные события.

Согласно условиям, выделенным в статье [7], модель (1)-(6) можно использовать, если для вероятностных характеристик модели выполняются неравенства:

$$p_{ws}^{HV} < p_{kws}^{HV}, \quad (7)$$

$$p_{ws}^{BV} < p_{kws}^{BV}, \quad (8)$$

где p_{ws}^{HV} и p_{ws}^{BV} – вероятности, соответствующие неблагоприятным и благоприятным событиям, а p_{kws}^{HV} и p_{kws}^{BV} – вероятности перехода значений характеристики в неблагоприятные и благоприятные события.

Выполнение данных неравенств означает, что фактическая вероятность наступления неблагоприятных событий оказывается ниже вероятности перехода значений характеристики в неблагоприятное событие, а для благоприятных событий ниже вероятности перехода значений характеристики в благоприятное событие.

Особенностью модели является введение параметра φ_{ws}^l , отражающего дополнительный объем продукции, необходимый для переработки в

зависимости от дефицита или избытка. В случае благоприятных условий данная характеристика принимает положительные значения, отражая объем избыточной продукции, который может быть направлен на формирование запасов, дополнительную переработку или реализацию:

$$\varphi_{ws}^l > 0. \quad (9)$$

В неблагоприятных условиях характеристика является отрицательной – дефицит сырья, который необходимо компенсировать за счет запасов или закупок:

$$\varphi_{ws}^l < 0. \quad (10)$$

В усредненных условиях:

$$\varphi_{ws}^l \approx 0. \quad (11)$$

Предложенная модель позволяет получать оптимальные решения для двух экстремальных уровней производства – благоприятных и неблагоприятных событий. В первом случае имеет место очень высокая урожайность и другие производственные характеристики. Полученный дополнительный объем продукции может быть направлен на переработку, реализацию или может быть размещен на складе и выступать в качестве запаса. Во втором случае, когда наблюдается очень низкая урожайность сельскохозяйственных культур и других производственных характеристик, возникает дефицит сырья для перерабатывающего предприятия. Размер дополнительного объема продукции, необходимого для переработки в таком случае зависит от степени неблагоприятных внешних условий.

Так как для товаропроизводителей процессы производства и переработки взаимосвязаны, модель (1)-(11) связана с моделью оптимизации переработки через соотношение, определяющее объемы сырья, используемого для переработки.

Модель переработки основана на модели распределения ресурсов. Целевая функция данной модели отражает чистую прибыль от реализации всех товаров:

$$Z = \sum_{j=J}^n q_j y_j \rightarrow \max, \quad (12)$$

при условиях

1) ограничения количества производимого товара

$$y_1 \leq k_1, y_2 \leq k_2, \dots, y_J \leq k_J, \quad (13)$$

2) достатка ресурсов для планируемого производства товаров

$$\sum_{j \in J} a_{wj} y_j \leq \sum_{s \in S} u_{ws}^{lp} x_s, \quad (14)$$

3) ограничения трудозатрат на производство продукции

$$\sum_{j \in J} d_{hj} y_j \leq D_h, h \in H, \quad (15)$$

4) неотрицательности переменных

$$y_j \geq 0, \quad (16)$$

где q_i – удельная прибыль единицы переработанной продукции вида j ; y_j – планируемые объемы производства продукции переработки вида j ; a_{wj} – количество единиц товарной продукции w , необходимой для производства одной единицы товара j ; k_j – потенциал производства продукции переработки y_j ; D_h – трудозатраты вида h на производство продукции j , d_{hj} – трудозатраты вида h на производство единицы продукции j .

При благоприятных событиях объемы произведенной продукции значительно возрастают, что увеличивает сырьевую базу для процесса переработки. Это позволяет увеличивать выпуск переработанной продукции при наличии необходимых мощностей перерабатывающего предприятия. При неблагоприятных событиях, объемы произведенной продукции сильно снижаются. Поэтому для обеспечения перерабатывающих мощностей сырьем может потребоваться привлечение дополнительных ресурсов из запасов или путем закупки.

Реализация модели (1)-(11) для СХАО “Белореченское” приведена в таблице 1.

При неблагоприятном событии, соответствующем средней вероятности – 0.0116, полученной с использованием распределения Пирсона III типа [2] для выборок с 29 значениями, объемы производства, снижаются по всем культурам, особенно это заметно для ячменя и овса. Прибыль падает до 957.81 млн руб., что составляет 32.3% от плана 2026 года для средних условий деятельности предприятия. При благоприятных событиях достигаются максимальные объемы по большинству культур, а прибыль возрастает до 1602.66 млн руб., что превышает показатель плана 2026 года для средних условий на 13.3%. Средняя вероятность такого события соответствует 0.0436. При построении распределения Пирсона III типа значения выборок, характеризующих прирост урожайности сельскохозяйственных культур, составляли 29.

Полученные объемы производства в рассматриваемых условиях деятельности предприятия использованы в качестве сырьевой базы для оптимизации получения продукции переработки (табл. 2).

Таблица 1 – Оптимальные решения реализации модели производства растениеводческой продукции в условиях экстремальных событий для СХАО “Белореченское”

Table 1 – Optimal solutions for the implementation of a crop production model in extreme conditions for the Belorechenskoye Agricultural JSC

Культура	Пшеница	Овес	Ячмень	Соя	Рапс	Прибыль, млн руб.	Средняя вероятность решения с редким событием, \bar{p}
Условия производства	x_1 , т	x_2 , т	x_3 , т	x_4 , т	x_5 , т		
Неблагоприятное событие	27927	3848	27370	133	13736	957.81	0.0116
Благоприятное событие	42052	7061	51886	373	23186	1602.66	0.0436

Анализ полученных результатов показывает, что объемы переработанной продукции и прибыль от ее реализации изменяются в зависимости от произведенной продукции при экстремальных событиях.

Таблица 2 – Оптимальные решения реализации модели переработки в условиях экстремальных событий для СХАО “Белореченское”

Table 2 – Optimal solutions for implementing a processing model under extreme events for the Belorechenskoye Agricultural JSC

Продукция	Мука (высший сорт)	Мука пшенично-ржаная	Прочая продукция МКП	Комбинированные корма	Масло соевое	Масло рапсовое	Прибыль, млн руб.	Средняя вероятность решения с редким событием, \bar{p}
Условия производства	y_1 , т	y_2 , т	y_3 , т	y_4 , т	y_5 , т	y_6 , т		
Неблагоприятное событие	350	400	350	29596.3	63.27	5723.2	1251.9	0.0116
Благоприятное событие	450	600	450	54315.9	177.7	9660.9	2169.1	0.0436

При редких неблагоприятных событиях наблюдается значительное падение объемов переработанной продукции. Прибыль от переработки в этом случае может составить 1251.9 млн руб., что значительно ниже плана 2026 года для средних событий на 34.3%. Для поддержания перерабатывающей отрасли рассматриваемому предприятию необходимо

взять из запасов или приобрести дополнительно около 11000 т пшеницы и 5000 т овса. При редких благоприятных событиях прибыль от переработки может быть увеличена до 2169.1 млн руб., что выше показателя для средних событий на 13.9%. Дальнейшее наращивание переработки невозможно вследствие действия ограничений (13), поэтому избыточное сырье, не прошедшее переработку, может быть направлено на реализацию либо заложено в запасы предприятия. В конкретном примере высвобождено примерно 9100 т пшеницы и 34000 т ячменя.

Предложенная модель производства и переработки для экстремальных событий позволяет товаропроизводителю оценивать диапазон возможных колебаний объемов продукции и прибыли, формировать запасы и эффективно управлять дефицитом ресурсов, обеспечивая тем самым устойчивость хозяйства.

Заключение. Разработана модель оптимизации производства и переработки аграрной продукции на основе параметрического программирования с учетом благоприятных и неблагоприятных событий, описывающая деятельность товаропроизводителя при благоприятных событиях и с учетом весомых рисков.

Связь модели производства аграрной продукции и переработки сырья осуществляется посредством ограничения, характеризующего получаемые объемы производства.

Предложенная модель реализована для предприятия СХАО “Белореченское” для планирования производства и переработки продукции для редких благоприятных и неблагоприятных событий.

Модель позволяет оценить критические уровни деятельности предприятия при низких и высоких показателях производства растениеводческой продукции с расчетной вероятностью.

Список литературы

1. Ананьев, Л.С. Об одной модели оптимизации производства, переработки и реализации продукции / Л.С. Ананьев, Я.М. Иванько // Научные исследования и разработки к внедрению в АПК: матер. нац. научно-практ. конф. молодых ученых с междунар. участием, посвящ. 80-летию Победы в Великой Отечественной войне. – Молодежный, 2025. – С. 228-235.
2. Блохинов, Е.Г. Распределение вероятностей величин речного стока / Е.Г. Блохинов // АН СССР. Ин-т водных проблем. – Москва: Наука, 1974. – 169 с.
3. Герасимов, А.Н. Моделирование производства продукции сельского хозяйства в регионах Российской Федерации / А.Н. Герасимов, Ю.С. Скрипниченко, В.Ю. Скрипниченко // Экономика сельского хозяйства России. – 2022. – № 7. – С. 66-71.
4. Горбунов, А.А. Управление рисками в сельском хозяйстве с использованием инструментов страхования / А.А. Горбунов, В.И. Прасолов // Modern Economy Success. – 2020. – № 1. – С. 99-103.
5. Демичев, В.В. Типизация регионов России и прогнозирование урожайности зерновых с учетом последствий глобального потепления / В.В. Демичев, И.И. Филатов // Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. – 2022. – № 7 (89). – С. 82-86.

6. Дударева, А.Б. Риски в сельском хозяйстве и неблагоприятные факторы агропромышленного производства / А.Б. Дударева, Т.С. Кравченко, А.А. Сидорин // Вестник техносферной безопасности и сельского развития. – 2024. – № 4(39). – С. 14-19.

7. Иваньо, Я.М. Информационные технологии многоуровневого моделирования в решении управленческих задач аграрного производства / Я.М. Иваньо, С.А. Петрова, В.В. Цыренжапова // Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2025. – Т. 21, № 4. – С. 850-857.

8. Иваньо, Я.М. Модели с детерминированными и неопределенными параметрами применительно к оптимизации сельскохозяйственных процессов / Я.М. Иваньо, М.Н. Барсукова // Вестник Московского государственного университета леса. Лесной вестник. – 2007. – № 6. – С. 156-160.

9. Иваньо, Я.М. Об одном алгоритме выделения аномальных уровней временного ряда для оценки рисков / Я.М. Иваньо, С.А. Петрова // Электронный научно-практический журнал “Актуальные вопросы аграрной науки”. – 2022. – № 42. – С. 48-57.

10. Иваньо, Я.М. Экономико-математические модели аграрного производства региона с интервальными природными и производственно-экологическими параметрами / Я.М. Иваньо, Е.А. Хогоева // Известия Иркутской государственной экономической академии. – 2013. – № 6. – С. 138-143.

11. Куликова, О.В. Чрезвычайные ситуации природного характера: климатические и агроэкологические угрозы для продовольственной безопасности Российской Федерации / О.В. Куликова, Ю.В. Сорокина // Вестник Саратовской государственной юридической академии. – 2025. – № 2(163). – С. 248-255.

12. Митрофанов, С.В. Влияние изменения климата на сельское хозяйство: экономическая оценка рисков и адаптационных мер / С.В. Митрофанов, М.Е. Буковский, С.С.Э. Какиева // Экономика и управление: проблемы, решения. – 2025. – Т. 8. – № 2 (155). – С. 147-155.

13. Носонов, А.М. Математическое моделирование принятия решений в агрогеографических исследованиях / А.М. Носонов // Региональные исследования. – 2017. – № 4(58). – С. 5-14.

14. Параметрическая оптимизация получения продовольственной продукции с учетом особенностей характеристик временных рядов / М.Н. Барсукова, Я.М. Иваньо, В.В. Цыренжапова, И.А. Ковадло // Лесной вестник. Forestry Bulletin. – 2025. – Т. 29, № 3. – С. 181-193.

15. Светлов, Н.М. Сценарный анализ последствий изменения климата для российского сельского хозяйства / Н.М. Светлов, Е.А. Шишкина // Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. – 2021. – № 6(75). – С. 74-85.

16. Сиптиц, С.О. Обоснование организационно-экономического механизма адаптации сельского хозяйства к долгосрочным климатическим изменениям / С.О. Сиптиц, И.А. Романенко, Н.Е. Евдокимова // Агропродовольственная политика России. – 2024. – № 6 (113). – С. 53-63.

17. Телегина, Ж.А. Приоритетные инструменты управления производственными рисками в условиях цифровой трансформации сельского хозяйства / Ж.А. Телегина // Экономика сельского хозяйства России. – 2021. – № 12. – С. 19-25.

18. Хамисов О.В. Оптимизация функции оптимального значения в задачах выпуклого параметрического программирования / О.В.Хамисов //Труды института математики и механики УрО РАН. - 2023. - Т. 29. - № 3. - С. 247-260.

19. Шокиров, Р. С. Особенности принятия управленческих решений в сельском хозяйстве в условиях изменения климата / Р. С. Шокиров, М.М. Файзибоев // Вестник

Таджикского государственного университета права, бизнеса и политики. Серия общественных наук. – 2025. – № 3(104). – С. 136-150.

20. Щербакова, А.С. Агроклиматические районы и урожайность сельскохозяйственных культур в изменяющихся условиях регионального климата / А.С. Щербакова // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2021. – Т. 16. – № 1 (61). – С. 142-147.

References

1. Anan'ev, L.S., Ivanyo, Ya.M. Ob odnoy modeli optimizatsii proizvodstva, pererabotki i realizatsii produktsii [About one model of optimization of production, processing and sale of production]. *Molodezhny*, 2025, pp. 228-235.

2. Blokhinov, E.G. Raspredelenie veroyatnostey velichin rechnogo stoka [Probability distribution of river runoff values]. Moscow: Nauka, 1974, 169 p.

3. Gerasimov, A.N. et al. Modelirovanie proizvodstva produktsii sel'skogo khozyaystva v regionakh Rossiyskoy Federatsii [Modeling agricultural production in the regions of the Russian Federation]. *Ehkonomika sel'skogo hozyajstva Rossii*, 2022, no. 7, pp. 66-71.

4. Gorbunov, A.A., Prasolov V.I. Upravlenie riskami v sel'skom khozyaystve s ispol'zovaniem instrumentov strakhovaniya [Risk management in agriculture using insurance tools]. *Modern Economy Success*, 2020, no. 1, pp. 99-103.

5. Demichev, V.V., Filatov, V.V. Tipizatsiya regionov Rossii i prognozirovanie urozhaynosti zernovykh s uchetom posledstviy global'nogo potepeniya [Classification of Russian regions and forecasting of grain yields considering the consequences of global warming]. *Ehkonomika, trud, upravlenie v sel'skom hozyajstve*, 2022, no. 7 (89), pp. 82-86.

6. Dudareva, A.B. et al. Riski v sel'skom khozyaystve i neblagopriyatnye faktory agropromyshlennogo proizvodstva [Risks in agriculture and unfavorable factors of agro-industrial production]. *Vestnik tehnosfernoj bezopasnosti i sel'skogo razvitiya*, 2024, no. 4(39), pp. 14-19.

7. Ivanyo, Ya.M. et al. Informatsionnye tekhnologii mnogourovnevnogo modelirovaniya v reshenii upravlencheskikh zadach agrarnogo proizvodstva [Information technologies of multilevel modeling in solving management problems of agricultural production]. *Sovremennye informacionnye tekhnologii i IT-obrazovanie*, 2025, vol. 21, no. 4, pp. 850-857.

8. Ivanyo, Ya. M., Barsukova, M.N. Modeli s determinirovannymi i neopredelennymi parametrami primenitel'no k optimizatsii sel'skokhozyaystvennykh protsessov [Models with deterministic and uncertain parameters applied to the optimization of agricultural processes]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa. Lesnoj vestnik*, 2007, no. 6, pp. 156-160.

9. Ivanyo, Ya.M, Petrova, S.A. Ob odnom algoritme vydeleniya anomal'nykh urovney vremennogo ryada dlya otsenki riskov [On one algorithm for identifying anomalous levels of a time series for risk assessment]. *Ehlektronnyj nauchno-prakticheskij zhurnal “Aktual'nye voprosy agrarnoy nauki”*, 2022, no. 42, pp. 48-57.

10. Ivanyo, Ya.M. Ekonomiko-matematicheskie modeli agrarnogo proizvodstva regiona s interval'nymi prirodnyimi i proizvodstvenno-ekologicheskimi parametrami [Economic and mathematical models of agricultural production in a region with interval natural and production-ecological parameters]. *Izvestiya Irkutskoj gosudarstvennoy ehkonomicheskoy akademii*, 2013, no. 6, pp. 138-143.

11. Kulikova, O.V., Sorokina, Yu.V. Chrezvychaynye situatsii prirodnogo kharaktera: klimaticheskie i agroekologicheskie ugrozy dlya prodovol'stvennoy bezopasnosti Rossiyskoy Federatsii [Natural emergencies: climate and agro-ecological threats to food security in the

Russian Federation]. Vestnik Saratovskoy gosudarstvennoy yuridicheskoy akademii, 2025, no. 2(163), pp. 248-255.

12. Mitrofanov, S.V. et al. Vliyanie izmeneniya klimata na sel'skoe khozyaystvo: ekonomicheskaya otsenka riskov i adaptatsionnykh mer [The Impact of Climate Change on Agriculture: An Economic Assessment of Risks and Adaptation Measures]. Ehkonomika i upravlenie: problemy, resheniya, 2025, vol. 8, no. 2 (155), pp. 147-155.

13. Nosonov, A.M. Matematicheskoe modelirovanie prinyatiya resheniy v agrogeograficheskikh issledovaniyakh [Mathematical modeling of decision making in agrogeographical research]. Regional'nye issledovaniya, 2017, no. 4(58), pp. 5-14.

14. Barsukova, M.N. et al. Parametricheskaya optimizatsiya polucheniya prodovol'stvennoy produktsii s uchetom osobennostey kharakteristik vremennykh ryadov [Parametric optimization of food production taking into account the characteristics of time series]. Lesnoy vestnik. Forestry Bulletin, 2025, vol. 29, no. 3, pp. 181-193.

15. Svetlov, N.M., Shishkina, E.A. Stsenarnyy analiz posledstviy izmeneniya klimata dlya rossiyskogo sel'skogo khozyaystva [Scenario analysis of the impacts of climate change on Russian agriculture]. Ehkonomika, trud, upravlenie v sel'skom hozyaystve, 2021, no. 6(75). pp. 74-85.

16. Siptits, S.O. et al. Obosnovanie organizatsionno-ekonomicheskogo mekhanizma adaptatsii sel'skogo khozyaystva k dolgosrochnym klimaticheskim izmeneniyam [Justification of the organizational and economic mechanism for adaptation of agriculture to long-term climate change]. Agroprodovol'stvennaya politika Rossii, 2024, no. 6 (113), pp. 53-63.

17. Telegina, Zh.A. Prioritetnye instrumenty upravleniya proizvodstvennymi riskami v usloviyakh tsifrovoy transformatsii sel'skogo khozyaystva [Priority tools for managing production risks in the context of digital transformation of agriculture]. Ehkonomika sel'skogo hozyaystva Rossii, 2021, no. 12, pp. 19-25.

18. Khamisov O.V. Optimizatsiya funktsii optimal'nogo znacheniya v zadachakh vypuklogo parametricheskogo programmirovaniya [Optimization of the optimal value function in convex parametric programming problems]. Proceedings of the Institute of Mathematics and Mechanics, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences., 2023, vol. 29, no. 3, pp. 247-260

19. Shokirov, R.S., Fayziboev, M.M. Osobennosti prinyatiya upravlencheskikh resheniy v sel'skom khozyaystve v usloviyakh izmeneniya klimata [Peculiarities of making management decisions in agriculture in the context of climate change]. Vestnik Tadzhijskogo gosudarstvennogo universiteta prava, biznesa i politiki. Seriya obshchestvennykh nauk, 2025, no. 3(104), pp. 136-150.

20. Shcherbakova, A.S. Agroklimaticheskie rayony i urozhaynost' sel'skokhozyaystvennykh kul'tur v izmenyayushchikhsya usloviyakh regional'nogo klimata [Agroclimatic regions and crop yields under changing regional climate conditions]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, 2021, vol. 16, no. 1 (61), pp. 142-147.

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: 19.03.2026

Поступила после рецензирования и доработки / Revised: 31.03.2026

Дата принятия к печати / Accepted: 09.04.2026

Сведения об авторах

Иваньо Ярослав Михайлович – доктор технических наук, профессор кафедры информатики и математического моделирования. Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского.

Контактная информация: ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, 664038, Россия, Иркутская область, муниципальный район Иркутский, с.п. Молодежное, п. Молодежный, 1/1, тел. 83952237330, e-mail: iymex@rambler.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4118-7185>.

Ананьев Леонид Сергеевич – аспирант 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 область, муниципальный район Иркутский, с.п. Молодежное, п. Молодежный, 1/1, тел. 89294359480, e-mail: Veinanalleo@yandex.ru.

Information about authors

Yaroslav M. Ivanyo – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Computer Science and Mathematical Modeling. Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky.

Contact information: FSBEI HE Irkutsk SAU, 664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk municipal district, Molodezhnoye village, Molodezhny, tel.: 83952237330, e-mail: iymex@rambler.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4118-7185>.

Leonid S. Ananayev – Postgraduate student at the Department of Informatics and Mathematical Modeling at 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 municipal district, Molodezhnoye village, Molodezhny, tel.: 89294359480, e-mail: Veinanalleo@yandex.ru.



DOI 10.51215/2411-6483-2026-58-77-89

УДК 632.9: 633.1

Научная статья

ВЛИЯНИЕ ДЕФЕКТОВ НА РЕСУРСНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАДИАЛЬНЫХ РАБОЧИХ КОЛЕС

О.В. Репецкий

Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского
*п. Молодежный, с.п. Молодежное, муниципальный район Иркутский,
Иркутская область, Россия*

Аннотация. Целью данного исследования является численный анализ влияния различных типов повреждений и дефектов на усталостную долговечность радиального рабочего колеса турбомашин. В турбинной технике повышение долговечности и надежности рабочих колес турбомашин имеет решающее значение, особенно в ситуациях, когда существуют эксплуатационные дефекты или несоответствия параметров. Дефекты, такие как трещины, царапины, изгиб, коррозия и неоднородность материала, могут значительно сократить срок службы компонентов, увеличивая риск аварийных ситуаций и повышая эксплуатационные расходы. В данной работе анализируются напряжения, возникающие в рабочем колесе турбинной машины во время работы, и численно анализируется влияние дефектов на долговечность рабочего колеса. В этом исследовании оценивается влияние повреждений на прочностные характеристики рабочего колеса турбинной машины посредством разработки математической модели на основе метода конечных элементов (МКЭ). Методология исследования основана на анализе МКЭ с использованием современных коммерческих программных пакетов и программ собственной разработки. Результаты анализа показывают, что усталостная долговечность рабочего колеса значительно варьируется в зависимости от расположения и ориентации трещин и повреждений. Полученные результаты могут быть использованы не только для разработки методов диагностики и прогнозирования срока службы турбомашин, но и для оптимизации конструкции с целью повышения эксплуатационной надежности. Практическая значимость работы связана с созданием инструмента для дальнейших исследований влияния дефектов лопаток на ресурсные характеристики как радиальных, так и осевых турбомашин.

Ключевые слова: турбомашин, радиальное колесо, долговечность, численный анализ, метод конечных элементов, дефекты, усталостное разрушение, прогнозирование ресурса.

Для цитирования: Репецкий О.В. Влияние дефектов на ресурсные характеристики радиальных рабочих колес. *Электронный научно-практический журнал “Актуальные вопросы аграрной науки”*. 2026; 1(58):77-89. DOI 10.51215/2411-6483-2026-58-77-89.

THE INFLUENCE OF DEFECTS ON THE RESOURCE CHARACTERISTICS OF RADIAL IMPELLERS

Oleg V. Repetskii

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

Abstract. The objective of this study is to numerically analyze the impact of various types of damage and defects on the fatigue life of a turbomachine radial impeller. In turbine engineering, improving the durability and reliability of turbomachine impellers is crucial, especially in situations where operational defects or parameter inconsistencies exist. Defects such as cracks, scratches, bending, corrosion, and material inhomogeneities can significantly reduce the service life of components, increasing the risk of accidents and increasing operating costs. This paper analyzes the stresses generated in a turbine impeller during operation and numerically evaluates the impact of defects on impeller life. This study assesses the impact of damage on the strength characteristics of a turbine impeller by developing a mathematical model based on the finite element method (FEM). The research methodology is based on FEM analysis using modern commercial software packages and proprietary programs. The analysis results show that impeller fatigue life varies significantly depending on the location and orientation of cracks and damage. The obtained results can be used not only to develop diagnostic methods and predict the service life of turbomachines but also to optimize the design to improve operational reliability. The practical significance of this work lies in the development of a tool for further research into the impact of blade defects on the service life of both radial and axial turbomachines.

Keywords: turbomachines, radial impeller, durability, numerical analysis, finite element method, defects, fatigue failure, service life prediction.

For citation: Repetskii O.V. The influence of defects on the resource characteristics of radial impellers. *Electronic scientific-Practical journal “Actual issues of agrarian science”*. 2026; 1(58):77-89. DOI 10.51215/2411-6483-2026-58-77-89.

Введение. Современные турбомашинны: газотурбинные двигатели, компрессоры, насосы и другие агрегаты – играют ключевую роль в энергетике, авиастроении, судостроении и нефтегазовом комплексе. Их надёжность и эффективность во многом определяются работоспособностью рабочих радиальных колёс ответственных элементов, воспринимающих значительные механические, термические и динамические нагрузки. Их долговечность напрямую зависит от качества изготовления, условий эксплуатации и наличия дефектов.

В процессе эксплуатации радиальные рабочие колёса подвергаются воздействию сложных факторов, таких как центробежная сила, газодинамические нагрузки от рабочего тела, температурный градиент, вибрация, коррозионно-эрозионный процесс [3-5, 7, 10-12, 18, 19]. Эти факторы провоцируют возникновение и развитие дефектов, которые локально концентрируют напряжения и инициируют усталостные трещины,

и, наконец, могут привести к катастрофическому разрушению колеса [6, 8, 9, 13, 17, 20]. Поэтому многие предыдущие исследователи провели различные экспериментальные анализы и предложили различные подходы, включая метод конечных элементов для численного анализа усталости, и спрогнозировали усталостную долговечность рабочих колес турбомашин на основе различных математических моделей [14-16].

Анализ типов повреждений, возникающих на рабочих колесах реальной турбинной машины и анализ влияния этих повреждений, имеют большое значение для рационального проектирования и нормальной эксплуатации турбинной машины.

Цель данного исследования – разработка методологии численного анализа влияния повреждений на долговечность рабочих колес турбин. Повреждения, включая трещины, обычно возникают в зонах концентрации напряжений [6, 7, 9]. На основании этого в данной статье проведен анализ напряжений в лопатке турбомашин, и на основе этого анализа определены и смоделированы места повреждений для анализа их влияния на рабочие колеса.

Методы исследования. В данной статье для исследования статических напряжений и долговечности технических систем использован метод конечных элементов (МКЭ).

Для исследования динамических характеристик и прогнозирования долговечности лопаточных дисков турбомашин МКЭ является самым эффективным инженерным средством и применен во многих научно-практических работах в области турбиностроения.

Этапы численного анализа влияния повреждений на рабочее колесо с использованием метода конечных элементов следующие:

- построение 3D модели колеса с дефектом;
- задание граничных условий;
- расчет статических напряжений;
- определение собственных частот и форм колебаний;
- расчёт полей напряжений и деформаций;
- анализ концентрации напряжений в зоне дефекта.

Собственные частоты рабочих колёс турбомашин – ключевой параметр, определяющий динамическую устойчивость, вибрационную надёжность и долговечность конструкции [1-3].

Уравнение движения при собственных колебаниях рабочего колеса [2, 3]:

$$M\delta + K\dot{\delta} = 0, \quad (1)$$

где M – матрица масс; K – матрица жесткости; $\dot{\delta}$ – вектор ускорений узловых точек; δ – вектор перемещений узловых точек.

Причём

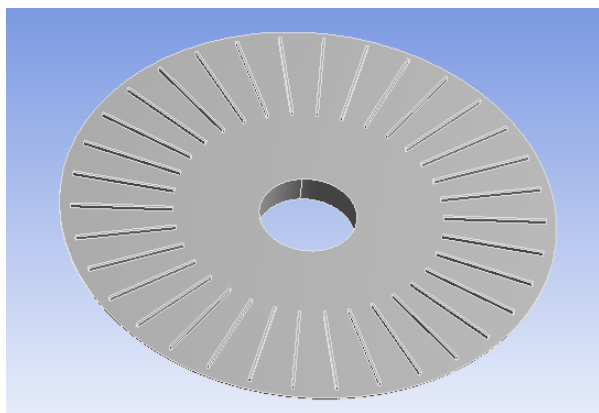
$$\delta = \delta_0 \cos(\omega t - \beta), \quad (2)$$

где δ_0 – амплитуда; ω – круговая частота системы, β – фаза колебаний.

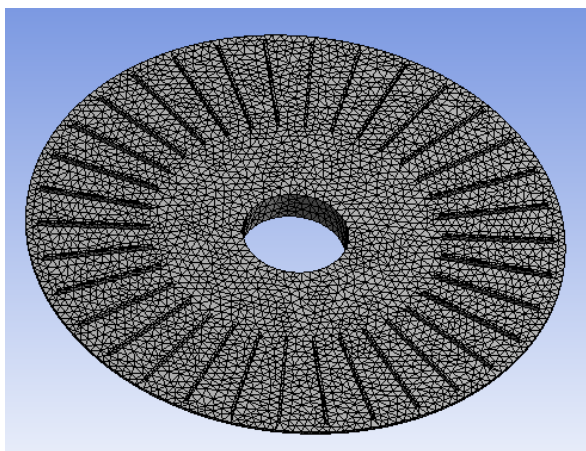
После преобразования получим

$$(K - \omega^2 M)\delta_0 = 0. \quad (3)$$

В данной статье объектом исследования является модельное радиальное колесо открытого типа с 34-мя лопатками. Основные механические характеристики конструкции имеют вид: материал рабочего колеса – сталь, модуль Юнга – $2.1 \cdot 10^5$ МПа, плотность – 7850 кг/м^3 , коэффициент Пуассона – 0.3. Геометрические характеристики модельного колеса: внешний радиус диска – 0.3045 м, радиус внутренний – 0,06 м, радиус лопаток – 0.2915 м, толщина лопатки – 0.003 м [1]. Общий вид рабочего колеса в формате 3D представлен на рисунке 1, а, где конструкция объекта была жестко закреплена по ободу диска. В качестве конечноэлементной модели (КЭМ) применяется конечный элемент TET10 программы ANSYS WORKBENCH с общим количеством конечных элементов 58382 и 115590 узловыми точками. Количество степеней свободы составляет 346770 (рис. 1, б).



а) Трёхмерная модель колеса



б) Конечноэлементная модель

Рисунок 1 – Трёхмерная модель рабочего колеса и КЭМ

Figure 1 – Three-dimensional model of the impeller and FEM

Для верификации разработанной КЭМ, выполнен анализ собственных частот и форм колебаний на уровне нескольких математических моделей. Согласно сведениям в таблице 1, следует отметить, что двухмерная модель для данного объекта дает большую погрешность. Для модели стыковки, где используется двухмерные и трехмерные конечные элементы [1], наибольшее расхождение по частотам имеет форма колебаний с тремя узловыми диаметрами. Для трехмерной модели и модели стыковки значения

собственных частот колебаний приблизительно согласуются с экспериментом, что подтверждает достаточную точность предлагаемых КЭМ.

Таблица 1 – Результаты анализа собственных частот колебаний (Гц) открытого колеса турбины на основе двух- и трехмерных КЭ

Table 1 – Results of the analysis of natural frequencies of oscillations (Hz) of an open turbine wheel based on two- and three-dimensional finite elements

Форма n/m	Двухмерная КЭМ (STIO18) BLADIS+[20]	Трехмерная КЭМ (TET10) ANSYS	Трехмерная КЭМ (IQTM48) BLADIS+[20]	Модель стыковки BLADIS+[20]	Эксперимент [20]
2/0	1117	834.84	806	1120	-
3/0	1263	984.55	999	1141	958
4/0	1423	1117.4	1153	1171	1095
5/0	1550	1282.4	1270	1218	1199

Для анализа влияния дефектов на рабочие колеса турбомашин смоделированы поврежденные рабочие колеса и проведены численные анализы. На рисунке 2 показана 3D-модель лопатки турбомашин с трещинами и повреждениями. Как показано на рисунке 2, а) показывает место повреждения в рабочем колесе, б) и в) показывают повреждения, а г), д) и е) показывают трещины.

Результаты исследования. Сначала проведен статический анализ лопаток колеса турбин с дефектом. Численные исследования выполнены в программе ANSYS.

Как показано на рисунке 2, при отсутствии повреждений и при наличии повреждений в верхней и в средней части рабочей лопатки образуется зона концентрации напряжений, горизонтальная по отношению к вращающемуся диску, а при возникновении повреждений в средней части рабочей лопатки зона концентрации напряжений появляется в поврежденной области.

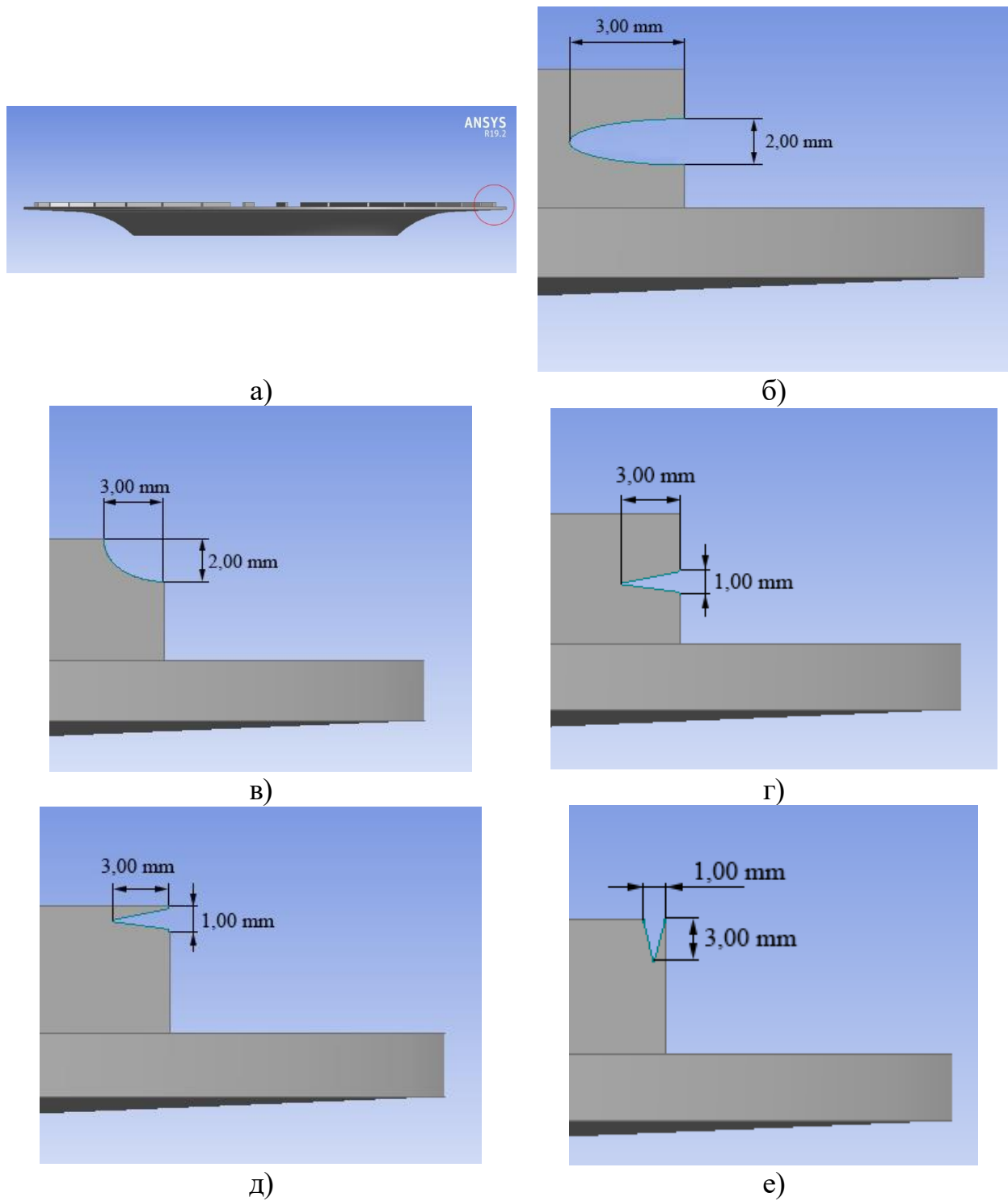


Рисунок 2 – Размеры и виды повреждений на рабочем колесе турбомашин

Figure 2 – Dimensions and types of damage on the turbomachine impeller

Как показано на рисунке 2, при отсутствии повреждений и при наличии повреждений в верхней и в средней части рабочей лопатки образуется зона концентрации напряжений, горизонтальная по отношению к вращающемуся диску, а при возникновении повреждений в средней части

рабочей лопатки зона концентрации напряжений появляется в поврежденной области.

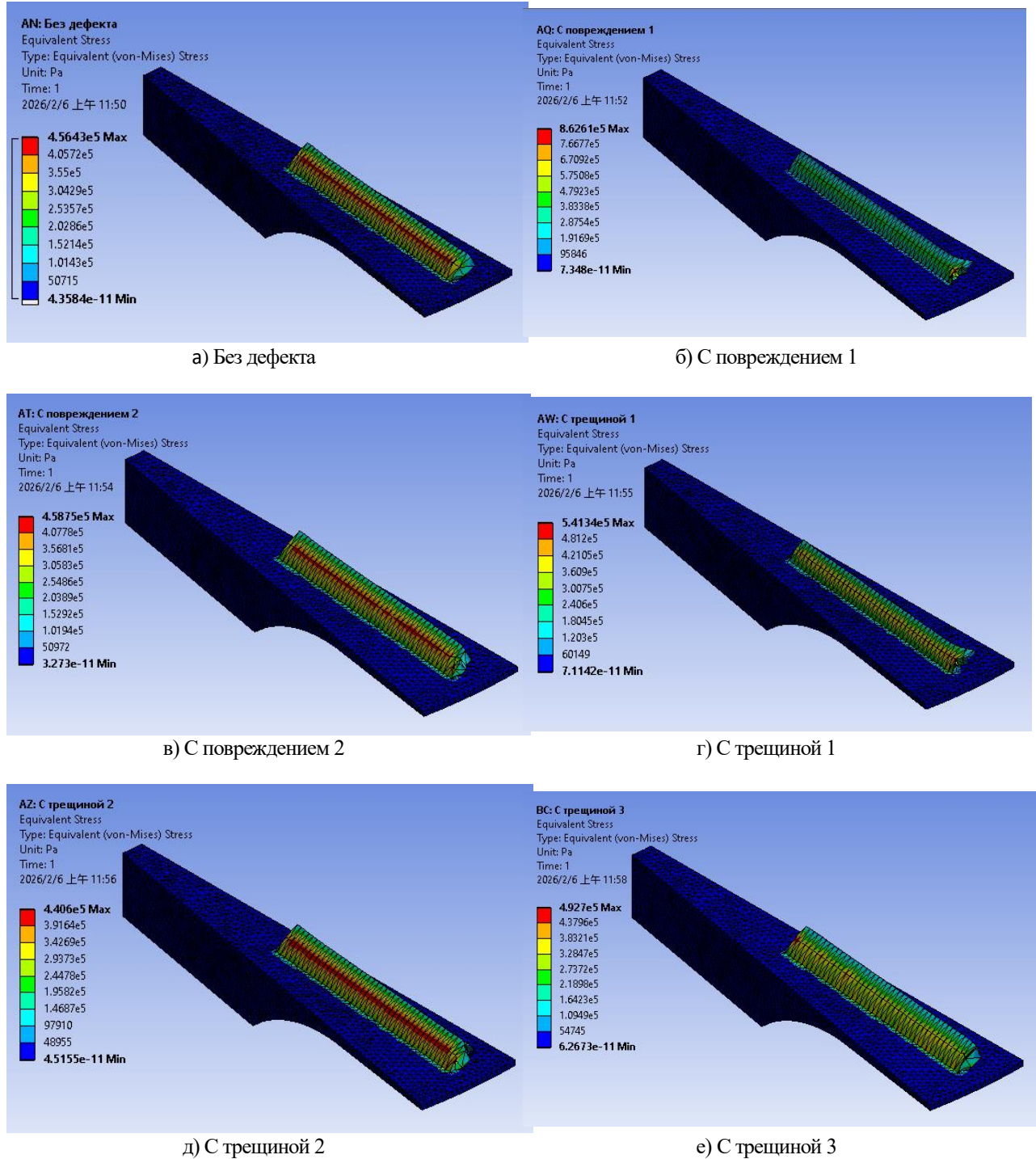


Рисунок 3 – Результаты расчёта статических напряжений

Figure 3 – Results of static stress calculation

Таблица 2 – Результаты расчёта статических напряжений (Па) на лопатках

Table 2 – Results of calculation of static stresses (Pa) on blades

Вариант	Максимум ($\times 10^5$ Па)	Минимум ($\times 10^{-11}$ Па)
Без дефекта	4.564	4.358
С повреждением 1	8.626	7.348
С повреждением 2	4.588	3.273
С трещиной 1	5.413	7.114
С трещиной 2	4.406	4.516
С трещиной 3	4.927	6.267

В таблице 2 представлены результаты расчета статических напряжений, приложенных к колесу. При уровне повреждения 1 имеет максимальное значение напряжения, почти вдвое превышающее эталонное значение (без повреждений). В других условиях максимальное напряжение демонстрирует темп увеличения менее 20%. Кроме того, минимальное напряжение является самым низким при повреждении 2. В частности, минимальное напряжение быстро возрастает при трещине 1, достигая значения на 63% выше эталонного. Таким образом, повреждение 1 существенно влияет на прочность, вызывая значительное увеличение максимального напряжения, а трещина 1 может повысить риск усталостного разрушения, создавая неравномерное распределение напряжений. Однако повреждение 2 и трещина 2 оказывают незначительное влияние.

Далее были рассчитаны собственные частоты и формы колебаний радиальных рабочих колес турбины.

Для проверки точности расчетов собственных частот и форм колебаний проведен сравнительный анализ с данными из литературы [20]. Результаты сравнительного анализа представлены в таблице 1. На рисунке 4 показана форма колебаний.

Как показано в таблице 1, погрешности для типов 3/0 и 4/0 минимальны ($\approx 1.3-1.4\%$), что подтверждает адекватность численной модели. В то время как для формы колебаний типа 5/0 наблюдается более высокая относительная погрешность ($\approx 2.38\%$), она находится в разумном диапазоне погрешностей для инженерных расчетов.

Результаты расчета собственных частот вращения рабочего колеса с угловой скоростью 314.159 рад/с в программной системе ANSYS WORKBENCH представлены в таблице 3.

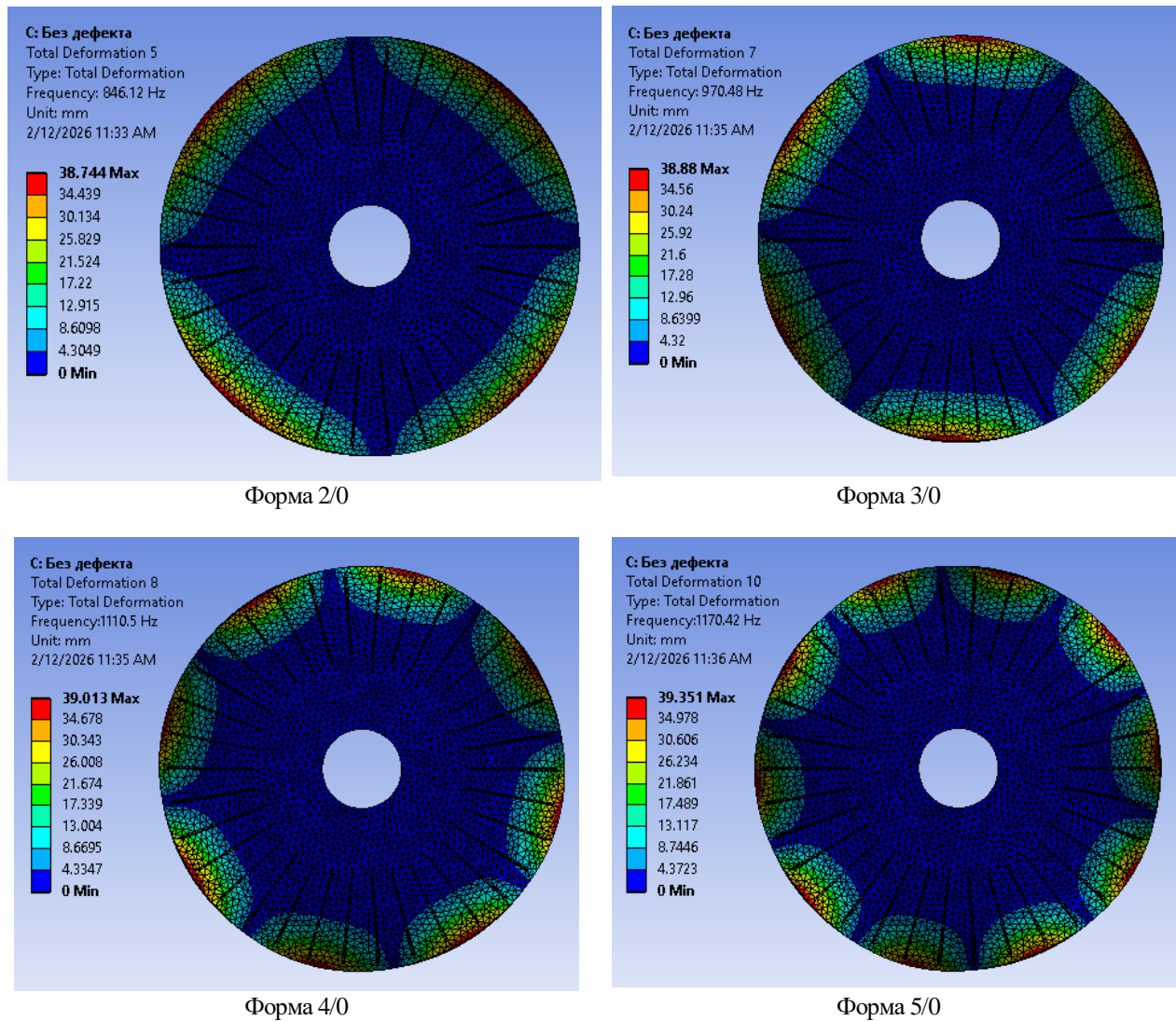


Рисунок 4 – Формы колебаний академического рабочего колеса

Figure 4 – Vibration shapes of an academic impeller

Повреждения 1 и 2 часто приводят к увеличению собственной частоты, тогда как трещины 1-3 в основном вызывают снижение частоты.

Мы проанализировали динамические напряжения, испытываемые рабочим колесом во время работы. Результаты анализа динамических напряжений показаны на рисунке 5.

Таблица 3 – Результат расчета собственных частот (Гц) на оборотах (314,159 рад/с)

Table 3 – Result of calculation of natural frequencies (Hz) at revolutions (314.159 rad/s)

Форма колебаний	Без дефекта	С повреждением 1	С повреждением 2	С трещиной 1	С трещиной 2	С трещиной 3
1	687.038	687.049	687.06	687.038	687.038	687.005
2	721.0224	721.0224	721.0448	721.0224	721.0112	720.9776
3	769.3062	769.3404	769.329	769.3176	769.329	769.2834
4	823.7044	823.7392	823.716	823.7044	823.716	823.6696
5	842.3784	842.3902	842.402	842.3784	842.3784	842.343
6	817.377	817.377	817.388	817.366	817.355	817.333
7	921.3344	921.3456	921.3568	921.3344	921.3344	921.3008
8	1099.028	1099.074	1099.04	1099.028	1099.063	1099.006
9	1128.135	1128.158	1128.158	1128.135	1128.146	1128.112
10	1306.732	1306.732	1306.732	1306.732	1306.732	1306.732

Таблица 4 – Результаты расчета статических напряжений

Table 4 – Results of static stress calculation

Вариант	Приведенное напряжение (Па)	
	максимум	минимум
Без дефекта	3.4941×10^7	4.97×10^5
С повреждением 1	3.5969×10^7	0.35829×10^5
С повреждением 2	3.4636×10^7	6.3221×10^5
С трещиной 1	3.4574×10^7	1.2732×10^5
С трещиной 2	3.5907×10^7	2.2575×10^5
С трещиной 3	3.4694×10^7	3.2936×10^5

Максимальное напряжение варьируется в диапазоне $3.4574-3.5969 \times 10^7$ Па. Наибольшее значение наблюдается при варианте “С повреждением 1” (3.5969×10^7 Па), наименьшее – при “С трещиной 1” (3.4574×10^7 Па).

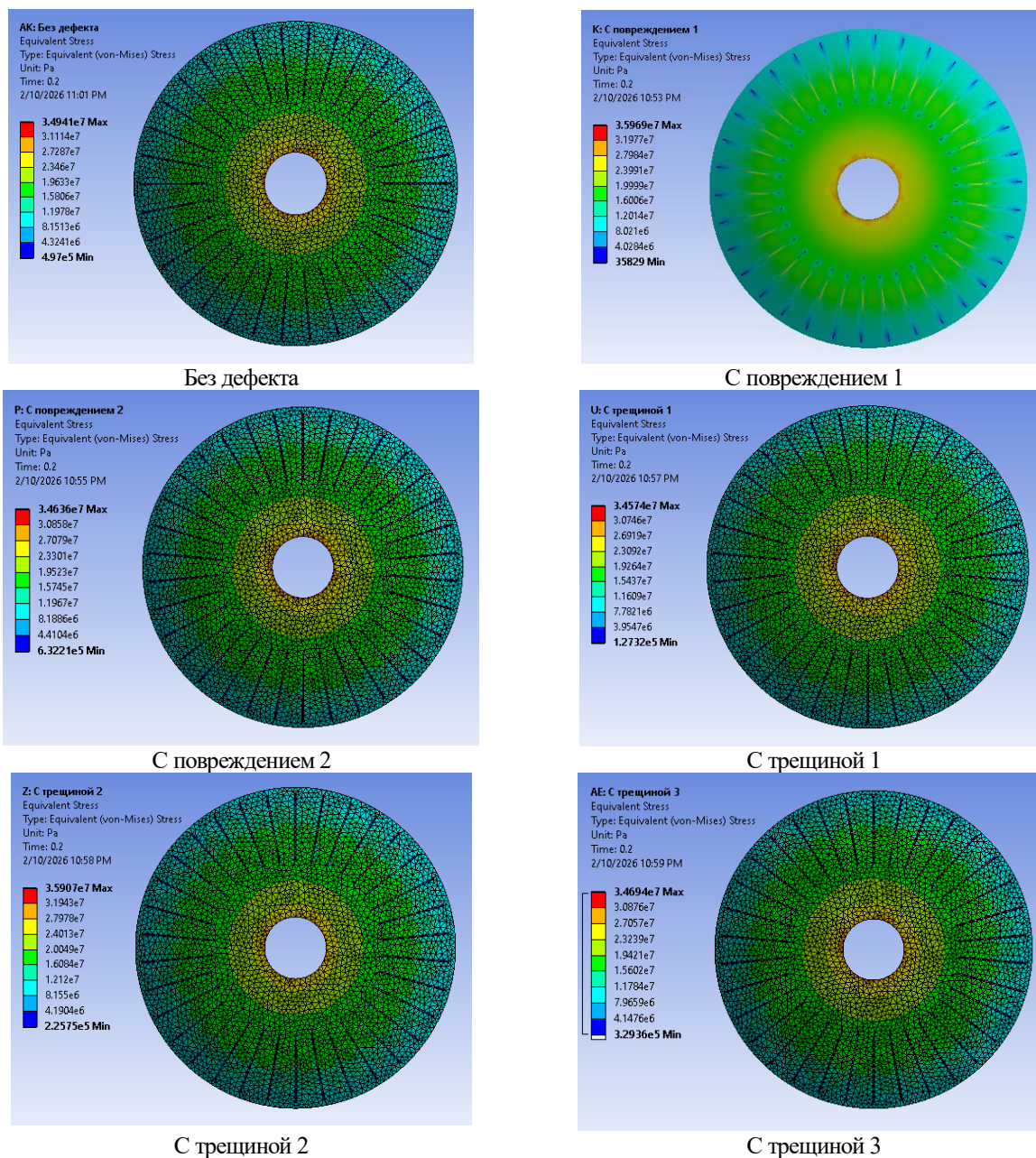


Рисунок 5 – Результаты расчета статических напряжений

Figure 5 – Results of static stress calculation

Выводы. В данной работе анализируются статические напряжения и частоты собственных колебаний радиальной крыльчатки с 34 лопатками и различными типами повреждений.

Повреждение 1 значительно увеличивает максимальное напряжение, в то время как повреждение 2 и трещины 2-3 оказывают относительно незначительное влияние на максимальное напряжение. Кроме того, повреждение 1 и трещина 1 представляют наибольший риск, поскольку вызывают дисбаланс напряжений, повышающий риск усталостного разрушения.

Как показано в таблице 3, повреждения 1-2 в основном увеличивают частоту, в то время как трещины 1-3 в основном уменьшают частоту. Таким

образом, хотя изменение частоты минимально, наибольшее значение зафиксировано для повреждения 1, что подтверждает его серьезность.

Повреждение 1 и трещина 1 увеличивают неравномерность распределения напряжений.

Численное моделирование с использованием ANSYS показало, что лопатки турбин очень чувствительны к определенным типам дефектов. Повреждение 1 и трещина 1 оказывают значительное негативное влияние на прочность и динамику конструкции, требуя особого внимания. Для обеспечения эксплуатационной надежности необходима система мониторинга ключевых режимов вибрации и зон концентрации напряжений.

Разработанный подход является рабочим инструментом для дальнейшего исследования и анализа влияния расстройки в виде дефектов лопаток ротора и статора на ресурсные характеристики рабочих лопаток осевых и радиальных турбомашин.

Список литературы

1. Репецкий, О.В. Математическое моделирование и численный анализ прочностных характеристик рабочих колес центробежных турбомашин / О.В. Репецкий, Д.К. Хоанг // Иркутск: Изд-во ИрГАУ. – 104 с.
2. Репецкий, О.В. Разработка математических моделей для оценки накопления повреждений и предсказания ресурса лопаточных венцов турбомашин / О.В. Репецкий // Известия высших учебных заведений. – Машиностроение. – 1995. – №1-3. – С. 45-53.
3. Репецкий, О.В., Нгуен, В.В. Численный анализ прочностных характеристик машиностроительных конструкций с расстройкой параметров / О.В. Репецкий, В.В. Нгуен // Вестник НГИЭИ. – 2019. – №7(98). – С. 27-38.
4. Azevedo, C.R.F., Sinátorá, A. Erosion-fatigue of steam turbine blades // Eng. Fail. Anal. 16 (7) (2009), pp. 2290-2303.
5. Bhaumik, S.K. et all. Failure of turbine rotor blisk of an aircraft engine // Eng. Fail. Anal. 9 (3) (2002), pp. 287-301.
6. Cheng, D.K. The fracture reason analysis and repair of rotor blade in nitric oxide compressor // Compressor Blower Fan Technol. 04 (2007) (46-8+51).
7. Ebara, R. Corrosion fatigue phenomena learned from failure analysis // Eng. Fail. Anal. 13 (3) (2006), pp. 516-525.
8. Hou, F. et all. Analysis on failure for cracking centrifugal compressor's impeller // Fluid Mach. 12 (2005), pp. 36-39.
9. Hu, Z.Z., Hu, N.S. Fracture analysis of a compressor impeller // J. Xi'an Jiaotong Univ. 04 (1986), pp. 13-20.
10. Kazempour-Liacy, H. et all. Corrosion and fatigue failure analysis of a forced draft fan blade // Eng. Fail. Anal. 18 (4) (2011), pp. 1193-1202.
11. Kim, H., Kang, Y. Crack evaluation and subsequent solution of the last stage blade in a low-pressure steam turbine // Eng. Fail. Anal. 17 (6) (2010), pp. 1397-1403.
12. Poursaeidi, E. et all. Failure analysis of an axial compressor first row rotating blades // Eng. Fail. Anal. 28 (0) (2013), pp. 25-33.
13. Poursaeidi, E., Salavatian, M. Failure analysis of generator rotor fan blades // Eng. Fail. Anal. 14 (5) (2007), pp. 851-860.
14. Repetskiy O. et all. Investigations of impact of various types of mistuning on bladed disks vibration and fatigue life // IFToMM Rotordynamics, 2010, 2012.
15. Santecchia, E. et all. A Review on Fatigue Life Prediction Methods for Metals // Advances in Materials Science and Engineering vol. 2016, Article ID 9573524, 26 p.

16. Tianrun, Gao et al. A practical nonlinear damage accumulation method to predict the life and crack propagation of blade subjected to multilevel cyclic fatigue loads // J. Strain Analysis 2020, vol. 55(3-4), pp. 86-98
17. Sivaprasad, S. et al. Investigation on the failure of air compressor // Eng. Fail. Anal. 17 (1) (2010), pp. 150-157.
18. Vardar, N., Ekerim, A. Failure analysis of gas turbine blades in a thermal power plant // Eng. Fail. Anal. 14 (4) (2007), pp. 743-749.
19. Wang, J.H. et al. A summary of fatigue fracture in turbine blades // Turbine Technol. 06 (1999), pp. 330-333.
20. Xiong X.L. The accident reason and treatment measure of a centrifugal compressor impeller // Chem. Equip. Anticorros. 04 (2003), pp. 23-24.

References

1. Repetskii, O.V., Hoang, D.K. Matematicheskoye modelirovaniye i chislennyy analiz prochnostnykh kharakteristik rabochikh koles tsentrobezhnykh turbomashin [Mathematical modeling and numerical analysis of the strength characteristics of impellers of centrifugal turbomachines]. Irkutsk, 104 p.
2. Repetskii, O.V. Razrabotka matematicheskikh modeley dlya otsenki nakopleniya povrezhdeniy i predkazaniya resursa lopatochnykh ventsov turbomashin [Development of mathematical models for assessing damage accumulation and predicting the service life of turbomachine blade rows]. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Mashinostroyeniye, 1995, no. 1-3, pp. 45-53.
3. Repetskii, O.V., Nguyen, V.V. Chislennyy analiz prochnostnykh kharakteristik mashinostroitel'nykh konstruktsiy s rasstroykoy parametrov [Numerical analysis of strength characteristics of mechanical engineering structures with parameter mismatch]. Vestnik NGIEI, 2019, no. 7 (98), pp. 27-38.

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: 18.03.2026

Поступила после рецензирования и доработки / Revised: 27.03.2026

Дата принятия к печати / Accepted: 09.04.2026

Сведения об авторе

Репецкий Олег Владимирович – доктор технических наук, профессор, проректор по международным связям. Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского.

Контактная информация: ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, 664038, Россия, Иркутская область, муниципальный район Иркутский, с.п. Молодежное, п. Молодежный, 1/1, тел. 89025108222, e-mail: repetckii@igsha.ru; ORCID ID: 0000-0003-2560-2721.

Information about author

Oleg V. Repetskii – Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice-Rector for International Relations. Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky.

Contact information: FSBEI HE Irkutsk SAU, 664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk municipal district, Molodezhnoye village, Molodezhny, tel. 89025108222, e-mail: repetckii@igsha.ru; ORCID ID: 0000-0003-2560-2721.



DOI 10.51215/2411-6483-2026-58-90-100

УДК 004.4:517:378.4

Научная статья

ИНТЕГРАЦИЯ ЦИФРОВЫХ ИНСТРУМЕНТОВ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ОБРАЗОВАНИЯ ИРКУТСКОГО ГАУ

Н.И. Федурин, Н.В. Бендик

Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского
*п. Молодежный, с.п. Молодежное, муниципальный район Иркутский,
Иркутская область, Россия*

Аннотация. В работе описан процесс интеграции цифровых инструментов, таких как ЭИОС Иркутского ГАУ, “1С: Университет ПРОФ” и “VIKON” для моделирования и прогнозирования показателей качества образования Иркутского ГАУ. Моделирование и прогнозирование показателей качества образования в вузе включает в себя сбор и анализ данных о достижении учебных целей, участии в учебных мероприятиях, активности в образовательном процессе, возможных проблемах и успехах студентов. Для исследования использованы основные группы показателей: академическая успеваемость (средний балл студента, доля неуспевающих студентов, процент отчислений, процент сохранности контингента и др.); вовлеченность студентов в образовательный процесс (посещаемость занятий, использование библиотечных систем и онлайн-платформ, участие в научных конференциях, проектах и грантах); ресурсное обеспечение образовательного процесса (оснащенность аудиторий, доступность ЭБС и электронных курсов обучения, квалификация преподавателей и др.); трудоустройство выпускников (трудоустройство по специальности, средняя зарплата выпускников, отзывы работодателей, кадровая потребность региона и др.). Авторами предлагается алгоритм интеграции программных средств, который включает следующие этапы. 1. Выгрузка данных из системы “1С:Университет ПРОФ” в формате .xml или через API. 2. Формирование отчетов об удовлетворенности образовательной деятельностью вуза. в модуле “ВСОКО” системы “VIKONT” 3. Интеграция данных и формирование модели прогнозирования с помощью аналитической платформы ЭИОС Иркутского ГАУ. В результате взаимодействия программных средств рассчитан интегральный показатель комплексного индекса качества образования за 2025 год. Проведен расчет для прогнозирования среднего балла студентов Иркутского ГАУ. В дальнейшем планируется для более эффективной работы и получения актуальных прогнозных значений использовать следующие цифровые инструменты: системы управления обучением; BI платформы для визуализации данных; платформы для имитационного моделирования и статистические методы, а также системы машинного обучения и нейронные сети.

Ключевые слова: интеграция, университет, мониторинг, качество образования, моделирование, прогнозирование, цифровые сервисы.

Для цитирования: Федурин Н.И., Бендик Н.В. Интеграция цифровых инструментов для моделирования и прогнозирования показателей качества образования Иркутского ГАУ. *Электронный научно-практический журнал “Актуальные вопросы аграрной науки”*. 2026; 1(58):90-100. DOI 10.51215/2411-6483-2026-58-90-100.

INTEGRATION OF DIGITAL TOOLS FOR MODELING AND FORECASTING EDUCATION QUALITY INDICATORS OF IRKUTSK SAU

Nina I. Fedurina, Nadezda V. Bendik

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

Abstract. This article describes the integration of digital tools, such as the Irkutsk SAU's Electronic Information and Learning System (EILS), 1C:University PROF, and VIKON, for modeling and forecasting education quality indicators at Irkutsk SAU. Modeling and forecasting education quality indicators at the university involves collecting and analyzing data on the achievement of learning goals, participation in learning activities, engagement in the educational process, potential student challenges, and student successes. The study utilized the following key indicators: academic performance (average student grade point average, proportion of failing students, dropout rate, retention rate, etc.); student engagement in the educational process (class attendance, use of library systems and online platforms, participation in scientific conferences, projects, and grants); resource provision for the educational process (equipment of classrooms, availability of electronic library systems and e-learning courses, faculty qualifications, etc.); graduate employment (employment in their field, average salary of graduates, employer feedback, regional personnel needs, etc.). The authors propose a software integration algorithm that includes the following steps. 1. Data upload from the 1C:University PROF system in .xml format or via API. 2. Generation of reports on satisfaction with the educational activities of the university. In the "VSOKO" module of the "VIKONT" system, 3. Data integration and forecasting model generation using the Irkutsk State Agrarian University's EIS analytical platform. The software tools combined to calculate the integrated indicator of the comprehensive education quality index for 2025. A calculation was also performed to predict the average grade point average (GPA) of Irkutsk State Agrarian University students. In the future, the following digital tools are planned for more efficient operation and obtaining up-to-date forecast values: learning management systems; BI platforms for data visualization; simulation platforms and statistical methods; and machine learning systems and neural networks.

Key words: integration, university, monitoring, education quality, modeling, forecasting, digital services.

For citation: Fedurina N.I., Bendik N.V. Integration of digital tools for modeling and forecasting education quality indicators of Irkutsk SAU. *Electronic scientific-Practical journal “Actual issues of agrarian science”*. 2026; 1(58):90-100. DOI 10.51215/2411-6483-2026-58-90-100.

Введение. В условиях роста конкуренции вузов и быстрого темпа цифровой трансформации образования [9] университеты сталкиваются с необходимостью достижения высоких показателей качества образования с целью повышения своего рейтинга [3, 6, 8, 10]. Для этого необходимо не только оценивать текущие показатели деятельности вуза, но и крайне важно прогнозировать такие показатели и мониторить их в динамике.

Целью данной статьи является анализ цифровых инструментов и интеграция их в единую систему для моделирования и прогнозирования

показателей качества образования университета на примере Иркутского ГАУ.

Материалы и методы. В качестве методов исследования в данной работе использованы методы систематизации информации о показателях качества деятельности университета, а также методы статистической обработки данных. В качестве материалов применены данные по образовательной деятельности Иркутского ГАУ.

Основные результаты. Мониторинг образовательной деятельности включает в себя сбор и анализ данных о достижении учебных целей, участии в учебных мероприятиях, активности в образовательном процессе, возможных проблемах и успехах студентов [1, 2, 7]. Для полноты картины о всех аспектах внутреннего мониторинга образовательной деятельности в Иркутском ГАУ выделим основные группы показателей:

1) академическая успеваемость (средний балл студента, доля неуспевающих студентов, процент отчислений, процент сохранности контингента и др.);

2) вовлеченность студентов в образовательный процесс (посещаемость занятий, использование библиотечных систем и онлайн-платформ, участие в научных конференциях, проектах и грантах);

3) ресурсное обеспечение образовательного процесса (оснащенность аудиторий, доступность ЭБС и электронных курсов обучения, квалификация преподавателей и др.);

4) трудоустройство выпускников (трудоустройство по специальности, средняя зарплата выпускников, отзывы работодателей, кадровая потребность региона и др.).

Список этих показателей можно продолжить, но остановимся на четырех группах и проанализируем какие цифровые инструменты или их сочетание можно применять и уже применяются в Иркутском ГАУ.

Для моделирования и прогнозирования данных об успеваемости студентов активно используется электронная информационно-образовательная среда университета (ЭИОС) [4]. ЭИОС разработана группой авторов и интегрирована с системой “1С: Университет ПРОФ”. На рисунке 1 отображен модуль ЭИОС, который дает возможность прогнозировать средний балл по результатам сессий, и рассчитывать вероятность успешного завершения обучения [5].

#	Шифр	Наименование	Успеваемость, %	Качество знаний, %	Средний балл
2	09.03.03	Прикладная информатика	100	78,4	4,09
5	21.03.02	Землеустройство и кадастры	100	93,2	4,56
6	35.03.01	Лесное дело	100	90,7	4,62
7	35.03.03	Агрохимия и агропочвоведение	100	85,7	4,37
8	35.03.04	Агрономия	100	84,9	4,26
10	35.03.07	Технология производства и переработки сельскохозяйственной продукции	100	80,8	4,27
11	35.03.08	Водные биоресурсы и аквакультура	100	98,9	4,65
12	35.03.10	Ландшафтная архитектура	100	86,5	4,53
13	36.03.01	Ветеринарно-санитарная экспертиза	100	96	4,29

Рисунок 1 – Сводная таблица оценки показателей успеваемости обучающихся университета

Figure 1 – Summary table of the assessment of academic performance indicators of students of the university's educational program

Авторами предлагается использовать комплексное решение для автоматизации управленческих процессов в вузе “1С: Университет ПРОФ” для оценки и прогнозирования качества образования. Так, например, можно спрогнозировать средний балл каждого студента третьего курса, используя данные модуля “Управление контингентом студентов”, где фиксируются текущие оценки, посещаемость, движение контингента (зачисление, отчисление, академический отпуск и др.), что позволит выявить тренд оттока студентов.

Для прогнозирования успеваемости из “1С: Университет ПРОФ” извлекаются данные:

X_1 и X_2 - средний балл за 1-й и 2-й курс соответственно;

X_3 – процент посещаемости;

X_4 – количество участия в научных конференциях;

X_5 – количество академических задолженностей.

Модель линейной регрессии имеет вид:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \beta_5 X_5 + \varepsilon, \quad (1)$$

где Y – прогнозируемый средний балл, ε – ошибка модели (неучтённые факторы); β_0 – свободный член и далее расчетный коэффициент. В нашем случае $\beta_0=1.5$, $\beta_1=0.3$ и так далее ..0.4; 0.01; 0.2 и -0.5.

Проведем расчет для 200 студентов института экономики, управления и прикладной информатики (ИЭУПИ) Иркутского ГАУ, используя механизм “внутренней обработки”. Создадим обработку “Расчёт коэффициентов регрессии”, добавляя реквизиты: *ТаблицаДанных (таблица значений); РезультатРасчёта (строка для вывода результатов)* (рис.2.)

$$Y = 1,5 + 0,30 \cdot X_1 + 0,40 \cdot X_2 + 0,010 \cdot X_3 + 0,20 \cdot X_4 - 0,50 \cdot X_5. \quad (2)$$

```
// Внешняя обработка: «Расчёт коэффициентов регрессии для прогноза успеваемости»

Перем ТаблицаДанных;
Перем РезультатРасчёта;

Процедура РассчитатьКоэффициенты(Команда)
    ТаблицаДанных = ПолучитьДанныеИзРегистров();

    Если ТаблицаДанных.Количество() = 0 Тогда
        Сообщить("Нет данных для расчёта!");
        Возврат;
    КонецЕсли;

    // Расчёт коэффициентов методом наименьших квадратов
    Коэффициенты = РассчитатьРегрессию(ТаблицаДанных);

    // Форматирование результата
    РезультатРасчёта =
        "β0 (свободный член): " + Формат(Коэффициенты.Бета0, "ЧДЦ=3") + Символы.ПС +
        "β1 (средний балл 1-го курса): " + Формат(Коэффициенты.Бета1, "ЧДЦ=3") + Символы.ПС +
        "β2 (средний балл 2-го курса): " + Формат(Коэффициенты.Бета2, "ЧДЦ=3") + Символы.ПС +
```

Рисунок 2 – Фрагмент листинга внешней обработки

Figure 2 – Fragment of external processing listing

В результате расчета получим средний балл 4,33; коэффициент детерминации $R^2=0,78$ и среднюю абсолютную ошибку 0,25, что позволяет с высокой вероятностью предположить, что на третьем курсе (выборка студентов ИЭУПИ) будет иметь средний балл в интервале 4,08-4,58 балла.

Помимо этого, в ЭИОС в портфолио студента хранятся данные его индивидуальных достижений, фиксируется количество обращений к ЭБС и электронным курсам, которые могут быть использованы для моделирования 2-ой группы показателей.

Показатели же третьей и четвертой групп возможно анализировать и моделировать благодаря комплексному интегрированному использованию двух систем:

– “1С:Университет ПРОФ”, где консолидируются все данные о сотрудниках (ученая степень, стаж работы, квалификация) и студентах (портфолио студента из ЭИОС);

– модуль “ВСОКО” системы “VIKON”, ориентированный на внутреннюю систему оценки качества образования (ВСОКО) и автоматизацию связанных с ней процессов, а именно анкетирование, анализ результатов анкетирования и формирования публичного контура “ВСОКО” (рис. 3).

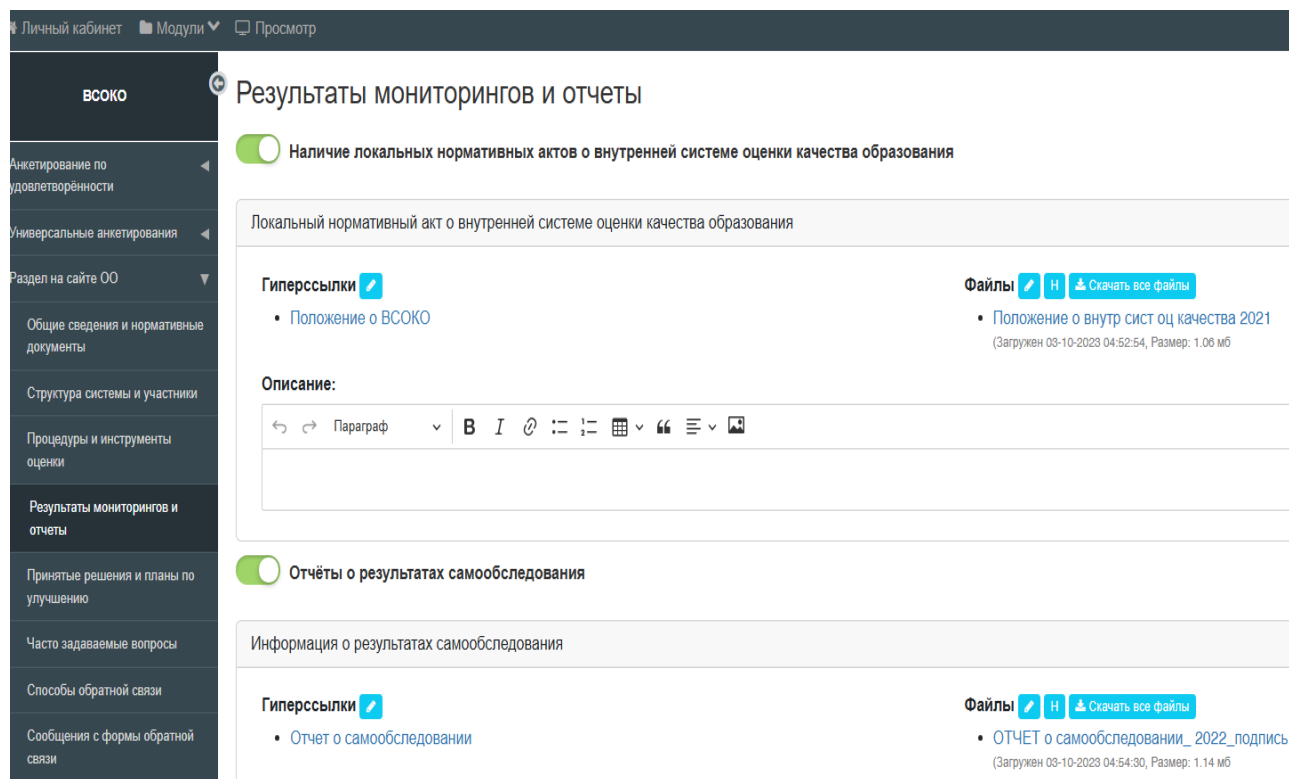


Рисунок 3 – Окно модуля ВСОКО “Результаты мониторинга и отчеты”

Figure 3 – Window of the VSOKO module “Monitoring results and reports”

Используя данные модуля “ВСОКО” по анкетированию, проанализируем удовлетворенность качеством образовательного процесса в университете. Для этого введем показатель

$$I_P = 4Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4, \quad (3)$$

где Q_1, Q_2, Q_3, Q_4 – уровень удовлетворенности по условиям труда, заработной плате, методическому обеспечению, техническому обеспечению аудиторий. В нашем случае (по шкале от 1 до 5 баллов) $I_P = 4 \times 4 + 3 + 4 + 5 = 28$. При оценке удовлетворенности преподавателя условиями труда использовались четыре показателя, полученные в результате анкетирования, поэтому Q_1 учитывается с множителем 4.

Анализ корреляционных связей по Пирсону показал: между I_P и средним баллом студентов Y $R = 0,68$, а между I_P и процентом отчисления K - $R = -0,55$.

Исходя из выявленных связей, можно говорить о том, что наблюдается тенденция влияния удовлетворенности преподавателей на качество образования – средний балл студента и процент отчислений, хотя эта связь неустойчива.

Возможно проводить и комплексную оценку, используя данные из системы “1С:Университет”. Например, используя средний балл за период обучения, участие в практиках, количество публикаций и итоги анкетирования из модуля ВСОКО по результатам практик, рассчитать уровень трудоустройства для направления подготовки или факультета.

Рассчитан интегральный показатель комплексного индекса качества образования для ИЭУПИ за 2025 год по результатам отчета ВСОКО. Формула для расчета индекса имеет следующий вид:

$$q=w_1 \cdot A+w_2 \cdot E+w_3 \cdot D+w_4 \cdot F+w_5 \cdot P, \quad (4)$$

где A – академическая успеваемость (80 баллов (вес $w_1=0,3$));

E – вовлечённость студентов (85 баллов (вес $w_2=0,2$));

D – трудоустройство выпускников (90 баллов (вес $w_3=0,25$));

F – ресурсное обеспечение (75 баллов (вес $w_4=0,15$));

P – удовлетворённость преподавателей (82 балла (вес $w_5=0,1$)).

Весовые коэффициенты определены экспертным методом, в котором задействована 4 эксперта в области высшего образования. Комплексный индекс составил:

$$q=0,3 \cdot 80+0,2 \cdot 85+0,25 \cdot 90+0,15 \cdot 75+0,1 \cdot 82=83,7 \text{ балла.}$$

Интегральный индекс качества образования, равный 83,7 балла, считается высоким результатом, так как максимальная оценка по каждому компоненту принята за 100 баллов. Это свидетельствует о хорошей работе ИЭУПИ по большинству направлений.

Для агрономического факультета такой интегральный индекс составил:

$$q=0,3 \cdot 75+0,25 \cdot 80+0,35 \cdot 90+0,1 \cdot 70=22,5+20+31,5+7=81 \text{ балл.}$$

Рассчитав такой показатель по каждому структурному подразделению университета или по каждой образовательной программе, можно выстроить рейтинг факультетов или образовательных программ.

Схема предполагаемой работы интегрированных данных выглядит следующим образом.

1. Выгружаются данные из системы “1С:Университет ПРОФ” (успеваемость, посещаемость, движение контингента, портфолио студента и т.д.) в формате .xml или через API.

2. В модуле “ВСОКО” системы “VIKONT” формируются отчеты об удовлетворённости образовательной деятельностью (преподавателей, студентов, работодателей, родителей и прочих стейкхолдеров) также в формате .xml.

3. Аналитическая платформа ЭИОС интегрирует данные и формирует модели прогнозирования.

Комбинированное использование систем “1С:Университет ПРОФ” и “VIKON.ВСОКО”, а также создание модуля “Аналитическая платформа” ЭИОС позволяет сформировать более полную картину качества образования.

В дальнейшем планируется усовершенствовать интеграцию цифровых сервисов за счет следующих операций.

1. Синергия количественных и качественных данных (“1С:Университет ПРОФ” предоставляет объективные метрики (успеваемость, посещаемость), а “VIKON.ВСОКО” – субъективные оценки участников образовательного процесса).

2. Расширение базы данных для моделирования (объединение информации об успеваемости, движении контингента, результатах анкетирования и других параметрах повышает точность прогнозов).

3. Автоматизация сбора и анализа данных (снижение “человеческого фактора” и ускорение обработки информации, что критично для оперативного управления качеством образования).

4. Соответствие нормативным требованиям. (интеграция с государственными системами через “1С:Университет ПРОФ” и соответствие Приказу №660/306/448 через “VIKON.ВСОКО” обеспечивают соблюдение законодательства).

5. Интеграция с федеральными системами (например, с ГИС СЦОС, ФИС ГИА и приёма, ЕПГУ, это обеспечивает синхронизацию данных с государственными информационными системами, что критично для соблюдения нормативных требований и анализа в масштабах страны).

Такой подход позволяет выявлять сильные и слабые стороны каждой образовательной программы, факультета или института Иркутского ГАУ. Давать рекомендации по низким показателям, например, снижение процента отчисленных, увеличение количества участвующих в научно-исследовательской деятельности, повышение технической оснащённости лабораторий и т.д.

Заключение. В рамках создания аналитического цифрового сервиса осуществляется интеграция разработанных и внедренных информационных систем вуза для моделирования и прогнозирования показателей качества деятельности университета. Кстати сказать, часть модулей находится в стадии опытного внедрения в ЭИОС университета.

Приведены примеры решения задач оценки образовательных программ при взаимодействии системы “1С:Университет ПРОФ”, ЭИОС и модуля “ВСОКО” системы “VIKONT”.

Для более эффективной работы и получения актуальных прогнозных значений предлагается использовать следующие цифровые инструменты: системы управления обучением (LMS), в частности, Moodle; BI-платформы для визуализации данных; платформы для имитационного моделирования и статистической обработки данных; алгоритмы машинного обучения и нейронные сети.

Список литературы

1. Аветисов, А.А. Оптимизационная модель оценки и управления качеством подготовки студентов в вузе / А.А. Аветисов, Т.В. Камышникова // Проблемы качества, его нормирования и стандартов в образовании. М.: Исследовательский центр проблем качества подготовки специалистов. – 1998. – С. 105-109.
2. Азимова, А.А. Анализ информационных систем мониторинга деятельности вузов // Бюллетень науки и практики. – Т. 8. – № 9. – 2022. – С. 552-555
3. Асалханов, П.Г. Формирование цифрового образовательного контента Иркутского ГАУ / П.Г. Асалханов, Н.В. Бендик, Н.И. Федурин // Информационные и математические технологии в науке и управлении: тезисы XXVIII Байкальской Всерос. конф. с междунар. участием, Иркутск, 29 июня – 08 июля 2023 года / Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН. – Иркутск, 2023. – С. 14. – EDN YQQIZY.
4. Баймаков, А.А. Электронная информационно-образовательная среда университета: возможности и перспективы развития / А.А. Баймаков, Я.М. Иванько // Научные исследования и разработки к внедрению в АПК: матер. междунар. научно-практ. конф. молодых ученых, п. Молодежный, 16-17 марта 2023 года. – п. Молодежный: Иркутский ГАУ. – 2023. – С. 486-491. – EDN KFKYTF.
5. Баймаков, А.А. Электронно-информационная образовательная среда и прогнозирование деятельности университета / А.А. Баймаков, Я.М. Иванько, Н.И. Федурин // Цифровые технологии и математическое моделирование в науке, образовании и производстве: матер. Всерос. научно-практ. конф. для преподавателей и научных сотрудников, Иркутск, 26–27 сентября 2024 года. – Иркутск: Иркутский ГАУ, 2024. – С. 165-173. – EDN PTQIVN.
6. Бодякина, Т.В. О цифровизации образования в вузе / Т.В. Бодякина, Е.В. Елтошкина // Прикладные аспекты математики и естественных наук в образовании, технике и экономике: матер. междунар. научно-практ. конф., посвящ. 90-летию кафедры математики, Иркутск, 23–24 мая 2024 года. – п. Молодежный: Иркутский ГАУ, 2024. – С. 226-231. – EDN OLPSWW.
7. Киселева, О.М. Математическая модель как основа для разработки образовательной информационной системы / О.М. Киселева, А.А. Быков, Н.А. Скуратова // Естественные и технические науки. – 2023. – № 10(185). – С. 12-16. – EDN NYKCWV.
8. Макаров, А.В. Концепция интеграции модуля “Портфолио студента” с ЭИОС университета / А.В. Макаров, Н.И. Федурин // В книге: Цифровизация в системе образования: теоретические и прикладные аспекты: сб. тезисов регион. научно-практ. конф. п. Молодежный, 2023. – С. 19-21.
9. Полковская, М.Н. О развитии цифровых платформ в России / М.Н. Полковская, Н.И. Федурин // Формализация как основа цифровой экономики: матер. Всерос. научно-практ. конф. с междунар. участием, посвящ. 75-летию со дня рождения и 50-летию научно-педагогической деятельности Заслуженного экономиста РФ, д.э.н., профессора Ованесяна Сергея Суменовича, Иркутск, 12 декабря 2018 года. – Иркутск: Иркутский ГАУ, 2018. – С. 9-15. – EDN YXXJYT.
10. Belyakova, A.Yu. et all. Federal and state information systems in the

development of agriculture and education. 2025, pp. 58-65. – EDN USPKAF.

References

1. Avetisov, A.A., Kamyshnikova, T.V. Optimizacionnaya model' ocenki i upravleniya kachestvom podgotovki studentov v vuze [Optimization model for assessing and managing the quality of student training at a university]. Problemy kachestva, ego normirovaniya i standartov v obrazovanii. Moscow, 1998, 105-109.
2. Azimova, A.A. Analiz informacionnyh sistem monitoringa deyatel'nosti vuzov [Analysis of information systems for monitoring the activities of universities]. Byulleten' nauki i praktiki, vol. 8, no. 9, 2022, pp. 552-555.
3. Asalhanov, P.G. et all. Formirovanie cifrovogo obrazovatel'nogo kontenta Irkutskogo GAU. Informacionnye i matematicheskie tekhnologii v nauke i upravlenii [Development of digital educational content for Irkutsk State Agrarian University]. Irkutsk, 2023, pp. 14. – EDN YQQIZY.
4. Bajmakov, A.A., Ivan'o, Ya.M. Elektronnaya informacionno-obrazovatel'naya sreda universiteta: vozmozhnosti i perspektivy razvitiya [Electronic information and educational environment of the university: opportunities and development prospects]. Molodezhnyj, 2023, pp. 486-491. – EDN KFKYTF.
5. Bajmakov, A.A. et all. Elektronno-informacionnaya obrazovatel'naya sreda i prognozirovaniye deyatel'nosti universiteta [Electronic information educational environment and forecasting of university activities]. Irkutsk, 2024, pp. 165-173. – EDN PTQIVN.
6. Bodyakina, T.V., Eltoshkina, E.V. O cifrovizacii obrazovaniya v vuze [On the digitalization of education at the university]. Molodezhnyj, 2024, pp. 226-231. – EDN OLPSWW.
7. Kiseleva, O.M. et all. Matematicheskaya model' kak osnova dlya razrabotki obrazovatel'noj informacionnoj sistemy [Mathematical model as a basis for the development of an educational information system]. Estestvennye i tekhnicheskie nauki, 2023, no. 10(185), pp. 12-16. – EDN NYKCWW.
8. Makarov, A.V., Fedurina, N.I. Konceptiya integracii modulya “Portfolio studenta” s EIOS universiteta [The concept of integrating the Student Portfolio module with the University's Electronic Information System (EISS)]. Molodezhnyj, 2023, pp. 19-21.
9. Polkovskaya, M.N., Fedurina, N.I. O razvitiy cifrovyyh platform v Rossii [On the development of digital platforms in Russia]. Irkutsk, 2018, pp. 9-15. – EDN YXXJYT.

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: 22.03.2026

Поступила после рецензирования и доработки / Revised: 28.03.2026

Дата принятия к печати / Accepted: 09.04.2026

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, муниципальный район Иркутский, с.п. Молодежное, п. Молодежный, 1/1, e-mail: fedurina_n@mail.ru, ORCID <https://orcid.org/0000-0002-8714-6859>

Бендик Надежда Владимировна – 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, муниципальный район Иркутский, с.п. Молодежное, п. Молодежный, 1/1, e-mail: bendik_nv@irsau.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3097-8953>.

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.

Contact information: FSBEI HE Irkutsk SAU, 664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk municipal district, Molodezhnoye village, Molodezhny, e-mail: fedurina_n@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8714-6859>

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

Contact information: FSBEI HE Irkutsk SAU, 664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk municipal district, Molodezhnoye village, Molodezhny, e-mail: bendik_nv@irsau.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3097-8953>.

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. **Вниманию 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 1(58)

март

Технический редактор – Н.В. Спиридонова

Перевод – П.Г. Асалханов

Лицензия на издательскую деятельность

ЛР № 070444 от 11.03.98 г.

Дата выхода: 13.04.2026.

Усл. печ. л. 6,68.

Адрес редакции, издателя, типографии:

Издательство ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ
664038, Иркутская обл., муницип. р-н. Иркутский
сельск. пос. Молодежное, пос. Молодежный, зд. 1/1