

электронный научно-практический журнал
ELECTRONIC SCIENTIFIC-PRACTICAL JOURNAL

актуальные вопросы аграрной науки

ACTUAL ISSUES
OF AGRARIAN SCIENCE

выпуск 2(59)
ИЮНЬ
VOLUME 2(59)
JUNE

ISSN: 2411-6483

МОЛОДЁЖНЫЙ 2026



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

2026 Выпуск 2(59)

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

2026 Volume 2(59)

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 10.51215/2411-6483-2026-59

Электронный научно-практический журнал “Актуальные вопросы аграрной науки”, 2026, выпуск 2(59), июнь.

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

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

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

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

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

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

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

Республика Узбекистан: Ташкентский государственный аграрный университет: Ш. 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 2(59), June.
It is edited under the decision of the Scientific Council of the Irkutsk State Academy of Agriculture since November, 2011.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Certificate 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

<i>Агафонов С.В., Косарева А.В., Аносова А.И., Шуханов С.Н.</i> Модернизация печи для химико-термической обработки	8
<i>Рудых А.В.</i> Регулирование скорости привода вакуумного насоса доильного аппарата	19
<i>Сырбаков А.П., Бураев М.К.</i> Надежность транспортно-технологических машин в зональных условиях эксплуатации	29
<i>Черных А.Г.</i> Сравнение характеристик дождевателей Nelson в круговых оросительных системах	38

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА, УПРАВЛЕНИЕ, МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

<i>Ананьев Л.С.</i> Алгоритм многоуровневой многоэтапной оптимизации производства, переработки и реализации растениеводческой продукции	49
<i>Иванько Я.М., Купченко Д.Ф.</i> База знаний “Агрокультуры, дикоросы и безопасность растений”	60
<i>Колокольцева И.М.</i> Имитационное моделирование численности мышевидных грызунов и саранчовых вредителей сельскохозяйственных культур	75
<i>Цыренжапова В.В.</i> Вероятностные распределения в решении задачи многоуровневого моделирования урожайности сельскохозяйственных культур	90

CONTENS

MECHANIZATION, ELECTRIFICATION, AGRO-ENGINEERING SYSTEMS

<i>Agafonov S.V., Kosareva A.V., Anosova A.I., Shukhanov S.N.</i> Modernization of a furnace for chemical-thermal treatment	8
<i>Rudykh A.V.</i> Speed control of the vacuum pump drive of the milking machine	19
<i>Syrbakov A.P., Buraev M.K.</i> Reliability of transport and technological machines in zonal operating conditions	29
<i>Chernykh A.G.</i> Comparison of Nelson sprinkler characteristics in pivot irrigation systems	38

INFORMATICS, COMPUTER ENGINEERING, MANAGEMENT, MATHEMATICAL MODELING

<i>Ananev L.S.</i> Algorithm of multilevel multistage optimization of production, processing and sales of crop products	49
<i>Ivanyo Ya.M., Kupchenko D.F.</i> Knowledge base “Agrocrops, wild plants, and plant safety”	60
<i>Kolokoltseva I.M.</i> Simulation modeling of the number of morous rodents and locust pests of agricultural crops	75
<i>Tsyrenzhapova V.V.</i> Probability distributions in solving the problem of multilevel modeling of agricultural crops' yield	90



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

DOI 10.51215/2411-6483-2026-59-8-18
УДК 621.785.532

Научная статья

**МОДЕРНИЗАЦИЯ ПЕЧИ ДЛЯ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ
ОБРАБОТКИ**

С.В. Агафонов, А.В. Косарева, А.И. Аносова, С.Н. Шуханов

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

Аннотация. Развитие ремонтного производства требует улучшения качества восстанавливаемых деталей, так как в настоящее время эксплуатационная надёжность деталей остаётся низкой. Ресурс деталей после восстановления составляет в среднем не более 60-80% ресурса новых деталей. В связи с этим является актуальной задача восстановления деталей на основе разработки новых прогрессивных технологических процессов. При решении проблемы повышения надёжности и долговечности деталей машин и механизмов важнейшая роль принадлежит методам поверхностного упрочнения, среди которых наиболее эффективным является химико-термическая обработка (ХТО). При этом, наряду с созданием новых вариантов ХТО, представляют интерес изыскание неиспользованных резервов традиционных процессов ХТО: цементации, нитроцементации, азотирования, позволяющие в сжатые сроки с минимальными энергетическими, трудовыми и материальными затратами получить значительный эффект. Сущность модернизации печи Ц-105 заключается в изменении конструкции затвора и использовании специального уплотнения. Она может быть осуществлена либо с полной заменой стандартного затвора и удалением из его конструкции вентилятора и привода, либо с частичной модернизацией существующего затвора, с сохранением вентилятора и привода. Модернизированная печь Ц-105А может быть использована как универсальная установка для ХТО (цементации, нитроцементации, азотирования). От печи Ц-105А, не подвергнутой модернизации, она выгодно отличается повышенной ремонтпригодностью, которая обуславливается сравнительной простотой выполнения разборочно-сборочных и регулировочных работ, выполняемых при техническом обслуживании печи, а также в аварийной ситуации.

Ключевые слова: нитроцементация, дозатор, карбюризатор, печь Ц-105, модернизация.

Для цитирования: Агафонов С.В., Косарева А.В., Аносова А.И., Шуханов С.Н. Модернизация печи для химико-термической обработки. *Электронный научно-практический журнал “Актуальные вопросы аграрной науки”*. 2026; 2(59):8-18. DOI: 10.51215/2411-6483-2026-59-8-18.

MODERNIZATION OF A FURNACE FOR CHEMICAL-THERMAL TREATMENT

Sergey V. Agafonov, Anna V. Kosareva, Anna I. Anosova, Stanislav N. Shukhanov

Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky
Molodezhny, Molodezhnoye rural settlement, Irkutsk municipal district, Irkutsk region, Russia

Abstract. The development of repair production requires improving the quality of refurbished parts, as their operational reliability currently remains low. The service life of refurbished parts averages no more than 60-80% of that of new parts. Therefore, the task of refurbishing parts through the development of new, advanced technological processes is urgent. Surface hardening methods, among which chemical-thermal treatment (CTT) is the most effective, play a crucial role in improving the reliability and durability of machine and mechanical parts. Along with developing new variants of chemical treatment, it's also important to explore untapped reserves in traditional chemical treatment processes: carburization, nitrocarburizing, and nitriding. These processes allow for significant improvements in a short timeframe with minimal energy, labor, and material costs. The essence of the C-105 furnace upgrade lies in modifying the valve design and incorporating a special seal. This can be accomplished either by completely replacing the standard valve and removing the fan and drive, or by partially upgrading the existing valve while retaining the fan and drive. The upgraded C-105A furnace can be used as a universal unit for chemical treatment (carburization, nitrocarburizing, and nitriding). Compared to the unupgraded C-105A furnace, it boasts improved maintainability, thanks to the comparatively simple disassembly, assembly, and adjustment work performed during furnace maintenance, as well as in emergency situations.

Keywords: nitrocarburizing, dispenser, carburizer, C-105 furnace, modernization.

For citation: Agafonov S.V., Kosareva A.V., Anosova A.I., Shukhanov S.N. Modernization of a furnace for chemical-thermal treatment. *Electronic scientific-practical journal “Actual issues of agrarian science”*. 2026; 2(59):8-18. DOI: 10.51215/2411-6483-2026-59-8-18.

Введение. Сельскохозяйственные предприятия страны в настоящее время работают в сложных условиях рыночных отношений [1].

В период с 2022 по 2023 гг. темп приобретения новой сельскохозяйственной техники сократился в сравнении с периодом 2021-2022 гг. Из рисунка 1 видно рост цен на сельхозтехнику в 2021–2023 гг. составил от 30 до 50% [5, 8].

В первом квартале 2024 г. средние цены на новую сельхозтехнику выросли на 9.1% по сравнению с первым кварталом прошлого года и составили 4.43 млн руб. Средние цены на поддержанную сельхозтехнику за год выросли на 17.3% и достигли 2.5 млн руб. [1, 5, 8].

Качество выпускаемой продукции и рентабельность производства определяют конкурентоспособность предприятий и возможность дальнейшего развития. Одним из основных путей повышения рентабельности производства продукции является снижение затрат на поддержание сельскохозяйственной техники и оборудования

перерабатывающих предприятий в работоспособном состоянии [4, 8].

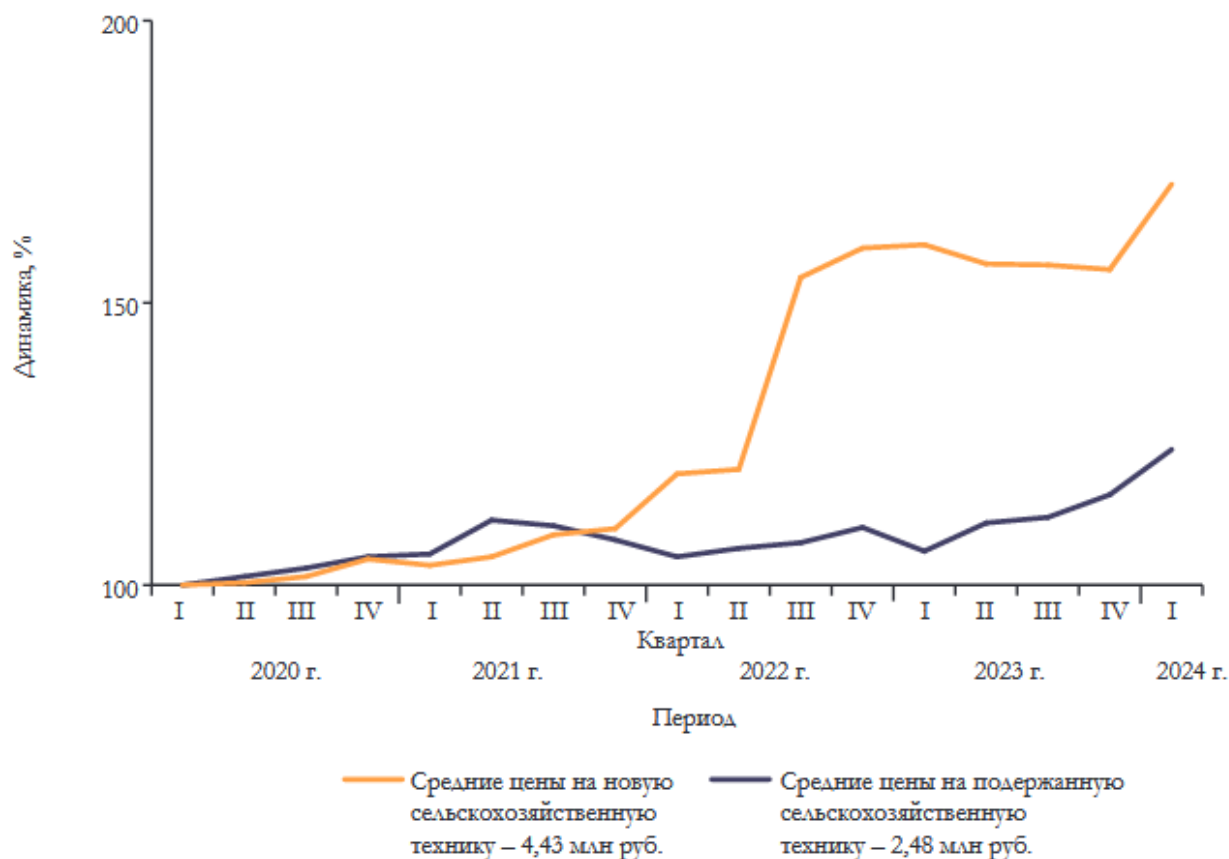


Рисунок 1 – По квартальный рост цен на новую и поддержанную сельхозтехнику в РФ, 2020-2023 гг.

Figure 1 – Quarterly price growth for new and used agricultural machinery in the Russian Federation, 2020-2023.

Снижение численности парка привело к повышению интенсивности его использования. Выработка на каждый трактор в зерновом комплексе увеличилась от 180 до 245 га, на один комбайн – от 290 до 370 т. Сохраняется тенденция старения парка, возрастает срок эксплуатации машин и оборудования до списания, что требует повышенных затрат на поддержание их в работоспособном состоянии. Академик РАСХН Черноиванов В.И. отмечает, что одной из приоритетных задач в развитии системы технического сервиса является развитие восстановления изношенных деталей, как альтернативы расходу новых на обслуживание стареющего парка машин. Это позволит снизить затраты на поддержание техники в работоспособном состоянии [3]

Работоспособность и надежность техники в значительной степени зависит от использования различных видов химико-термической обработки (ХТО) с целью их упрочнения. При этом, наряду с созданием новых вариантов ХТО, представляют интерес изыскание неиспользованных резервов традиционных процессов ХТО [2, 6, 9]: цементации,

нитроцементации, азотирования, позволяющие в сжатые сроки с минимальными энергетическими, трудовыми и материальными затратами получить значительный эффект [12, 13].

Экономическая целесообразность восстановления деталей обусловлена, прежде всего, возможностью повторного и неоднократного использования 65-75% изношенных деталей. Себестоимость восстановления деталей, как правило, не превышает 15-30% стоимости новых, а расход материалов в 15-20 раз ниже, чем на их изготовление [3, 7, 10, 11].

Цель работы. Повышение длительности эксплуатации упрочненных изделий при одновременной интенсификации процесса их диффузионного насыщения с образованием слоя заданной толщины за счет модернизации печи Ц-105

Материалы и методы. По способу введения жидких карбюризаторов в рабочее пространство муфеля существующие установки для ХТО можно разделить на две группы:

а) с приспособлением (капельница) для подачи карбюризатора каплями непосредственно в муфель;

б) с расположенной в затворе печи форсункой топливной аппаратуры дизельного двигателя для подачи в муфель жидкого карбюризатора в распыленном состоянии.

Обоим способам свойственен ряд недостатков, препятствующих их более широкому внедрению в производство [6].

К недостаткам первого варианта следует отнести невозможность создания в рабочем пространстве муфеля благоприятных условий для полного разложения карбюризатора без образования на металлических поверхностях рабочего пространства и обрабатываемых изделиях сажистых и смолистых отложений, препятствующих процессу диффузионного насыщения. Следует также отметить малую активность насыщающей атмосферы, неточную дозировку карбюризатора, сложность конструкции затвора, обусловленную необходимостью наличия вентилятора для обеспечения циркуляции атмосферы.

Основной недостаток второго варианта заключается в сложности конструкции установки, отсутствии условий для полного разложения карбюризатора. Кроме того, частое закоксовывание каналов форсунки приводит к неравномерности подачи в муфель карбюризатора, что обуславливает непостоянство химического состава и недостаточную активность насыщающей атмосферы [11, 12].

Результаты исследований. Сущность модернизации печи Ц-105 заключается в изменении конструкции затвора и использовании специального уплотнения. Она может быть осуществлена либо с полной заменой стандартного затвора и удалением из его конструкции вентилятора и привода, либо с частичной модернизацией существующего затвора с

сохранением вентилятора и привода.

Для рассматриваемого случая к исполнению принят первый вариант модернизации, т.е. с полной заменой затвора печи Ц-105.

Принципиальная схема модернизированного затвора для печи Ц-105 и т.п., приспособленной для нитроцементации по новой технологии показана на рисунке 2. Модернизированный затвор для печи Ц-105 состоит из верхнего и нижнего фланцев обечайки. Внутреннее пространство затвора заполнено теплоизоляционным материалом. В корпус затвора вмонтирован дозатор П, нагреватель дозатора 10 и ряд трубок и каналов для ввода аммиака 4, отвода отработанных газов 2. Проточность газов осуществляется с помощью опущенной на дно муфеля приваренной трубки, по которой отработанные газы подводятся к выходной трубке 2. Здесь они сжигаются, а продукты сгорания через вытяжной зонт удаляются в атмосферу.

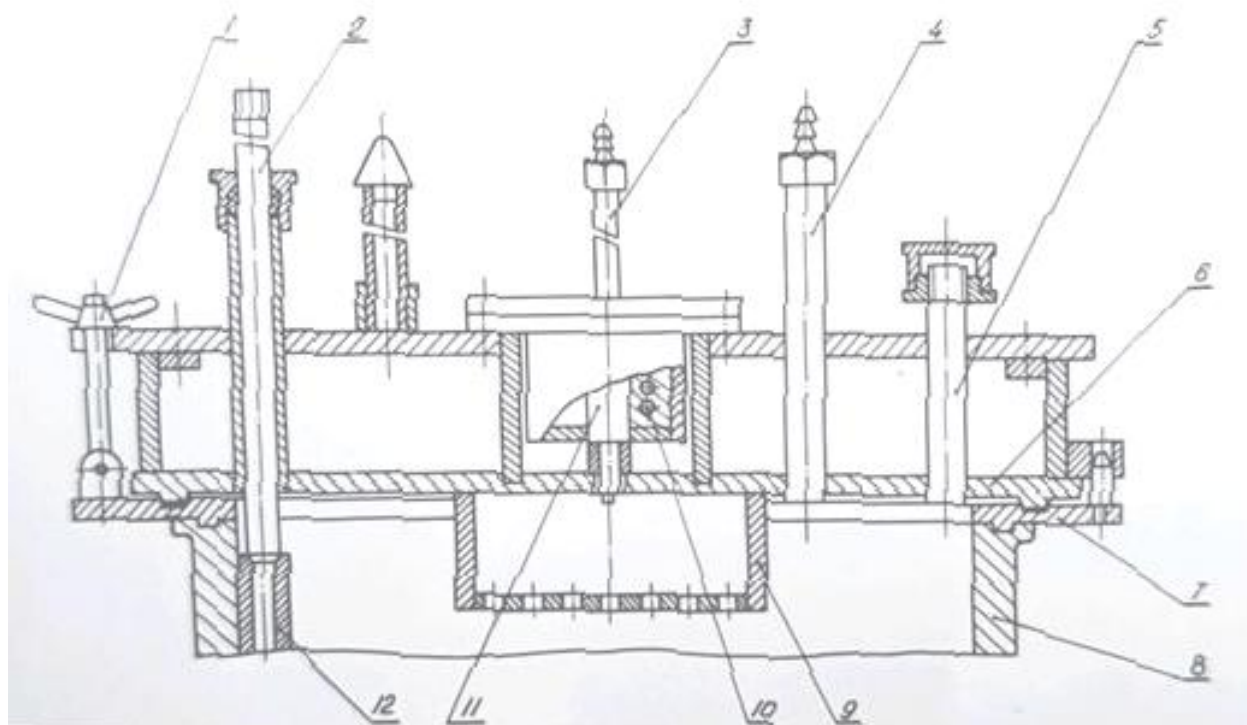


Рисунок 2 – Модернизированный затвор печи Ц-105А

1 – откидной болт; 2 – трубка отводящая; 3 – трубка подводящая керосин; 4 – трубка подачи аммиака; 5 – трубка для свидетелей; 6 – нижний фланец; 7 – фланец муфеля печи; 8 – муфель печи; 9 – диффузор; 10 – нагреватель дозатора; 11 – дозатор; 12 – отводящая трубка муфеля.

Figure 2 – Modernization valve of the C-105A furnace

1 – hinged bolt; 2 – outlet tube; 3 – kerosene supply tube; 4 – ammonia supply tube; 5 – witness tube; 6 – lower flange; 7 – furnace muffle flange; 8 – furnace muffle; 9 – diffuser; 10 – dispenser heater; 11 – dispenser; 12 – muffle outlet tube.

Оригинальность предложенной схемы ХТО заключается в том, что жидкий карбюризатор (осветительный керосин) перед вводом его в рабочее пространство муфеля проходит предварительную тепловую подготовку в специальном дозирующем приспособлении (дозаторе), вмонтированном в корпус затвора печи 5. Нагрев осуществляется автономно с помощью нагревателя. Общий вид дозатора показан на рисунке 3. Он представляет собой стальной корпус, в который установлен латунный сердечник, крепящийся к корпусу с помощью двух прижимов, рисунок 3. Сердечник дозатора имеет радиальные и осевые каналы, образующие лабиринт с большой активной поверхностью. Он помещен в керамический цилиндр, в стенку которого вмонтирован нагревательный элемент. Нагревательный элемент представляет собой нихромовую спираль (Х20Н80, Х15Н60) из проволоки 0.8-1.0 мм, намотанную на стержень диаметром 8 мм в количестве 230-240 витков.

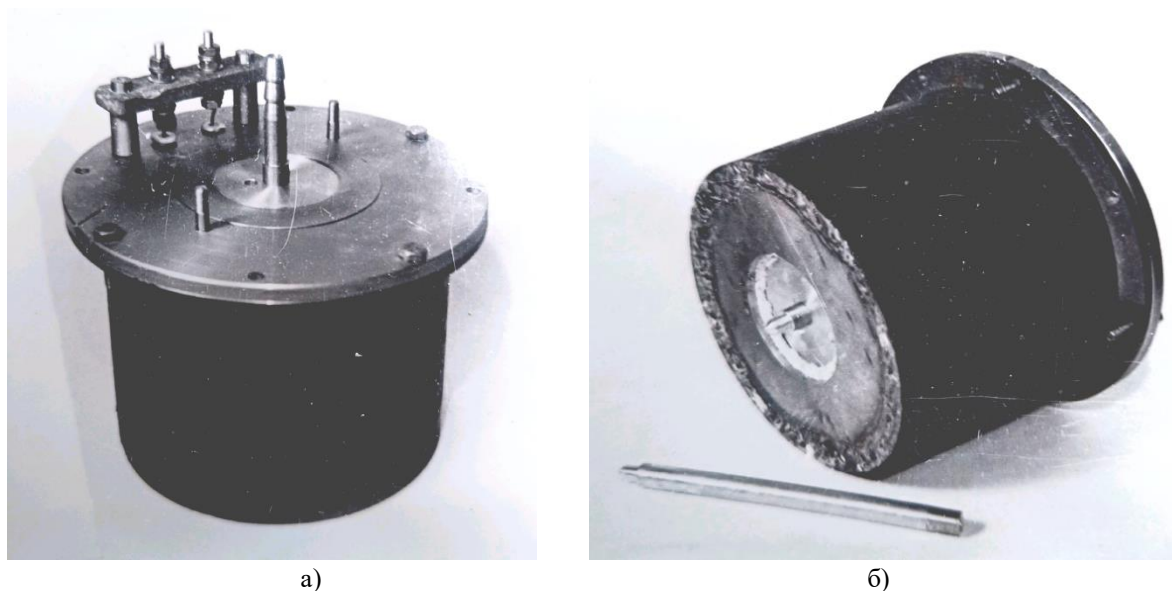


Рисунок 3 – Дозатор для подачи осветительного керосина в парогазовом состоянии
а) дозатор в сборе, б) общий вид дозатора со стороны муфеля.

Figure 3 – **Dispenser for supplying illuminating kerosene in a vapor-gas state**
a) assembled dispenser, b) general view of the dispenser from the muffle side.

Спираль укладывают в винтовые пазы керамического цилиндра и определяют рабочую и максимально допустимую величину напряжения, необходимого для нагрева дозатора. Напряжение, обеспечивающее нагрев спирали до вишневого цвета, следует считать оптимальным.

После определения напряжения спираль тщательно обмазывают термостойкой обмазкой, как показано на рисунке 4.



Рисунок 4 – Нагреватель дозатора

Figure 4 – Dispenser heater

Обмазка представляет собой измельченную смесь одной весовой части каолина и четырех частей окиси алюминия. В подготовленную смесь в качестве связующего вещества вводится жидкое стекло. Смесь замешивается до тестообразного состояния. Обмазанный нагреватель просушивается при температуре 150-180°C в течение 2-3 часов, а затем обжигается при температуре 800-850°C. Нагреватель подключается через трансформатор согласно электрической схемы, Нагрев дозатора контролируется и регулируется потенциометром.

Одним из главных факторов, обуславливающих стабильность, активность формирования качественного диффузионного слоя в процессе нитроцементации является надежная герметизация всей газоподводящей системы и муфеля печи.

Для обеспечения необходимой герметичности муфеля при конструировании модернизированного затвора используют специальный герметик. Специальный герметик получают из измельченного листового асбеста, замоченного в воде до состояния густой тестообразной массы. Герметик наносят ровным слоем в паз предварительно нагретого (300-400°C) фланца муфеля. Такое уплотнение, обеспечивает необходимую герметичность муфеля, в то же время отличается высокой жаростойкостью,

имеет длительный срок службы, а в случае механических повреждений может быть быстро заменено.

Вывод. Модернизированная печь Ц-105А может быть использована как универсальная установка для ХТО (цементации, нитроцементации, азотирования). От печи Ц-105А, не подвергнутой модернизации, она выгодно отличается повышенной ремонтпригодностью, которая обусловлена сравнительной простотой выполнения разборочных и регулировочных работ, выполняемых при техническом обслуживании печи, а также в аварийной ситуации.

Список литературы

1. Алтухов, С.В. Анализ обеспеченности техникой сельскохозяйственных организаций иркутской области / С.В. Алтухов, Т.А. Алтухова, С.Н. Шуханов // Известия Международной академии аграрного образования. – 2022. – № 62. – С. 5-8. – EDN QFBTNB.
2. Бобылев, Э.Э. Кинетика формирования на конструкционных сталях карбидохромовых диффузионных слоев, полученных комплексной химико-термической обработкой / Э.Э. Бобылев, И.Д. Стороженко, Р.А. Попов // Вопросы материаловедения. – 2025. – № 3(123). – С. 21-30. – DOI 10.22349/1994-6716-2025-123-3-21-30. – EDN ERUJCI.
3. Бураев, М.К. Повышение работоспособности тракторов в сельском хозяйстве / М.К. Бураев, Н.И. Овчинникова, А.И. Аносова, А.В. Шистеев // Вестник ВСГУТУ. – 2015. – № 6(57). – С. 20-25. – EDN VCODXL.
4. Иваньо, Я.М. О системе поддержки принятия решений для прогнозирования и планирования аграрного производства / Я.М. Иваньо, С.А. Петрова // Актуальные вопросы аграрной науки. – 2025. – № 54. – С. 64-74. – DOI 10.51215/2411-6483-2025-54-64-74. – EDN ZLORWN.
5. Кирица, А.А. Современные возможности обновления машинно-тракторного парка сельскохозяйственных организаций с помощью лизинга / А.А. Кирица, Ю.В. Чутчева, М.Н. Кораблин // Вестник университета. – 2025. – № 7. – С. 93-102. – DOI 10.26425/1816-4277-2025-7-93-102. – EDN YILAIZ.
6. Кучейко, Д.А. Анализ видов термической и химико-термической обработки стали и сплавов / Д.А. Кучейко // Главный механик. – 2024. – Т. 21, № 10(254). – С. 36-43. – EDN KCIDPU.
7. Методология технического перевооружения и модернизации конструкций и режимов работы нагревательных и термических печей / Г.М. Дружинин, А.А. Ашихмин, П.В. Маслов [и др.] // Металлург. – 2020. – № 6. – С. 77-81. – EDN QWBUDU.
8. Минсельхоз РФ обратился в ФАС с просьбой проверить обоснованность роста цен на сельхозтехнику (“Агроинвестор”) // Хлебопродукты. – 2023. – № 6. – С. 5. – EDN FGNGVU.
9. Морозов, Д.С. Повышение износостойкости деталей путём химико-термической обработки сталей и сплавов / Д.С. Морозов, О.Н. Денисова // Научному прогрессу – творчество молодых. – 2024. – № 1. – С. 153-155. – EDN DKPTOU.
10. Оценка сопротивления усталости деталей после химико-термической обработки поверхности / В.П. Сазанов, В.С. Вакулюк, О.Ю. Семенова [и др.] // Динамика

и виброакустика. – 2021. – Т. 7, № 4. – С. 11-19. – DOI 10.18287/2409-4579-2021-7-4-11-19. – EDN GGGKZVK.

11. Ратников, П.Э. Принципы регулирования технологических процессов в печах термической и химико-термической обработки / П.Э. Ратников, И.А. Трусова // Металлургия: Республиканский межведомственный сборник научных трудов. Том Выпуск 42. – Минск: Белорусский национальный технический университет, 2021. – С. 70-85. – EDN CYHWDH.

12. Ратников, П.Э. Сравнительный анализ применения топливных и электрических печей термической и химико-термической обработки / П.Э. Ратников, С.М. Кабишов // Металлургия: Республиканский межведомственный сборник научных трудов. Том Выпуск 42. – Минск: Белорусский национальный технический университет, 2021. – С. 116-136. – EDN QMRRIX.

13. Шарая, О.А. Упрочнение сульфацированием деталей ответственных соединений / О.А. Шарая, Н.В. Водолазская // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – 2021. – № 3(31). – С. 37-46. – EDN PVVTKV.

References

1. Altuxov, S.V. et all. Analiz obespechennosti texnikoj sel'skoxozyajstvenny`x organizacij irkutskoj oblasti [Analysis of the provision of agricultural machinery to organizations in the Irkutsk region]. Izvestiya Mezhdunarodnoj akademii agrarnogo obrazovaniya, 2022, no. 62, pp. 5-8.

2. Bobylev, E.E. et all. Kinetika formirovaniya na konstrukcionny`x stalyax karbidoxromovy`x diffuzionny`x sloev, poluchenny`x kompleksnoj ximiko-termicheskoj obrabotkoj [Kinetics of formation of carbide-chromium diffusion layers on structural steels obtained by complex chemical-thermal treatment]. Voprosy` materialovedeniya, 2025, no. 3(123), pp. 21-30.

3. Buraev, M.K. et all. Povy`shenie rabotosposobnosti traktorov v sel'skom xozyajstve [Improving the performance of tractors in agriculture]. Vestnik VSGUTU, 2015, no. 6(57), pp. 20-25.

4. Ivan'o, Ya.M., Petrova, S.A. O sisteme podderzhki prinyatiya reshenij dlya prognozirovaniya i planirovaniya agrarnogo proizvodstva [On a decision support system for forecasting and planning agricultural production]. Aktual'nye voprosy agrarnoj nauki, 2025, no. 54, pp. 64-74.

5. Kirica, A.A. et all. Sovremennye vozmozhnosti obnovleniya mashinno-traktornogo parka sel'skoxozyajstvennyh organizacij s pomoshch'yu lizinga [Modern opportunities for upgrading the machinery and tractor fleet of agricultural organizations through leasing]. Vestnik universiteta, 2025, no. 7, pp. 93-102.

6. Kuchejko, D.A. Analiz vidov termicheskoj i ximiko-termicheskoj obrabotki stali i splavov [Analysis of types of thermal and chemical-thermal treatment of steel and alloys]. Glavny`j mexanik, 2024, vol. 21, no. 10(254), pp. 36-43.

7. Druzhinin, G.M. et all. Metodologiya tekhnicheskogo perevooruzheniya i modernizacii konstrukcij i rezhimov raboty nagrevatel'nyh i termicheskix pechej [Methodology for technical re-equipment and modernization of designs and operating modes of heating and thermal furnaces]. Metallurg, 2020, no. 6, pp. 77-81.

8. Minsel'xoz RF obratilsya v FAS s pros'boj proverit` obosnovannost` rosta cen na sel'xoztexniku (“Agroinvestor”) [The Ministry of Agriculture of the Russian Federation asked the Federal Antimonopoly Service to check the validity of the increase in prices for agricultural machinery (“Agroinvestor”)]. Hleboprodukty`, 2023, no. 6, p. 5.

9. Morozov, D.S., Denisova, O.N. Povyshenie iznosostojkosti detalej putyom himiko-termicheskoy obrabotki stalej i splavov [Increasing the wear resistance of parts by chemical-thermal treatment of steels and alloys]. Nauchnomu progressu – tvorchestvo molodyx, 2024, no. 1, pp. 153-155.

10. Sazanov, V.P. et all. Ocenka soprotivleniya ustalosti detalej posle himiko-termicheskoy obrabotki poverxnosti [Evaluation of fatigue resistance of parts after chemical-thermal surface treatment]. Dinamika i vibroakustika, 2021, vol. 7, no. 4, pp. 11-19.

11. Ratnikov, P.E., Trusova, I.A. Principy regulirovaniya tekhnologicheskikh processov v pechah termicheskoy i himiko-termicheskoy obrabotki [Principles of regulation of technological processes in thermal and chemical-thermal treatment furnaces]. Minsk: Belorusskij nacional'nyj tekhnicheskij universite. Metallurgiya: Respublikanskij mezhvedomstvennyj sbornik nauchnyh trudov, 2021, vol. 42, pp. 70-85.

12. Ratnikov, P.E., Kabishov, S.M. Sravnitel'nyj analiz primeneniya toplivnyx i elektricheskix pechej termicheskoy i himiko-termicheskoy obrabotki [Comparative analysis of the use of fuel and electric furnaces for thermal and chemical-thermal treatment]. Minsk: Belorusskij nacional'nyj tekhnicheskij universitet, Metallurgiya: Respublikanskij mezhvedomstvennyj sbornik nauchnyx trudov, 2021, vol. 42, pp. 116-136.

13. Sharaya, O.A., Vodolazskaya, N.V. Uprochnenie sul'focianirovaniem detalej otvetstvennyh soedinenij [Strengthening of critical joint parts by sulfocyanation]. Innovacii v APK: problemy i perspektivy, 2021, no. 3(31), pp. 37-46.

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: 28.05.2026

Поступила после рецензирования и доработки / Received: 29.06.2026

Дата принятия к печати / Accepted: 2.07.2026

Сведения об авторах

Агафонов Сергей Викторович – кандидат технических наук, доцент кафедры ТС и ОД инженерного факультета. Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского.

Контактная информация: ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, 664038, Россия, Иркутская область, муниципальный район Иркутский, с.п. Молодежное, п. Молодежный, 1/1, тел. 8(914)9024358, e-mail: agafonov38@rambler.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0009-5283-6612>.

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

Контактная информация: ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, 664038, Россия, Иркутская область, муниципальный район Иркутский, с.п. Молодежное, п. Молодежный, 1/1, тел. 8(914)9444228, e-mail: ankosar@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1613-5394>.

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

Контактная информация: ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, 664038, Россия, Иркутская область, муниципальный район Иркутский, с.п. Молодежное, п. Молодежный, 1/1, тел. 8(983)6938151, e-mail: a.anosova@yandex.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9910-8892>.

Шуханов Станислав Николаевич – доктор технических наук, доцент кафедры ТО в АПК инженерного 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. 8(908)6546032, e-mail: shuhanov56@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2134-6871>.

Information about the authors:

Sergey V. Agafonov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of TS and OD of the Engineering 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. 8(914)9024358, e-mail: agafonov38@rambler.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0009-5283-6612>.

Anna V. Kosareva – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of TS and OD of the Engineering 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. 8(914)9444228, e-mail: ankosar@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1613-5394>.

Anna I. Anosova – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of TS and OD of the Engineering 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. 8(983)6938151, e-mail: a.anosova@yandex.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9910-8892>.

Stanislav N. Shukhanov – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Technical Support of Agro-Industrial Complex, Faculty of 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. 8(908)6546032, e-mail: shuhanov56@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2134-6871>.



DOI 10.51215/2411-6483-2026-59-19-28

УДК 631.347

Научная статья

РЕГУЛИРОВАНИЕ СКОРОСТИ ПРИВОДА ВАКУУМНОГО НАСОСА ДОИЛЬНОГО АППАРАТА

А.В. Рудых

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

Аннотация. В статье рассматривается вакуумная система доильного аппарата, предназначенная для регулирования уровня вакуума с помощью двух систем автоматической и автоматизированной. В случае автоматизированной системы уровень вакуума в доильной установке регулируется ручным способом оператором доения путем воздействия на уставку вакуум-регулятора. Задаваемая оператором установка по давлению обеспечивает только верхний предел вакуума в соответствующей магистрали доильной установки. В силу специфики работы регулятора наличие только одной уставки обеспечивает функционирование системы доения с точки зрения управления как параметрического. Однако при перегрузке вакуумной сети система должна управляться как сигнальная, так как в самой системе в этом случае происходит изменение большинства параметров, связанных с процессом доения. Кроме того, при параметрическом управлении уровнем вакуума в молоко-вакуумных системах в них возможно возникновение аварийных режимов, например, самовыключения группы доильных аппаратов. При автоматической системе управления вакуумом недостатки в процессе работы, характерные для автоматизированного варианта построения одноименной системы, полностью исключены. На первом этапе построения автоматической системы в нее вводится преобразователь частоты, управляющий скоростью вращения приводного двигателя вакуум-насоса. На втором этапе синтезируется система управления вакуумом, работающая по принципу сигнальной настройки. Сигнал управления формируется на выходе преобразователя частоты и подается на исполнительное устройство, которое физически реализовано в виде вмонтированного в вакуум-магистраль регулятора с встроенным электрическим сенсором. Экспериментальные исследования по определению рабочих параметров процесса доения проводились на действующих механических системах с аналоговым и цифровым устройствами контроля уровня вакуума.

Ключевые слова: доильный аппарат, вакуумный насос, регулятор уровня вакуума, преобразователь частоты.

Для цитирования: Рудых А.В. Регулирование скорости привода вакуумного насоса доильного аппарата. *Электронный научно-практический журнал “Актуальные вопросы аграрной науки”*. 2026; 2(59):19-28. DOI 10.51215/2411-6483-2026-59-19-28.

SPEED CONTROL OF THE VACUUM PUMP DRIVE OF THE MILKING MACHINE

Albina V. Rudykh

Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky

Molodezhny, Molodezhnoye rural settlement, Irkutsk municipal district, Irkutsk region, Russia

Abstract. This article discusses a milking machine vacuum system designed to regulate vacuum levels using two systems: automatic and automated. In the automated system, the vacuum level in the milking unit is manually adjusted by the milking operator by adjusting the vacuum regulator setpoint. The operator-set pressure setpoint ensures only the upper limit of the vacuum in the corresponding milking machine line. Due to the specific operation of the regulator, the presence of only one setpoint ensures the functioning of the milking system as a parametric control. However, if the vacuum network is overloaded, the system must be controlled as an alarm, since most of the parameters associated with the milking process change within the system itself. Furthermore, parametric control of the vacuum level in milk vacuum systems can lead to emergency modes, such as the self-shutdown of a group of milking machines. With an automatic vacuum control system, the operational disadvantages typical of the automated version of the same system are completely eliminated. In the first stage of constructing the automated system, a frequency converter is introduced to control the rotation speed of the vacuum pump drive motor. In the second stage, a vacuum control system operating on the signal-controlled principle is synthesized. The control signal is generated at the frequency converter output and fed to the actuator, which is physically implemented as a controller with an integrated electrical sensor mounted in the vacuum line. Experimental studies to determine the operating parameters of the milking process were conducted on existing mechanical systems with analog and digital vacuum level control devices.

Keywords: milking machine, vacuum pump, vacuum level controller, frequency converter.

For citation: Rudykh A.V. Speed control of the vacuum pump drive of the milking machine. *Electronic scientific-Practical journal “Actual issues of agrarian science”*. 2026; 2(59):19-28. DOI 10.51215/2411-6483-2026-59-19-28.

Введение. Процесс доения на животноводческом предприятии является одним из важнейших процессов, который характеризуется трудоёмкостью и энергоёмкостью. В этом технологическом процессе основным технологическим узлом является вакуум-насос [1, 4, 5, 8]. При этом достоинства и недостатки доильных аппаратов с управляемым режимом работы по рабочему вакууму довольно подробно приведены в работе [3].

Колебания вакуума внутри доильного стакана могут привести к прямому проникновению бактерий и, как следствие, к маститу. Механическое сцеживание осуществляется за счет создания вакуума в соске с помощью доильного стакана [9].

Чтобы предотвратить застойные явления и отеки, а также снизить нагрузку на сосок при сцеживании, используется принцип пульсации [7].

Схема типовой механической доильной системы содержит вакуумный насос, приводимый в действие электродвигателем. Для процесса дойки

молока необходимо создать разрежение в вакуумном трубопроводе. Для этого применяется вакуумный насос [2].

Если система доения не автоматизирована, разрежение в системе создается и регулируется вакуум-регулятором, который устанавливается после вакуум-баллона. Необходимую величину вакуума, которая должна соответствовать 0.48 bar устанавливают вращением регулировочного болта [10].

Цель работы – на примере двух вариантов схем механической системы доения с вакуумным насосом показать достоинства и недостатки их практического применения с учетом обеспечения требуемых рабочих параметров системы и показателей стабильности вакуума.

Материалы и методики исследования. Для обеспечения эксплуатационных требований вакуумный насос должен обладать достаточной производительностью, чтобы снижение разрежения в сборном контейнере или рядом с ним не превышало 2 кПа во время обычного доения, включая установку и снятие стаканов, утечку воздуха через соски или при падении доильного оборудования [6, 10].

Поправочный коэффициент при номинальном атмосферном давлении 100 кПа и других значениях рассчитывается по формуле:

$$k_1 = \frac{p_{\max} - p_{\text{ном}} \cdot \frac{p_a}{p_{\text{аном}}}}{p_{\max} - p},$$

где p_a – атмосферное давление во время измерения, кПа; $p_{\text{аном}}$ – номинальное атмосферное давление, кПа; $p_{\max}$ – максимальный уровень разрежения при полностью закрытом всасывающем отверстии вакуумного насоса во время измерения, кПа; p – уровень разрежения во всасывающем отверстии вакуумного насоса, кПа; $p_{\text{ном}}$ – номинальный уровень разрежения во всасывающем отверстии вакуумного насоса, кПа. Данные о коэффициенте приведены в таблице 1.

Производительность вакуумного насоса при номинальном атмосферном давлении для данной высоты над уровнем моря определяется путем умножения измеренной производительности вакуумного насоса на коэффициент k_2 (табл. 2):

$$k_2 = \frac{p_{\max} - p \cdot \frac{p_a}{p_s}}{p_{\max} - p}$$

где p_a – атмосферное давление во время измерения, кПа; p_s – нормальное атмосферное давление для данной высоты, кПа; $p_{\max}$ – максимальный уровень пониженного давления с полностью закрытым всасывающим отверстием вакуумного насоса во время измерения, кПа; p – уровень разрежения во всасывающем отверстии вакуумного насоса, кПа.

Регулирование разрежения путем изменения частоты вращения

вакуумного насоса с помощью частотного преобразователя способствует снижению энергопотребления.

Таблица 1 – Поправочный коэффициент k_1 для различных значений атмосферного давления

Table 1 – Correction factor k_1 for different values of atmospheric pressure

Атмосферное давление во время измерения p_a , (кПа)	Поправочный коэффициент k_1 для уровня вакуума в вакуумном насосе 50 кПа
100	1.0
95	1.07
90	1.16
85	1.28
80	1.45

Таблица 2 – Поправочный коэффициент k_2 для различных значений атмосферного давления

Table 2 – Correction factor k_2 for different values of atmospheric pressure

Атмосферное давление в момент измерения, кПа	Поправочный коэффициент K_2		
	Уровень вакуума в вакуумном насосе, кПа		
	40	45	50
109	0.94	0.92	0.91
106	0.96	0.95	0.93
103	0.98	0.97	0.96
100	1.0	1.0	1.0
97	1.03	1.03	1.04
94	1.05	1.07	1.09
91	1.09	1.11	1.14

Количество воздуха, которое фактически расходуется при “сбалансированном” доении, когда задействованы все доильные установки и нет утечек, составляет примерно 30÷60 л/мин на одну доильную установку. Даже для самой тщательной очистки доильной системы требуется всего 60÷70 л воздуха в минуту на одну доильную установку, если система безразборной мойки хорошо спроектирована и сбалансирована.

Однако во время доения бывают моменты, когда требуется дополнительный приток воздуха из-за чрезмерного прилипания, например при подключении доильного аппарата, если сосковая чаша неплотно прилегает к соску или соскальзывает с него.

Работа вакуумного насоса с двигателем, имеющим регулируемую скорость вращения, позволяет значительно сэкономить потребляемую установкой электроэнергию.

При использовании вакуумного насоса с регулятором частоты вращения в процессе доения и очистки большую часть времени работает на

относительно не высоких оборотах, что позволительно для стабильного доения. Работа насоса на пониженных оборотах продлевает срок его службы.

Результаты исследований. Физический эксперимент проводился на ферме для доения коров с привязным содержанием по адресу: ОПХ "Хайта" подразделение СХАО "Белореченское", Иркутская обл., Усольский р-н, с. Сосновка. В первом случае в процессе доения к животным, привязанным к стойловым местам, оператор доильной установки с использованием рельсовых направляющих (рис. 1-а, поз. 1) для вертикального перемещения передвигает аппараты для доения (рис. 1-б, поз. 1) от одной коровы к другой.

В качестве аппарата для доения исследовалась мобильная установка компании SAC (Дания) в конструктивном исполнении счетчика молока типа SAC MDS SACCOMATIC IDC (рис. 2-а, поз. 1).

Принятые на рисунке 2 обозначения соответствуют: молокопровод – (рис. 2-а, поз 1); молочная линия – (рис. 2-б, поз 1); вакуумная линия – (рис. 2-б, поз 2); измеритель молока – (рис. 2-б, поз 3).

Устройство MDS Saccomatic контролирует весь процесс доения, измеряя и анализируя частоты пульса от старта до его окончания.

Манометр, являющийся частью измерителя молока (рис. 2-б, поз 3) содержит две камеры: внешнюю и внутреннюю. Внешняя камера оснащена шестью электродами, которые измеряют электропроводность молока и его уровень во внешней части измерителя.

Внутренняя часть дозатора состоит из патентованного клина, через который молоко поступает в сливную камеру.

После заливки достаточным количеством молока, с помощью стержня и мембранной системы открывается дно дозатора, и молоко выходит из дозатора. Запись происходит в центральном модуле, который, как уже упоминалось, управляет общим ход доения. Прибор работает с точностью $\pm 2\%$ от общего значения.

При наличии вакуума в системе и устройства быстрого старта (рис. 2-а, поз. 2) с встроенной функцией для запуска доения путем натяжения соответствующего тросика (рис. 2-в, поз. 1) активизируется процесс дойки с помощью комплекта доильных стаканов (рис. 2-в, поз. 2). Каждый момент натяжения тросика фиксирует старт нового периода дойки. Вакуумная установка в устройстве MDS Saccomatic состоит из вакуумного пластинчатороторного насоса SACCO 1300 (Дания) с приводом LÖNNE (Норвегия) мощностью 3 кВт и производительностью 1300 л/мин.

При работе ПЧ UNIPUMP SAC мощность вакуумного насоса постоянно регулируется в соответствии с требованиями в доильном зале.

Подключенный к вакуум-магистрали регулятор вакуума типа Smartec SPD015AAsil с встроенным электронным сенсором получает от серво регулятора сигнал, пропорциональный величине смещения в мерном стакане конусного клапана. Учитывая динамический характер процесса доения, обеспечивающий указанный процесс, вакуум-регулятор находится в

состоянии непрерывной работы.

Во втором случае процесс доения производится в "ведро" (рис. 3).

Анализируя две схемы работы процесса доения с устройством MDS Saccomatic и системы, выполненной по традиционной схеме (рис. 2), можно утверждать, что первая из рассмотренных схем обеспечивает автоматическую регулировку давления в вакуум-магистрالي, а вторая схема – ручную.

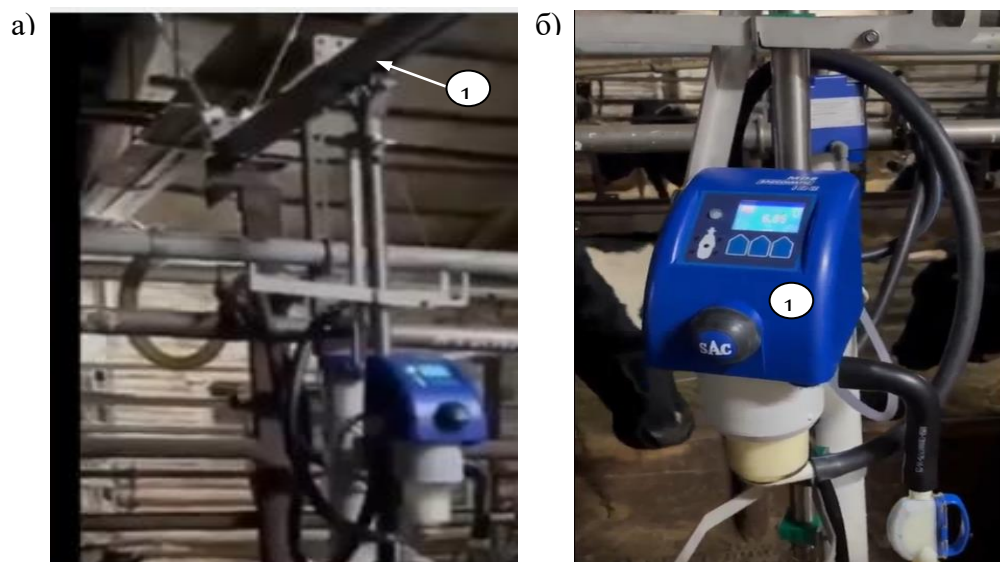


Рисунок 1 – Фрагменты общих видов элементов конструкций и технологического оборудования для доения коров с привязным содержанием

Figure 1 – Fragments of general views of structural elements and technological equipment for milking cows with tethered housing

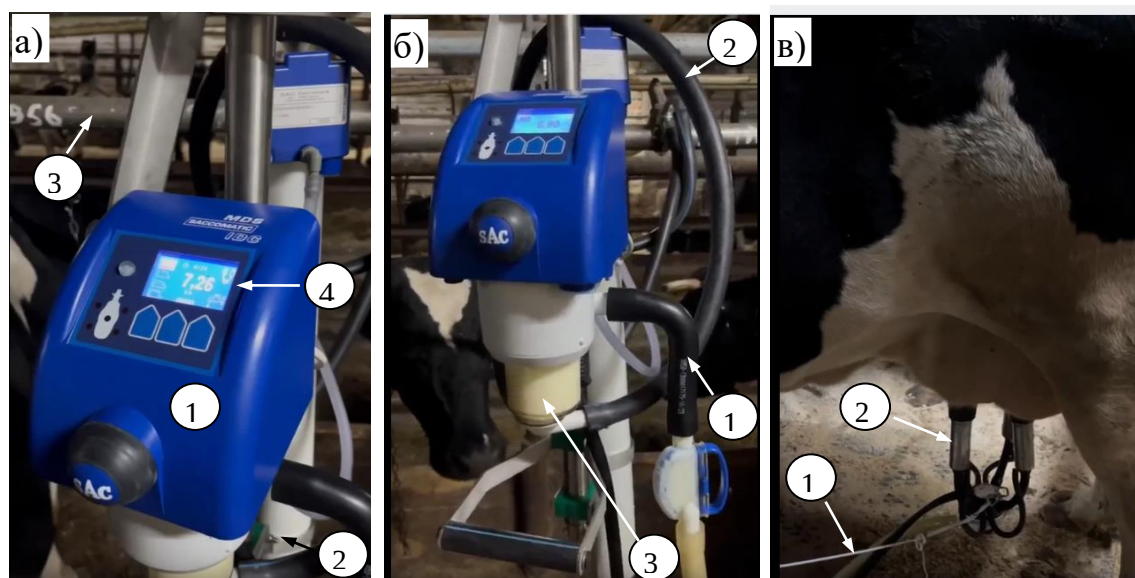


Рисунок 2 – Визуализация процесса контроля доения одной коровы с помощью устройства MDS SACCOMATIC

Figure 2 – Visualization of the process of controlling the milking of one cow using the MDS SACCOMATIC device

При использовании устройства MDS Saccomatic изменения вакуума и параметров пульсаций в процессе доения отображаются на цифровой панели счетчика молока (рис. 2, поз. 4).

Результаты экспериментальных исследований, отражающие рабочие параметры системы и стабильности вакуума, приведены в таблицах 3 и 4.

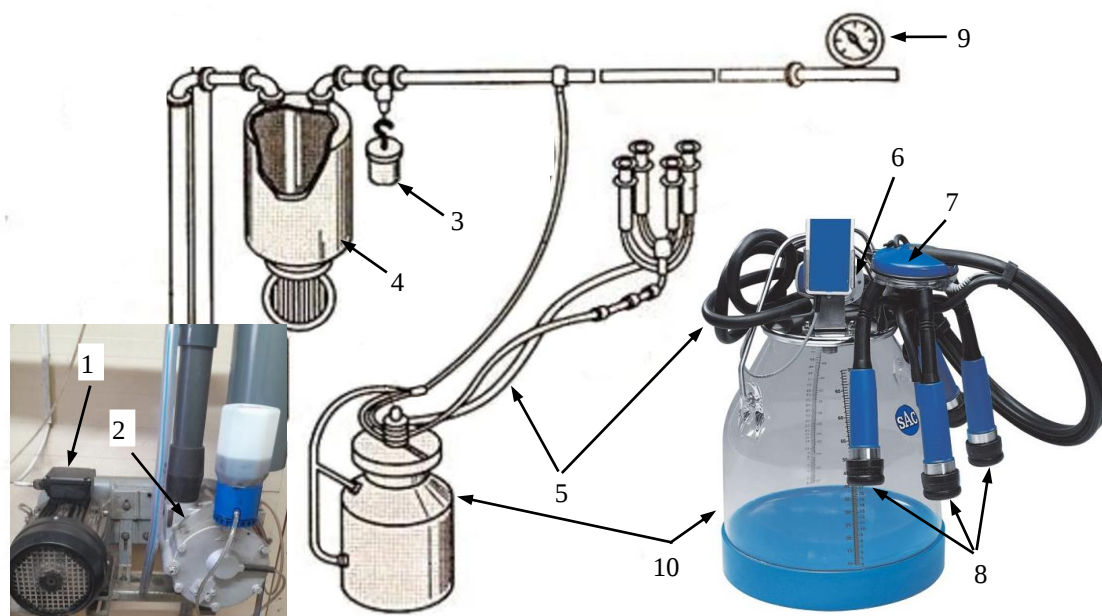


Рисунок 3 – Схема механической системы доения с вакуумным насосом НВ-12 и вакуурегулятором с крестовиной 400-10-30-50 на доильный аппарат АИД-2

Figure 3 – Diagram of a mechanical milking system with an NV-12 vacuum pump and a vacuum regulator with a 400-10-30-50 crosspiece for the AID-2 milking machine

Схема доильной установки в "ведро" состоит из: 1 – электродвигателя; 2 – вакуум-насоса; 3 – вакуум-регулятора; 4 – вакуум-баллона; 5 – вакуумной трубки; 6 – пульсатора; 7 – коллектора; 8 – доильных стаканов; 9 – вакуумметра; 10 – доильного ведра.

Таблица 3 – Рабочие параметры доильной системы¹²

Table 3 – Operating parameters of the milking system¹²

Тип системы	Величина	Уровень вакуума [кПа]		
		35	40	45
MDS Saccomatic	Частота пульсации, циклов/мин	47.6	52.3	56.2
	Коэффициент пульсации, %	55.2	54.1	53.8
	Продолжительность фазы В ¹ , %	45.2	42.4	40.3
	Продолжительность фазы D ² , сек	0.41	0.37	0.33
Механическая	Частота пульсации, циклов/мин	48.1	52.6	56.7
	Коэффициент пульсации, %	54.8	54.2	53.7
	Продолжительность фазы В, %	44.3	41.7	40.1
	Продолжительность фазы D, сек	0.41	0.37	0.33

Примечание:¹ Не менее 30% продолжительности цикла; ² не менее 0.15 сек.

Таблица 4 – Результаты исследования показателей стабильности вакуума³

Table 4 – Results of the study of vacuum stability indicators³

Тип системы	Величина	Уровень вакуума [кПа]		
		35	40	45
MDS Saccomatic	Средний уровень вакуума, кПа	34.3	39.5	44.5
	Стандартное отклонение, кПа	0.20	0.23	0.16
Механическая	Средний уровень вакуума, кПа	34.4	39.4	44.7
	Стандартное отклонение ¹ , кПа	0.17	0.14	0.13

Примечание: ³Для не менее 200 значений данных измерений.

Выводы. Использование автоматической системы доения приводит к уменьшению негативного влияния на рабочие параметры системы и обеспечивает более стабильное поддержание постоянного вакуума. Результаты измерений показывают, что рабочие параметры системы (частота и соотношение пульсаций, продолжительность фаз цикла) существенно не изменились при переходе от системы доения с помощью устройства MDS SACCOMATIC к системе доения типа “ведро”. Однако при использовании второй системы на 1.7 увеличивается частота пульсаций по сравнению с системой типа “ведро”, и, как следствие, при ее работе происходит сокращение фазы. Применение приспособления MDS SACCOMATIC к вакуумному насосу приводит к уменьшению стандартных отклонений и среднеквадратических ошибок визуализируемых показателей стабильности вакуума.

Список литературы

1. Антошук, С.А. К вопросу обеспечения стабильности вакуума в доильных установках / С.А. Антошук, Э.П. Сорокин // Механизация и электрификация сельского хозяйства: Межведомственный тематический сборник. Том Выпуск 45. – Минск: Республиканское унитарное предприятие “Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства”, 2011. – С. 199-203. – EDN ZWEQRP.
2. Афанасьева, Т.И. Исследование вакуумного насоса для доильной установки / Т.И. Афанасьева, Г.Е. Кокиева // Научно-технический вестник Поволжья. – 2022. – № 8. – С. 70-72. – EDN RIMMDI.
3. Бадов, В.Д. Достоинства и недостатки доильных аппаратов с управляемым режимом работы по рабочему вакууму / В.Д. Бадов, А.В. Яшин // Цифровые технологии живых систем в сельском хозяйстве: Сб. матер. междунар. научно-практ. конф., Пенза, 24 ноября 2022 года. – Пенза: Пензенский ГАУ, 2022. – С. 79-83. – EDN WGOJG.
4. Бессмазочный пластинчатый вакуумный насос для установок индивидуального доения коров / В.М. Колончук, Ф.Д. Сапожников, Г.Г. Тычина [и др.] // Механизация и электрификация сельского хозяйства: Межведомственный тематический сборник. Том Выпуск 49. – Минск: Республиканское унитарное предприятие “Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства”, 2015. – С. 160-165. – EDN YNSBOT.
5. Борознин, А.В. Теоретическое обоснование параметров стабилизации работы доильного оборудования / А.В. Борознин, В.А. Борознин // Известия Нижневолжского

агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2017. – № 1(45). – С. 245-252. – EDN YSLFHT.

6. Борознин, В.А. Определение макро- и микроколебаний вакуума в системах доильного оборудования / В.А. Борознин, А.В. Борознин, Л.В. Борознин // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2015. – № 4(40). – С. 187-194. – EDN VHDRVF.

7. Крупенин, Ю.А. Анализ колебаний вакуумметрического давления при постановке и снятии доильного аппарата / Ю.А. Крупенин, П.Ю. Крупенин // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения. – 2023. – № 1(22). – С. 251-257. – EDN TQKHGQ.

8. Передня, В.И. Повышение эксплуатационных характеристик вакуумных насосов / В.И. Передня, М.В. Колончук, С.В. Лосик // Механизация и электрификация сельского хозяйства: Межведомственный тематический сборник (к 80-летию со дня образования НАН Беларуси). Том Выпуск 42. – Минск: Республиканское унитарное предприятие «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства», 2008. – С. 181-190. – EDN XVFCVF.

9. Ракевич, Ю.А. Аналитические исследования скорости движения воздуха в доильном стакане / Ю.А. Ракевич // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2023. – № 3. – С. 176-180. – EDN OMXFLX.

10. Цой, Ю.А. Автоматизированный доильный аппарат с почетвертным управлением процессом доения / Ю.А. Цой, В.В. Кирсанов, Д.Ю. Павкин // Науковий вісник НУБіП України. Серія: Техніка та енергетика АПК. – 2015. – № 209-1. – С. 134-140. – EDN TZLAQX.

References

1. Antoshuk, S.A., Sorokin, E.P. K voprosu obespecheniya stabilnosti vakuuma v doilnykh ustanovkakh [On the issue of ensuring vacuum stability in milking installations]. Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya selskogo khozyaystva: Mezhvedomstvennyy tematicheskiy sbornik, vol. 45, Minsk: Respublikanskoye unitarnoye predpriyatiye “Nauchno-prakticheskiy tsentr Natsionalnoy akademii nauk Belarusi po mekhanizatsii selskogo khozyaystva”, 2011, pp. 199-203.

2. Afanasyeva, T.I., Kokiyeva, G.E. Issledovaniye vakuumnogo nasosa dlya doilnoy ustanovki [Research on vacuum pump for milking machine]. Nauchno-tehnicheskiiy vestnik Povolzhia, 2022, no. 8, pp. 70-72.

3. Badov, V.D., Yashin, A.V. Dostoinstva i nedostatki doilnykh apparatov s upravlyayemym rezhimom raboty po rabochemu vakuumu [Advantages and disadvantages of milking machines with a controlled operating mode based on the working vacuum]. Tsifrovyye tekhnologii zhivyykh sistem v selskom khozyaystve: Sbornik materialov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Penza: Penzenskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet, 2022, pp. 79-83.

4. Kolonchuk, V.M. et all. Bessmazochnyy plastinchatyy vakuumnyy nasos dlya ustanovok individualnogo doeniya korov [Lubrication-free vane vacuum pump for individual cow milking systems]. Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya selskogo khozyaystva: Mezhvedomstvennyy tematicheskiy sbornik, vol. 49, Minsk: Respublikanskoye unitarnoye predpriyatiye “Nauchno-prakticheskiy tsentr Natsionalnoy akademii nauk Belarusi po mekhanizatsii selskogo khozyaystva”, 2015, pp. 160-165.

5. Boroznin, A.V., Boroznin, V.A. Teoreticheskoye obosnovaniye parametrov stabilizatsii raboty doilnogo oborudovaniya [Theoretical justification of parameters for stabilizing the operation of milking equipment]. Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vyssheye professionalnoye obrazovaniye, 2017, no. 1(45), pp. 245-252.

6. Boroznin, V.A. et all. Opredeleniye makro- i mikrokolobaniy vakuuma v sistemakh doilnogo oborudovaniya [Determination of macro- and micro-vacuum fluctuations in milking equipment systems]. Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vyssheye professionalnoye obrazovaniye, 2015, no. 4(40), pp. 187-194.

7. Krupenin, Yu.A., Krupenin, P.Yu. Analiz kolebaniy vakuummetricheskogo davleniya pri postanovke i snyatii doilnogo apparata [Analysis of vacuum pressure fluctuations when installing and removing a milking machine]. Konstruirovaniye. ispolzovaniye i nadezhnost mashin sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya, 2023, no. 1(22), pp. 251-257.

8. Perednya, V.I. et all. Povysheniye ekspluatatsionnykh kharakteristik vakuumnykh nasosov [Improving the performance of vacuum pumps]. Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva: Mezhdovedomstvennyy tematicheskiy sbornik (k 80-letiyu so dnya obrazovaniya NAN Belarusi), vol.42, Minsk: Respublikanskoye unitarnoye predpriyatiye “Nauchno-prakticheskiy tsentr Natsionalnoy akademii nauk Belarusi po mekhanizatsii sel'skogo khozyaystva”, 2008, pp. 181-190.

9. Rakevich, Yu.A. Analiticheskiye issledovaniya skorosti dvizheniya vozdukha v doilnom stakane [Analytical studies of air velocity in the milking cup]. Vestnik Belorusskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii, 2023, no. 3, pp. 176-180.

10. Tsoy, Yu.A. et all. Avtomatizirovanny doilnyy apparat s pochetvertnym upravleniyem protsessom doeniya [Automated milking machine with quarter-by-quarter milking process control]. Naukoviy visnik NUBiP Ukraini. Seriya: Tekhnika ta energetika APK, 2015, no. 209-1, pp. 134-140.

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: 31.03.2026

Поступила после рецензирования и доработки / Received: 22.06.2026

Дата принятия к печати / Accepted: 2.07.2026

Сведения об авторе

Рудых Альбина Владимировна – кандидат технических наук, доцент кафедры “Электрооборудования и физики” 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.: 89025135896, e-mail: avr3004@yandex.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9836-6753>.

Information about the author

Albina V. Rudykh – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor 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. 89025135896, e-mail: avr3004@yandex.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9536-6753>.



DOI 10.51215/2411-6483-2026-59-29-37

УДК 69.002

Научная статья

НАДЕЖНОСТЬ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН В ЗОНАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

¹А.П. Сырбаков, ²М.К. Бураев

¹Кузбасский государственный аграрный университет имени В.Н. Полецкого,
г. Кемерово, Россия

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

Аннотация. Повышение работоспособности машин – необходимое условие эффективности функционирования инженерно-технической системы агропромышленного комплекса (АПК) страны. Значительное снижение надежности и производительности транспортно-технологических машин, сопровождающееся повышением затрат, происходит в числе многих причин, под влиянием жестких зональных климатических условий. Зональные условия во многом отрицательно сказываются на техническом состоянии узлов и агрегатов автотракторной техники. Под влиянием низких температур окружающего воздуха, снежных заносов, ветра, мерзлого грунта, льда и т.д. составные части машин испытывают перегрузки, приводящие к интенсивному износу и отказам деталей. При эксплуатации техники зимой тяговые свойства машин падают на 5-12%, на 15-20% снижается сменная производительность, время простоя техники по технологическим и техническим причинам увеличивается на 10-20%, расход топлива возрастает на 15-20%. При работе сельскохозяйственных тракторов в зимний период совершается до 80% всех видов отказов (пусковые, нагрузочные, рабочие). Это в основном происходит из-за отсутствия системы планирования при переводе тракторов на зимнюю эксплуатацию, несоблюдения общих правил эксплуатации техники зимой, отсутствия качественных зимних эксплуатационных материалов (топлива, масел, антифризов и др.), низкого уровня механизаторов и т.д. В статье приведены сведения об особенностях эксплуатации и ремонта топливopодающей системы дизельных двигателей в условиях холодного климата. Показаны причины снижения надёжности работы системы питания двигателей, принципы и подходы к восстановлению работоспособности и адаптации норм расхода запасных частей к условиям использования машин.

Ключевые слова: надежность, климатические условия, топливopодающая система, запасные части.

Для цитирования: Сырбаков А.П., Бураев М.К. Надежность транспортно-технологических машин в зональных условиях эксплуатации. *Электронный научно-практический журнал “Актуальные вопросы аграрной науки”*. 2026; 2(59):29-37. DOI 10.51215/2411-6483-2026-59-29-37.

RELIABILITY OF TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL MACHINES IN ZONAL OPERATION CONDITIONS

¹Andrey P. Syrbakov, ²Mikhail K. Buraev

¹Kemerovo State Agrarian University named after V.N. Poletskov,
Kemerovo, Russia

Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky
Molodezhny, Molodezhnoye rural settlement, Irkutsk municipal district, Irkutsk region, Russia

Abstract. Improving the performance of machinery is a prerequisite for the effective functioning of the engineering and technical system of the country's agro-industrial complex. A significant decrease in the reliability and productivity of transport and technological machinery, accompanied by increased costs, occurs, among other things, under the influence of harsh zonal climatic conditions, which include low air temperatures, cold winds and high air humidity; varied terrain (virgin snow, frozen ground, ice, etc.), snowfalls, blizzards, snowstorms, fog, reduced daylight hours; uneven and variable winter operating conditions, reduced scope of work, and the absence of strict deadlines for work completion. These factors have a negative impact on the reliability of automotive and tractor equipment in agriculture, causing machine failures due to overloads, fatigue phenomena in materials, intensive wear of the working surfaces of components, etc. When operating equipment in winter, traction performance drops by 5-12%, shift productivity decreases by 15-20%, downtime for technological and technical reasons increases by 10-20%, and fuel consumption increases by 15-20%. Up to 80% of all failures (starting, load, and operating) occur during winter operation of agricultural tractors. This is primarily due to a lack of planning when converting tractors to winter operation, failure to follow general winter operating rules, a lack of high-quality winter operating materials (fuel, oils, antifreeze, etc.), poor operator skills, etc. This article provides information on the specifics of operating and repairing diesel engine fuel supply systems in cold climates. It describes the causes of reduced fuel system reliability, principles and approaches to restoring performance, and adjusting spare parts consumption rates.

Keywords: reliability, climatic conditions, fuel supply system, spare parts.

For citation: Syrbakov A.P., Buraev M.K. Reliability of transport and technological machines in zonal operating conditions. *Electronic scientific-Practical journal "Actual issues of agrarian science"*. 2026; 2(59):29-37. DOI 10.51215/2411-6483-2026-59-29-37.

Введение. Эксплуатация транспортно-технологических машин в условиях холодного климата приводит к снижению показателей работы большинства систем и механизмов, вызывая ухудшение свойств материалов и надежность техники (рис. 1). По мере старения машин растут затраты на их эксплуатацию, иными словами, на обеспечение их надежности. Например, износ деталей трансмиссии тракторов, работающих продолжительное время на масле, имеющем температуру минус 5°C и ниже, в 10-12 раз выше, чем износ этих деталей при работе их в масле, имеющем температуру +35° С и выше. Низкие температуры до минус 5 – минус 15°C окружающего воздуха приводят к изменению теплового режима работы двигателя, вызывая падение мощности, соответственно 98 и 96% от нормальной. Так, при понижении средней рабочей температуры двигателя с +75 до +35° С потери тепла возрастают на 10% [2].

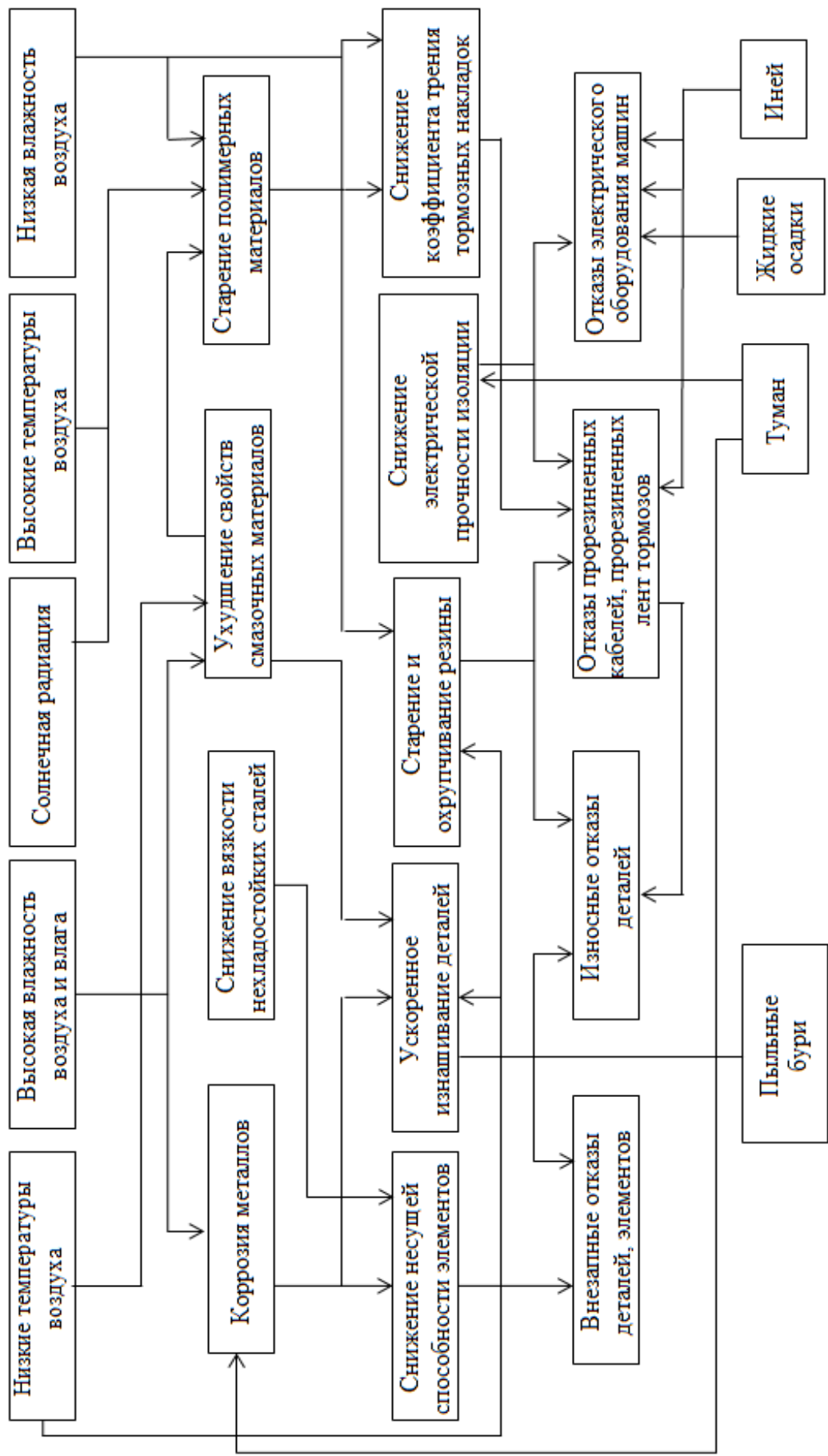
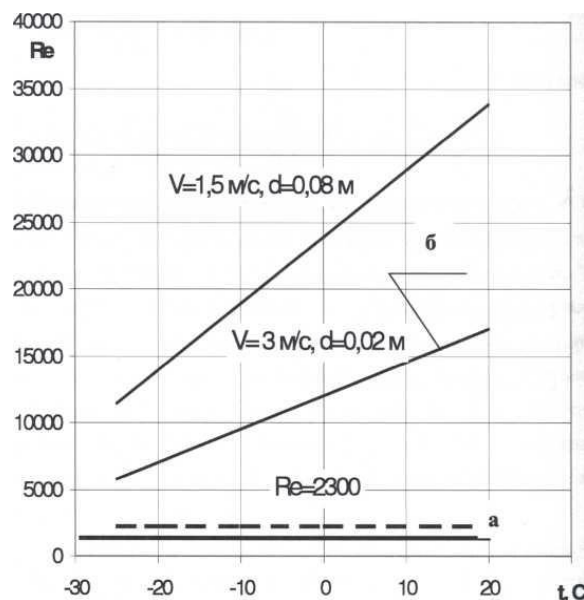


Рисунок 1 – Влияние климатических факторов и атмосферных явлений на свойства материалов и надежность машин

Figure 1 – The influence of climatic factors and atmospheric phenomena on the properties of materials and the reliability of machines

Целью статьи является описание надежности транспортно-технологических машин при их эксплуатации в условиях холодного климата.

Материалы и методы исследования. В зимнее время резко снижаются производительность и другие технико-экономические показатели машин. Особенно низки они у колесных машин. Так, тяговый КПД трактора МТЗ-1221 с двумя ведущими мостами при работе на снежной целине не превышает 0.3. Даже без нагрузки буксование трактора достигает 10...20%. Часто в хозяйствах по разным причинам энергонасыщенные тракторы (К-701, Т-150К и др.) агрегатируют зимой с прицепами малой грузоподъемности, с одним снегопахом и т.п. В результате тяговые возможности тракторов реализуются не полностью, повышается себестоимость работ [12]. Одной из причин является снижение надёжности работы топливоподающей системы питания двигателей [9, 10]. При низкой температуре окружающей среды топливо остывает в процессе конвективного теплообмена в баке и при движении в топливопроводе. В результате вязкость топлива увеличивается, вследствие чего ухудшаются процессы впрыскивания и горения топлива в камере сгорания двигателя. Из рисунка 2 видно, что при движении топлива в системе топливоподачи режим течения – ламинарный, а при дросселировании – турбулентный. С увеличением температуры вязкость снижается, а это приводит к увеличению числа Рейнольдса в 2.5 раза при увеличении температуры дизельного топлива на с -40°C до $+40^{\circ}\text{C}$ [3, 7, 13, 14].



а – при обычном режиме; б – при дросселировании

Рисунок 2 – Влияние температуры топлива, скорости его движения по топливопроводу и диаметра топливопровода на число Рейнольдса

Figure 2 – The influence of fuel temperature, its velocity through the fuel line and the diameter of the fuel line on the Reynolds number

Повышенная вязкость топлива приводит к частым отказам элементов системы топливоподачи – топливного насоса высокого давления (ТНВД)

(рис. 3) и необходимости восстановления их работоспособности (табл.). В свою очередь неустойчивая работа ТНВД является основной причиной неисправностей и отказов дизельных двигателей и снижением эксплуатационных характеристик ТТМ [4].

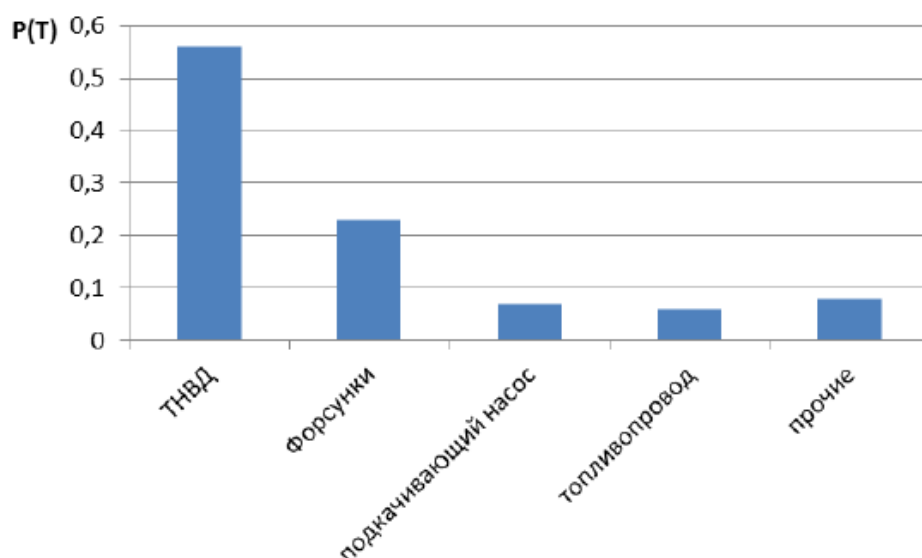


Рисунок 3 – Вероятность отказов элементов топливной аппаратуры

Figure 3 – Probability of failure of fuel equipment components

Таблица – Затраты на капитальный ремонт ТНВД

Table – Costs for major repairs of fuel injection pumps

Параметр	Трудоемкость, чел-ч	Затраты, руб
Монтаж/демонтаж	1.05	4620
Разборка/сборка	1.43	18000
Ремонт	16	6050
Запасные части	-	20000
Обкатка	1.2	7000
Рыночная стоимость нового ТНВД		40000

Одним из основных инструментов решения задачи оперативного устранения неисправностей транспортно-технологических машин является хорошо организованный процесс технического сервиса на основе ресурсосберегающих технологий обеспечения материалами, комплектующими изделиями, запасными частями и обменными элементами [5].

В связи с тем, что в настоящее время в сельском хозяйстве изменились условия и принципы поддержания технического состояния автотракторной техники, одной из важнейших проблем является дифференцирование потребности в запасных частях. Такой подход учитывает надежность машин в реальных условиях эксплуатации, и обоснованное распределение запасных частей по потребителям [1].

Многочисленные исследования практического применения отечественных

и зарубежных методов определения потребности в запасных частях для топливоподающих систем дизельных двигателей свидетельствуют о том, что нормативная потребность их на ресурсную наработку рассчитывается исходя из надежности деталей, узлов, агрегатов и условий эксплуатации [15].

К методам определения потребности в запасных частях, получивших в настоящее время широкое распространение, относят [8]: номенклатурный; по фактическому потоку требований на запасные части; смешанный.

Номенклатурный метод основан на расчете норм среднего годового расхода конкретной детали на 100 машин в год. Этим методом устанавливаются нормы расхода запасных элементов для определенных эталонных условий эксплуатации машин.

Второй метод применим для мелких хозяйств и предприятий. Здесь велика разница между реальной потребностью и объемом резерва запасных частей. Часто эта разница оказывается значительной и в некоторых случаях может достигать 57-60%.

Смешанный метод, предусматривает комбинацию двух вышеуказанных методов.

Большинство аналитических зависимостей, предназначенных для целей разработки норм расхода запасных частей, базируется на информации о долговечности деталей, которая в свою очередь в основном определяется скоростью их изнашивания [6]. При этом известно, что между скоростью изнашивания и ресурсом деталей существует обратно пропорциональная зависимость

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{L_2}{L_1}, \quad (1)$$

где U_1 – интенсивность изнашивания деталей при температуре T_1 ;

U_2 – интенсивность изнашивания деталей при температуре T_2 ;

L_1, L_2 – ресурсы деталей при температурах окружающего воздуха T_1, T_2 .

Если срок службы узла равен R , то необходимое количество деталей за этот срок при температурах окружающего воздуха T_1, T_2 составит

$$\frac{R}{L_1} = n_1; \quad \frac{R}{L_2} = n_2, \quad (2)$$

Их отношение равно

$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{n_1}{n_2} = k. \quad (3)$$

Согласно выражению (3) для получения коэффициентов корректировки норм потребности деталей для ремонта ТНВД в разных климатических зонах достаточно сравнивать их ресурсы.

Выводы. Теоретическое определение коэффициента k из-за многочисленности факторов, влияющих на износ при неустановившемся тепловом режиме двигателя с учетом циклов пуска – прогрева представляет

значительную сложность [11]. Его определение требует специального исследования. Отрицательное влияние климатических условий оказывает влияние не только на надёжность и производительность, но также и на качество, что в свою очередь приводит к неполному использованию машин, усложнению технологических процессов и организационным затруднениям, которые приводят к дополнительным потерям времени.

Список литературы

1. Белоусов, И.В. К повторному использованию деталей при ремонте машин / И.В. Белоусов, М.К. Бураев // 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. 334-341. – EDN AXFBUP.
2. Белоусов, И.В. Факторы, влияющие на эксплуатацию автотракторной техники в Сибирских условиях / И.В. Белоусов, М.К. Бураев // Климат, экология, сельское хозяйство Евразии: матер. XIII Междунар. научно-практ. конф., посвящ. 90-летию ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, п. Молодежный, 25–26 апреля 2024 года. – п. Молодежный: Иркутский ГАУ, 2024. – С. 157-161. – EDN GWWOKH.
3. Бережнов, Н.Н. Обоснование конструкции устройства для хранения и раздачи вязких нефтепродуктов / Н.Н. Бережнов, Р.В. Новиков // Современные тенденции сельскохозяйственного производства в мировой экономике: матер. XXII Междунар. научно-практ. конф., Кемерово, 06-07 декабря 2023 года. – Кемерово: Кузбасский ГАУ, 2023. – С. 546-556. – EDN MCXIMI.
4. Бодякина, Т.В. Обеспечение работоспособного состояния плунжерных пар топливного насоса высокого давления применением противозадирной присадки в дизельное топливо: дис. ... канд. техн. наук: 05. 20. 03 / Бодякина Татьяна Владимировна. – Новосибирск, 2022. – 140 с.
5. Бураев, М.К. Обеспечение работоспособности автотракторной техники корректированием расхода запасных частей при техническом сервисе / М.К. Бураев, А.В. Шистеев // Вестник ВСГУТУ. – 2019. – № 3(74). – С. 69-76. – EDN CLTLKQ.
6. Бураева, Г.М. Критерии капитального ремонта технических объектов / Г.М. Бураева, И.В. Белоусов, М.К. Бураев // Климат, экология, сельское хозяйство Евразии: матер. XIV Междунар. научно-практ. конф., посвящ. 80-летию Победы в ВОВ, п. Молодежный, 24-25 апреля 2025 года. – п. Молодежный: Иркутский ГАУ, 2025. – С. 204-208. – EDN AJKILT.
7. Гореев, А.А. Разработка газотопливного подогревателя дизельного двигателя / А.А. Гореев, Н.Н. Бережнов // Агропромышленному комплексу – новые идеи и решения: матер. XXII Внутривуз. научно-практ. конф., Кемерово, 03 февраля 2023 года. – Кемерово: ФГБОУ ВО Кузбасская ГСХА, 2023. – С. 287-294. – EDN ADVRDR.
8. Номенклатура и нормы расхода запасных частей к автомобилям КамАЗ (6х4) семейства 5320. – Набережные Челны, 1981. – 90 с.
9. Определение зависимости затрат на запасные части тракторов семейства МТЗ от сроков эксплуатации / В.В. Иванов, А.В. Седов, А.П. Николаев, Д.А. Миронов // Пермский аграрный вестник. – 2018. – № 4(24). – С. 4-9. – EDN PQDSTD.
10. Особенности эксплуатации транспортно-технологических машин в условиях высоких амплитуд суточных температур / О.А. Чооду, С.С. Евтюков, С.Ч. Монгуш, Н.Т. Сандан // Вестник гражданских инженеров. – 2018. – № 5(70). – С. 167-173. – DOI 10.23968/1999-5571-2018-15-5-167-173. – EDN YQNTDV.
11. Признаки зональной классификации запасных частей / М.К. Бураев, И.В. Белоусов, Г.М. Бураева, К.П. Балданов // Вестник ВСГУТУ. – 2025. – № 3(98). – С. 35-42. – DOI 10.53980/24131997_2025_3_35. – EDN KQBZNA.

12. Сырбаков, А.П. Интенсификация прогрева тракторных дизелей в условиях отрицательных температур / А.П. Сырбаков, С.П. Матяш // Транспортные системы и дорожная инфраструктура Крайнего Севера: сб. матер. IV Всерос. форума, Якутск, 28-29 марта 2024 года. – Якутск: Издательский дом СВФУ, 2024. – С. 150-155. – EDN QYMLVI.

13. Сырбаков, А.П. Тепловая подготовка дизельных двигателей / А.П. Сырбаков, Н.Н. Бережнов, М.А. Корчуганова, С.П. Матяш // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2019. – № 8(178). – С. 167-174. – EDN BMFDDDB.

14. Сырбаков, А.П. Улучшение пусковых характеристик дизельного двигателя в условиях отрицательных температур / А.П. Сырбаков // Актуальные научно-технические средства и сельскохозяйственные проблемы": матер. IV Нац. научно-практ. конф. с междунар. участием, Кемерово, 25.06.2020. – Кемерово: Кузбасская ГСХА, 2020. – С. 27-31.

15. Шистеев, А.В. Обеспечение работоспособности тракторов "New Holland" на основе резервирования сменно-обменных элементов при техническом сервисе / А.В. Шистеев, М.К. Бураев, А.И. Аносова, М.К. Бураев, В.А. Беломестных С.Ю. Луговнин // Вестник АлтГАУ. – 2016. – № 9. – С. 93-99.

References

1. Belousov, I.V., Buraev, M.K. K povtornomu ispol'zovaniyu detalej pri remonte mashin [Towards the reuse of parts in machine repairs]. Molodezhny, 2023, pp. 334-341.

2. Belousov, I.V., Buraev, M.K. Faktory, vliyayushhie na e'kspluatsiyu avtotraktornoj tekhniki v Sibirskix usloviyax [Factors influencing the operation of motor vehicles and tractors in Siberian conditions]. Molodezhny, 2024, pp. 157-161.

3. Berezhnov, N.N., Novikov, R.V. Obosnovanie konstrukcii ustrojstva dlya xraneniya i razdachi vyazkix nefteproduktov [Justification of the design of a device for storing and dispensing viscous petroleum products]. Kemerovo, 2023, pp. 546-556.

4. Bodyakina, T.V. Obespechenie rabotosposobnogo sostoyaniya plunzherny'x par toplivnogo nasosa vy'sokogo davleniya primeneniem protivozadirnoj prisadki v dizel'noe topivo [Ensuring the operability of plunger pairs of a high-pressure fuel pump by using an extreme pressure additive in diesel fuel]. Dis. ... Cand. of Technical Sciences: 05.20.03 / Bodyakina Tatyana Vladimirovna, Novosibirsk, 2022, 140 p.

5. Buraev, M.K., Shisteyev, A.V. Obespechenie rabotosposobnosti avtotraktornoj tekhniki korrektsirovaniem rasxoda zapasny'x chastej pri texnicheskom servise [Ensuring the operability of automotive and tractor equipment by adjusting the consumption of spare parts during technical service]. Vestnik VSGUTU, 2019, no. 3 (74), pp. 69-76.

6. Buraeva, G.M. et al. Kriterii kapital'nogo remonta texnicheskix ob'ektov [Criteria for major repairs of technical objects]. Molodezhny, 2025, pp. 204-208.

7. Goreev, A.A., Berezhnov, N.N. Razrabotka gazotoplivnogo podogrevatelya dizel'nogo dvigatelya [Development of a gas-fuel heater for a diesel engine]. Kemerovo, 2023, pp. 287-294.

8. Nomenklatura i normy` rasxoda zapasny'x chastej k avtomobilyam KamAZ (6x4) semejstva 5320 [Nomenclature and consumption rates of spare parts for KamAZ vehicles (6x4) of the 5320 family]. Naberezhnye Chelny, 1981, 90 p.

9. Ivanov, V.V. et al. Opreделение zavisimosti zatrat na zapasny'e chasti traktorov semejstva MTZ ot strokov e'kspluatscii [Determination of the dependence of costs for spare parts of MTZ family tractors on the service life]. Permskij agrarny`j vestnik, 2018, no. 4 (24), pp. 4-9.

10. Choodu, O.A. et al. Osobennosti e'kspluatscii transportno-texnologicheskix mashin v usloviyax vy'sokix amplitud sutochny'x temperatur [Features of Operation of Transport and Technological Machines under Conditions of High Daily Temperature Amplitudes]. Vestnik grazhdanskix inzhenerov, 2018, no. 5 (70), pp. 167-173.

11. Buraev, M.K. Priznaki zonal'noj klassifikacii zapasny'x chastej [Features of zonal classification of spare parts]. Vestnik VSGUTU, 2025, no. 3(98), pp. 35-42.

12. Syrbakov, A.P., Matyash, S.P. Intensifikatsiya progrev traktornykh dizelej v usloviyakh otritsatel'nykh temperatur [Intensification of warming up of tractor diesel engines under sub-zero temperatures]. Yakutsk, 2024, pp. 150-155.

13. Syrbakov, A.P. et al. Teplovaya podgotovka dizel'nykh dvigatelej [Thermal Preparation of Diesel Engines]. Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, 2019, no. 8 (178), pp. 167-174.

14. Syrbakov, A.P. Uluchshenie puskovykh karakteristik dizel'nogo dvigatelya v usloviyakh otritsatel'nykh temperatur [Improving the starting characteristics of a diesel engine under sub-zero temperatures]. Kemerovo, 2020, pp. 27-31.

15. Shisteyev, A.V. et al. Obespechenie rabotosposobnosti traktorov “New Holland” na osnove rezervirovaniya smenno-obmennyykh elementov pri texnicheskom servise [Ensuring the operability of New Holland tractors based on the redundancy of replaceable-exchange elements during technical service]. Vestnik AltGAU, 2016, no. 9, pp. 93-99.

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: 9.04.2026

Поступила после рецензирования и доработки / Received: 22.06.2026

Дата принятия к печати / Accepted: 2.07.2026

Сведения об авторах

Буреав Михаил Кондратьевич – доктор технических наук, профессор кафедры “Технический сервис и общетехнические дисциплины” инженерного факультета. Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского.

Контактная информация: ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, 664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодёжный, тел. 83952237431, e-mail: buraev@mail.ru. ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-5028-7511>.

Сырбаков Андрей Павлович – кандидат технических наук, доцент кафедры “Агроинженерия”. Кузбасский государственный аграрный университет имени В.Н. Полецкого.

Контактная информация: ФГБОУ ВО Кемеровский ГАУ, 650056, Россия, г. Кемерово, ул. Марковцева, тел. 89039335581, e-mail: sirbakovap@yandex.ru.

Information about the authors:

Mikhail K. Buraev – doctor of technical sciences, professor of the department of “Technical service and general technical disciplines” of the Engineering faculty. Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky.

Contact information: FSBEI HE Irkutsk SAU, 664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk district, Molodezhny, tel. 83952237431, e-mail: buraev@mail.ru. ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-5028-7511>.

Andrey P. Syrbakov – candidate of technical sciences, associate professor of the department of agricultural engineering, Kuzbass State Agrarian University named after V.N. Poletskov.

Contact information: FSBEI HE Kemerov SAU, 650056, Russia, Kemerovo, Markovtseva str., tel.: 89039335581, e-mail: sirbakovap@yandex.ru..



DOI 10.51215/2411-6483-2026-59-38-48

УДК 631.347

Научная статья

СРАВНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ДОЖДЕВАТЕЛЕЙ NELSON В КРУГОВЫХ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

А.Г. Черных

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

Аннотация. Современные дождеватели с точки зрения применяемой конструктивной схемы их изготовления, как правило, имеют ограниченные возможности в плане регулирования создаваемого ими объемного облака искусственного дождя, привязанного к локальной зоне увлажняемой поверхности. Ограничения по регулированию плотности объема воды, содержащейся в облаке, создаваемом единичным дождевателем, связано с наличием регулятора давления в его конструкции. Регулятор давления, как правило, проточного типа в большинстве дождевателей в процессе своей работы стабилизирует давление воды на выходе его антивибрационной проточной лопасти при переменной величине давления на входном патрубке регулятора. В функциональном плане работа регулятора обеспечивает постоянный секундный расход воды через сопло форсунки на выходе, которая, в свою очередь, в режиме свободного падения за форсункой попадает на вращающийся рассекатель с канавками. С точки зрения пространственной конфигурации любой рассекатель представляет собой усеченный конус, на боковой поверхности которого в радиальном направлении расположено четырнадцать наклонных проточных канавок, каждая из которых в направлении от внешней границы рассекателя к соплу форсунки имеет неравномерную форму в поперечном сечении. Вода, попадая в наклонные проточные канавки из сопла, разбивается на четырнадцать элементарных струй. Произвольный достаточно малый объем воды в струе в процессе движения в канавки имеет две составляющие скорости окружную и радиальную. Учитывая неоднородность профилирующих участков любой канавки по отношению к другим канавкам, результирующие скорости элементарных струй на кромке рассекателя будут взаимно независимыми. Как следствие объемная плотность и скорость воды в водяном факеле за кромкой рассекателя определяется соответствующим значением результирующей скорости для рассматриваемой струи. Таким образом, влияние конструкции дождевателя на величину осредненного значения площади увлажняемой поверхности требует теоретического и экспериментального исследований.

Ключевые слова: дождеватель, расход, регулятор давления, дроссельный стержень.

Для цитирования: Черных А.Г. Сравнение характеристик дождевателей Nelson в круговых оросительных системах. *Электронный научно-практический журнал “Актуальные вопросы аграрной науки”*. 2026; 2(59):38-48. DOI: 10.51215/2411-6483-2026-59-38-48.

COMPARISON OF NELSON SPRINKLER CHARACTERISTICS IN PIVOT IRRIGATION SYSTEMS

Alexey G. Chernykh

Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky
Molodezhny, Molodezhnoye rural settlement, Irkutsk municipal district, Irkutsk region, Russia

Abstract. Modern sprinklers, due to their design, typically have limited ability to regulate the volumetric cloud of artificial rain they create, which is tied to a localized area of the surface being wetted. The limitations in regulating the density of the volume of water contained in the cloud created by a single sprinkler are due to the presence of a pressure regulator in its design. The pressure regulator, typically a flow-through type in most sprinklers, stabilizes the water pressure at the outlet of its anti-vibration flow-through blade while the pressure at the regulator inlet varies. Functionally, the regulator ensures a constant flow rate of water through the nozzle outlet, which, in turn, falls in free fall behind the nozzle onto a rotating diffuser with grooves. In terms of spatial configuration, any sprinkler is a truncated cone with fourteen inclined flow grooves arranged radially along its lateral surface. Each groove has an uneven cross-sectional shape extending from the outer edge of the sprinkler toward the nozzle. Water entering the inclined flow grooves from the nozzle is broken into fourteen elementary jets. An arbitrary, relatively small volume of water in the jet, moving through the grooves, has two velocity components: circumferential and radial. Given the non-uniformity of the profiling sections of any groove relative to other grooves, the resulting velocities of the elementary jets at the edge of the sprinkler will be mutually independent. Consequently, the bulk density and velocity of the water in the spray plume beyond the edge of the sprinkler are determined by the corresponding value of the resulting velocity for the jet in question. Thus, the influence of sprinkler design on the average value of the wetted surface area requires theoretical and experimental research.

Keywords: sprinkler, flow rate, pressure regulator, throttle rod.

For citation: Chernykh A.G. Comparison of Nelson sprinkler characteristics in pivot irrigation systems. *Electronic scientific-Practical journal "Actual issues of agrarian science"*. 2026; 2(59):38-48. DOI: 10.51215/2411-6483-2026-59-38-48.

Введение. В настоящее время применяют четыре основных способа искусственного дождевания в механических системах полива, в том числе с использованием широкозахватных дождевальных машин [2]. К ним относятся дождевание сверху, дождевание со средней высоты, дождевание с низкой высоты и мобильное капельное орошение [1]. Дождевание сверху практически не используется поскольку суммарные потери воды из-за сноса ветром и испарения делают такой способ орошения не эффективным во всех отношениях. Дождевание со средней высоты, осуществляется с помощью дождевателей, которые монтируются на отводах основного трубопровода машины с помощью гибких полимерных вертикально свисающих шлангов на расстоянии 2÷4 метра друг от друга [4]. Расстояние от дождевателя до земли является разностью соответствующих длин, где уменьшаемым является расстояние от земли до трубопровода, а вычитаемым длина полимерного шланга. Как правило, все дождеватели удалены от поверхности

почвы в диапазоне высот от 1.4÷2.0 метра. При дождевании со средней высоты, верхняя граница увлажняемой зоны с учетом конструктивной схемы дождевателя для большинства фирм изготовителей лежит в диапазоне от 5.5÷12.7 метра [6]. Мобильная система капельного орошения является самой дорогой системой в плане покупки и установки, но сочетает в себе эффективность поверхностного капельного орошения с гибкостью и экономическими преимуществами круговых или линейных дождевальных машин [8]. Данная система может быть технически реализована путем удаления из системы дождевания со средней высоты вертикально свисающих дождевателей и подсоединения к отводам на основном трубопроводе машины капельных линий. Каждая капельная линия представляет собой гибкую полимерную трубку, идущую от основного трубопровода заполненного водой под давлением, как правило, вертикально вниз, к нижнему концу, расположенному на небольшом расстоянии от земли. К нижнему концу каждой капельной ленты прикреплен капельный шланг с множеством капельниц по всей длине. К нижнему концу каждой капельной ленты прикреплен груз, который удерживает ее в вертикальном положении, пока система полива движется по полю. Капельный шланг соединен с нижним концом капельной ленты и отходит от него в сторону, практически по всей длине соприкасаясь с землей, и оснащен множеством капельниц, равномерно распределенных по всей длине. Устройство эффективно при использовании на участках с относительно небольшой площадью. Однако указанный способ полива не эффективен при орошении больших площадей, поскольку процесс увлажнения происходит непосредственно в точках полива, т.е. вода практически не распределяется в стороны от линии движения капельного шланга.

По сравнению с системой дождевания с осредней высоты, имеющей эффективность орошения около 78%, и системы дождевания с низкой высоты с эффективностью 95%, мобильная система имеет эффективность 98% [3]. В рассматриваемом случае предполагается исследовать работу в процессе полива дождевателей фирмы Nelson, которые расположены на основном трубопроводе дождевальной машины фирмы T-L Irrigation Company. С учетом приведенной выше классификации указанная машина относится к механическим системам полива с набором гидравлических приводов несущих конструкций и процессом дождевания со средней высоты. Принимая во внимание огромную номенклатуру дождевателей фирмы Nelson с форсунками типа 3TN Nozzle, позволяющую на практике реализовать процесс орошения, соответствующий различным эксплуатационным требованиям, текущую задачу определения зоны увлажнения единичного дождевателя с учетом его конструкции можно рассматривать как начальный этап реализации вычислительного алгоритма. Конечной целью указанного алгоритма будет формирование для выбранной технологии полива составных элементов и узлов системы ирригации с

заданными свойствами, включая систему точного земледелия.

Цель работы – сравнить характеристики распределения воды на плоскости орошения, полученные расчетным и экспериментальным путем для дождевателей различной конструкции, расположенных на основном трубопроводе широкозахватной дождевальной машины фирмы T-L.

С учетом полученных данных выработать рекомендации по применению дождевателей различной конструкции для обеспечения ими в процессе работы совместно с оборудованием беспроводного управления компании Nelson заданной технологии полива.

Материалы и методики исследования. При выборе аналитического способа определения зоны увлажнения единичного дождевателя необходимо на начальном этапе исследовать форму создаваемого им дождевального облака. Многочисленные наблюдения процесса распыла дождевателями большинства конструкций, включая факт наличия или отсутствия регулятора давления, а также применения в них вращающихся рассекателей различной формы, позволяют сделать вывод о том, что получаемое облако является существенно несимметричным и не может быть разбито на конечное число симметричных фрагментов (рис. 1). Это связано с тем, что водяное облако, которое образуется за счет распыления воды с кромки вращающегося рассекателя дождевателя, имеет сложную структуру относительно объемной плотности и поля скоростей входящих в него капель [7]. Применение регулятора давления в конструкции дождевателя позволяет исключить из процесса рассмотрения ряд технических параметров, которые влияют на степень несимметрии искусственного облака воды, создаваемого дождевателем [5].

Кроме того, в конструкциях современных дождевателей за счет применения форсунок с гибкими отверстиями, которое сжимается по мере увеличения давления воды на соответствующем отводе трубопровода, приводит к тому, что поток воды, попадающей на рассекатель, остается постоянным и отпадает необходимость в применении регулятора давления. Тем не менее, методика, предполагающая для определения зоны увлажнения, создаваемого дождевателем, использовать понятия элементарной струи, требует учета ряда начальных условий, которые не могут быть получены априори ни в ходе соответствующих опытов, ни на основании данных завода-изготовителя дождевателя [7]. В дополнение следует отметить, что необходимость учета в расчетах высоты свеса дождевателя, как правило, приводит в расчетах зоны увлажнения элементов баллистической теории базирующейся на понятии среднего арифметического диаметра капли [9]. Как следствие, получаемое в этом случае значение зоны увлажнения дождевателя не достаточно корректно с точки зрения соответствия тождественной зоне, определяемой реальным процессом распыления.



Рисунок 1 – Веерообразные струи воды за кромкой рассекателя дождевателя серии D3000 с одним держателем сопла

Figure 1 – Fan-shaped water jets behind the lip of the D3000 Series single-head sprinkler

Для определения зоны увлажнения L_y расчетным путем воспользуемся формулой Фэна [10]:

$$L_y = 4\mu^2 H \sin^2 \gamma (\cot \gamma - 0,216 \frac{H^{0,94}}{d}),$$

где $\mu \in [0.86 \div 0.9]$ – коэффициент скорости потока, б/р; H – рабочее давление воды на выходе сопла дождевателя, м; γ – угол наклона канавки рассекателя, °; d – диаметр сопла, м.

Учитывая, что на начальном этапе расчетов для оценки зоны увлажнения сопротивлением воздуха можно пренебречь, то формулу необходимо применить для канавки, имеющей наибольший угол возвышения ($\max$) над условной линией горизонта, лежащей в плоскости, на которую опирается основание рассекателя.

Необходимо отметить, что величина угла $\max$ определяется профилем канавок рассекателя, т.е. фактически типом сельскохозяйственной структуры, для орошения которой применяется дождеватель.

Результаты исследований. В полевых условиях с использованием дождевателей Nelson серии 3000 с держателями для одного и двух сопел с форсунками 3TN, а также серии T3000 с форсунками 3000FC с учетом их расположения на основном трубопроводе дождевальной машины проведены эксперименты, позволившие оценить величину зоны увлажнения единичного дождевателя, осредненную к соответствующему контуру увлажнения в форме круга.

Конструкционные данные эксперимента применительно к основному трубопроводу машины длиной 610 метров с одиннадцатью опорными тележками и набором дождевателей приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Сводная таблица количества и типов дождевателей фирмы Nelson расположенных на основном трубопроводе дождевальной машины

Table 1 – Summary table of the number and types of Nelson sprinklers located on the main pipeline of the sprinkler machine

Участок трубопровода на конструктивной схеме	Тип дождевателя / Способ монтажа	Количество дождевателей
между центральной поворотной башней и тележками №1-№2-№3-№4	серия D3000 с одним держателем для сопла форсунки типа 3TN / гибкий шланг	33
между тележками №4-№5-№6-№7-№8	серия T3000 с форсунками типа 3000FC / жесткий отвод	72
между тележками №8-№9-№10-№11 – концевая пушка	серия D3000 с двумя держателями для сопел форсунок типа 3TN / гибкий шланг	60

Таблица 2 – Сводная таблица размеров сопел дождевателей фирмы Nelson и расстояния на отводах основного трубопровода дождевальной машины

Table 2 – Summary table of sizes of Nelson sprinkler nozzles and distances at the branches of the main sprinkler pipeline

Участок трубопровода на конструктивной схеме	Диапазон диаметров сопел дождевателей, мм	Расстояние между дождевателями, мм
между центральной поворотиной башней и тележками №1-№2-№3-№4	2.8 ÷ 6.9	6.4
между тележками №4-№5-№6-№7-№8	5.2 ÷ 7.3	3.2
между тележками №8-№9-№10-№11 – концевая пушка	7.5 ÷ 8.9	3.2

Расчетная схема для измерения зоны увлажнения единичного дождевателя приведена на рисунке 2. К дождевателям №1 и №3 подводящие воду шланги – заглушены. Дождеватель №2 является рабочим.

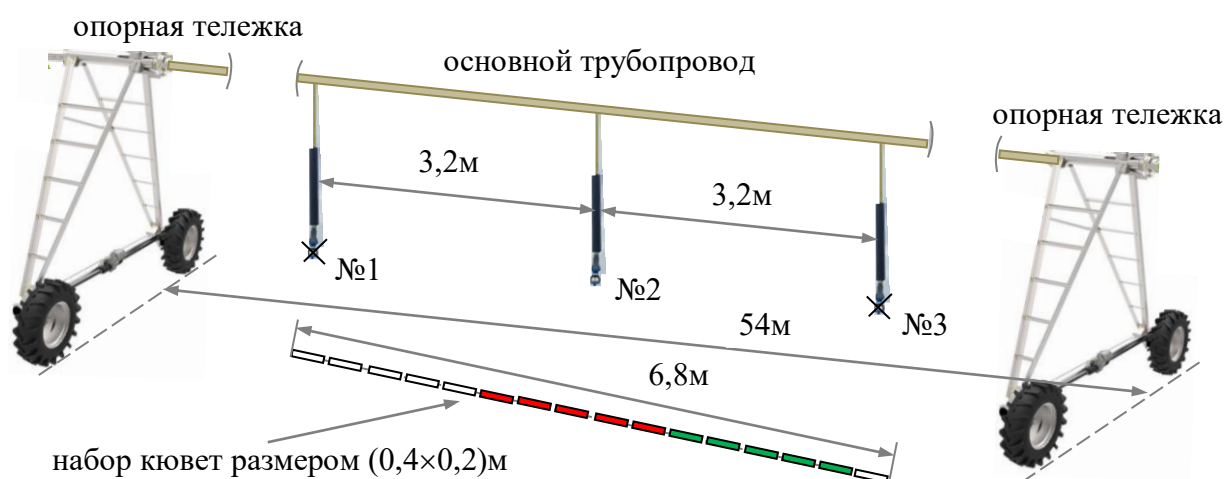


Рисунок 2 – Расчетная схема с основным трубопроводом дождевальной машины T-L Irrigation company, дождевателями и набором измерительных кювет

Figure 2 – Calculation diagram with the main pipeline of the T-L Irrigation company sprinkler machine, sprinklers and a set of measuring cuvettes

При проведении эксперимента кюветы располагаются на достаточном удалении от основного трубопровода таким образом, чтобы в них не попадали капли воды. По мере приближения трубопровода за счет вращения относительно башни в кюветы начинает попадать вода. Величина угла α (рис. 3) является положительной. Вращение трубопровода относительно кювет приводит к тому, что для некоторого отрицательного значения угла α в них перестает попадать вода. Временной интервал Δt от момента попадания воды в кюветы до момента прекращения определяется с помощью

секундомера. Зная угловую скорость движения трубопровода и величину Δt , можно определить длину соответствующей хорды и далее максимальное удаление от дождевателя кюветы, в которую попадают капли воды.



Рисунок 3 – Фрагмент дождевальной машины с набором дождевателей и измерительных кювет на орошаемой поверхности

Figure 3 – A fragment of a sprinkler machine with a set of sprinklers and measuring cuvettes on the irrigated surface

В таблице 3 приведены результаты расчета и экспериментальные данные для дождевателей серии D3000 с одним держателем и серии T3000 с форсунками типа 3000FC при высоте свеса 2.35 метра.

Таблица 3 – Сводная таблица зон увлажнения дождевателей фирмы Nelson

Table 3 – Summary table of humidification zones for Nelson sprinklers

Тип дождевателя	Диапазон сопла, мм	Граница зоны увлажнения, мм
серия D3000	4.0	расчет – 5.2 / эксперимент – 5.0
	5.0	расчет – 5.9 / эксперимент – 5.5
	6.0	расчет – 6.8 / эксперимент – 6.3
	6.9	расчет – 7.5 / эксперимент – 6.9
серия T3000	2.8	расчет – 3.2
	4.0	расчет – 3.4
	5.0	расчет – 3.4
	6.0	расчет – 3.5
	6.9	расчет – 3.6

Выводы. Теоретические и практические результаты проведенного исследования по изучению работы дождевателей типовой номенклатуры в технологической схеме широкозахватной дождевальной машины фирмы T-L позволяют сделать ряд общих выводов и практических рекомендаций по адаптации работы существующих элементов и узлов ее конструкции к решению комплексной задачи по дифференцированному внесению воды. В частности, дождевальная машина не должна работать с одним алгоритмом, соответствующим режиму сплошного распыла воды над орошаемой площадью для заданной поливальной нормы. В процессе полива необходимо обеспечить работу дождевателей таким образом, чтобы они функционировали с учетом наличия на поле дефицитных зон с неравномерным увлажнением, а также текущих значений комплексных показателей оценки состояния возделываемой сельскохозяйственной культуры в указанных зонах в режиме реального времени. По мере удаления от центральной поворотной башни, на трубопроводе между четвертой и пятой опорными башнями и далее вплоть до восьмой башни целесообразно использовать сплинкеры Nelson T3000 Трэшбастер с форсунками контроля потока 3000FC, что позволяет исключить из конструкции дождевателя регулятор давления. За пределами восьмой опорной башни и до концевой пушки на трубопроводе для минимизации количества и площади дефицитных зон с неравномерным увлажнением целесообразно к соответствующим отводам на концах полимерных шлангах крепить дождеватели Nelson серии 3000 с держателями для двух сопел форсунок ЗТН.

Благодарность. Автор выражает благодарность директору КФХ “ИП Кичигина Л.П.”, Иркутская область, Усолье-Сибирское, село Мальта за помощь в проведении настоящих исследований. Исследования проводились в ходе выполнения хоздоговорной научно-исследовательской работы на тему: “Модернизация закрытых оросительных систем с импортными техническими средствами применительно к технологиям точного орошения”.

Список литературы

1. Райхман, Д.Б. Анализ способов орошения в сельском хозяйстве / Д.Б. Райхман, Д.В. Зубоченко // Научные труды Южного филиала Национального университета биоресурсов и природопользования Украины "Крымский агротехнологический университет". Серия: Технические науки. – 2013. – № 153. – С. 194-203. – EDN SYNIOR.
2. Сухарев, Д.В. Дождевальная и поливная техника / Д.В. Сухарев. – Новочеркасск: Донской государственный аграрный университет, 2020. – 84 с. – EDN QDHLKI.
3. Сухарев, Д.В. Машины и установки для орошения сельскохозяйственных культур / Д.В. Сухарев, Е.А. Чайка. – Новочеркасск: Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А.К. Кортунова ФГБОУ ВПО “Донской государственный аграрный университет”, 2019. – 75 с. – EDN FQAQNM.
4. Хатхоху, Е.И. Сравнительный анализ традиционных и современных методов орошения: преимущества и недостатки / Е.И. Хатхоху, М.А. Железняк, Э.Г. Бондаревская // Славянский форум. – 2025. – № 2(48). – С. 276-281. – EDN PNAWGC.

5. Черных, А.Г. Динамическая модель регулятора давления прямого действия дождевателей с низким напором / А.Г. Черных // Актуальные вопросы аграрной науки. – 2024. – № 51. – С. 36-46. – EDN MRJRHf.

6. Черных, А.Г. Определение зоны смачивания дождевателя в круговых самоходных дождевальных установках / А.Г. Черных // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2024. – № 1(75). – С. 105-114. – DOI 10.24412/2078-1318-2024-1-105-114. – EDN LAKNYZ.

7. Черных, А.Г. Уравнение движения воды в радиальном канале вращающегося рассекателя дождевателя / А.Г. Черных // Актуальные вопросы аграрной науки. – 2025. – № 54. – С. 26-33. – EDN FDMIZP.

8. Эглит, А.И. Капельное орошение: технология, эффективность и перспективы применения в условиях дефицита водных ресурсов / А.И. Эглит, Е.В. Демчук // Инновационные технологии в АПК, как фактор развития науки в современных условиях: Сб. XIV Междунар. научно-практ. конф., посвящ. 75-летию факультета Технического сервиса в АПК (факультет механизации сельского хозяйства Омского СХИ им. С.М. Кирова) ФГБОУ ВО Омский ГАУ, Омск, 27 ноября 2025 года. – Омск: Омский ГАУ им. П.А. Столыпина, 2025. – С. 432-437. – EDN ROEKMI.

9. Zapat N. Simulating water distribution patterns for fixed spray plate sprinkler using the ballistic theory/ N. Zapat, S. Ouazaa, R. Salvador // Spanish journal of agricultural research, 2014, vol. 12(3), pp. 850-863.

10. Zhang, Lin & Fu, Boyang & Hui, Xin & Ren, Naiwang. (2018). Simplified method for estimating throw radius of rotating sprinklers on sloping land. Irrigation Science. 36. 10.1007/s00271-018-0594-8.

References

1. Rajzman, D.B., Zubochenko, D.V. Analiz sposobov orosheniya v sel'skom khozyajstve [Analysis of irrigation methods in agriculture]. Nauchny'e trudy Yuzhnogo filiala Nacional'nogo universiteta bioresursov i prirodopol'zovaniya Ukrainy` Kry`mskij agrotehnologicheskij universitet. Seriya: Texnicheskie nauki. 2013, no. 153, pp. 194-203.

2. Suxarev, D.V. Dozhdeval'naya i polivnaya texnika [Sprinkler and irrigation equipment]. Novocherkassk: Donskoj gosudarstvenny`j agrarny`j universitet, 2020, 84 p.

3. Suxarev, D.V., Chajka, E.A. Mashiny` i ustanovki dlya orosheniya sel'skoxozyajstvenny`x kul'tur [Machines and installations for irrigation of agricultural crops]. Novocherkassk: Novocherkasskij inzhenerno-meliorativny`j institut imeni A.K. Kortunova FGBOU VPO "Donskoj gosudarstvenny`j agrarny`j universitet", 2019, 75 p.

4. Hathohu, E.I. et all. Sravnitel'ny`j analiz tradiciczonny`x i sovremenny`x metodov orosheniya: preimushhestva i nedostatki [Comparative analysis of traditional and modern irrigation methods: advantages and disadvantages]. Slavyanskij forum, 2025, no. 2(48), pp. 276-281.

5. Cherny`h, A.G. Dinamicheskaya model` regul'yatora davleniya pryamogo dejstviya dozhdevatelej s nizkim naporom [Dynamic model of direct acting pressure regulator for low pressure sprinklers]. Aktual'ny`e voprosy` agrarnoj nauki, 2024, no. 51, pp. 36-46.

6. Cherny`h, A.G. Opredelenie zony` smachivaniya dozhdevatelya v krugovy`x samoxodny`x dozhdeval'ny`x ustanovkax [Determination of the wetting zone of a sprinkler in self-propelled pivot irrigation systems]. Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, 2024, no. 1(75), pp. 105-114.

7. Cherny`h, A.G. Uravnenie dvizheniya vody` v radial`nom kanale vrashhayushhegosya rassekatel'ya dozhdevatelya [Equation of water motion in the radial channel of a rotating sprinkler diffuser]. Aktual'ny`e voprosy` agrarnoj nauki, 2025, no. 54, pp. 26-33.

8. E`glit, A.I., Demchuk, E.V. Kapel`noe oroshenie: texnologiya, e`ffektivnost` i perspektivy` primeneniya v usloviyax deficita vodny`x resursov [Drip irrigation: technology, efficiency and application prospects in conditions of water scarcity]. Omsk: Omskiy gosudarstvenny`j agrarny`j universitet im. P.A. Stoly`pina, 2025, pp. 432-437.

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: 17.06.2026

Поступила после рецензирования и доработки / Received: 26.06.2026

Дата принятия к печати / Accepted: 2.07.2026

Сведения об авторе

Черных Алексей Георгиевич – кандидат технических наук, доцент, 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, Иркутский район, п. Молодёжный, тел.: 89500633102, e-mail: kandida2006@yandex.ru), ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3498-6579>.

Information about the authors:

Alexey G. Chernykh – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of “Power Supply and Electrical Engineering” 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 district, Molodezhny, tel. 89500633102, e-mail: kandida2006@yandex.ru), ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3498-6579>.



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

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

DOI 10.51215/2411-6483-2026-59-49-59

УДК 631.1:519.852

Научная статья

**АЛГОРИТМ МНОГОУРОВНЕВОЙ МНОГОЭТАПНОЙ
ОПТИМИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА, ПЕРЕРАБОТКИ И
РЕАЛИЗАЦИИ РАСТЕНИЕВОДЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ**

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 предложен алгоритм многоуровневой многоэтапной оптимизации процессов производства, переработки и реализации растениеводческой продукции. Многоуровневая модель характеризует разные условия деятельности товаропроизводителя, а многоэтапность – последовательную реализацию взаимосвязанных моделей производства, переработки и продаж продукции. На первом этапе выполняется сбор и анализ производственно-экономических характеристик предприятия, на основании которых строятся вероятностные и детерминированные прогнозы. Рассматривается пять условий деятельности сельскохозяйственного товаропроизводителя: неблагоприятные, благоприятные, усредненные условия, а также проявление экстремальных неблагоприятных и благоприятных событий. Выполняется построение многоуровневой параметрической модели оптимизации производства продукции и получение оптимальных решений для разных условий экстремальных событий. Вторым этапом является переработка растениеводческой продукции, которая связана с полученными объемами производства. Здесь на основе характеристик переработки строится многоуровневая модель оптимизации переработки, отображающая деятельность предприятия в усредненных, неблагоприятных и благоприятных условиях и с учетом экстремальных событий. Третий этап алгоритма характеризует процесс реализации продукции. В качестве исходных данных используются объемы произведенной и переработанной продукции. После построения многоуровневой транспортной задачи определяются оптимальные решения для разных условий и с учетом событий. Предложенный алгоритм предусматривает использование результатов предыдущего этапа для последующего шага. Апробация выполнена на материалах СХАО “Белореченское”. Предложенный алгоритм позволяет оценивать изменчивость производственно-экономических характеристик предприятия на разных этапах, получать оптимальные решения для планирования деятельности предприятия в разных условиях для повышения эффективности принятия решений.

Ключевые слова: многоуровневая многоэтапная оптимизация, алгоритм, производство, переработка, реализация, растениеводческая продукция.

Для цитирования: Ананьев Л.С. Алгоритм многоуровневой многоэтапной оптимизации производства, переработки и реализации растениеводческой продукции. *Электронный научно-практический журнал “Актуальные вопросы аграрной науки”*. 2026; 2(59):49-59. DOI 10.51215/2411-6483-2026-59-49-59.

ALGORITHM OF MULTILEVEL MULTISTAGE OPTIMIZATION OF PRODUCTION, PROCESSING AND SALES OF CROP PRODUCTS

Leonid S. Ananев

Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky
Molodezhny, Molodezhnoye rural settlement, Irkutsk municipal district, Irkutsk region, Russia

Abstract. This article proposes an algorithm for a multilevel, multistage optimization of the production, processing, and sales of plant products. The multilevel model characterizes the various operating conditions of a commodity producer, while the multi-stage approach characterizes the sequential implementation of interconnected models of production, processing, and sales. The first stage involves collecting and analyzing the enterprise's production and economic characteristics, which are used to construct probabilistic and deterministic forecasts. Five operating conditions of an agricultural producer are considered: unfavorable, favorable, and average conditions, as well as the manifestation of extreme adverse and favorable events. A multilevel parametric model for optimizing production is constructed, obtaining optimal solutions for various extreme event conditions. The second stage is the processing of plant products, which is associated with the obtained production volumes. Here, based on the processing characteristics, a multilevel processing optimization model is constructed, reflecting the enterprise's activities under average, unfavorable, and favorable conditions, taking into account extreme events. The third stage of the algorithm characterizes the product sales process. The volumes of produced and processed products are used as input data. After constructing a multilevel transportation problem, optimal solutions are determined for different conditions and taking into account events. The proposed algorithm utilizes the results of the previous stage for the next step. Testing was performed using data from the Belorechenskoye Agricultural Joint-Stock Company. The proposed algorithm allows for assessing the variability of an enterprise's production and economic characteristics at different stages and obtaining optimal solutions for planning enterprise operations under different conditions to improve decision-making efficiency.

Key words: multi-level multi-stage optimization, algorithm, production, processing, sales, crop products.

For citation: Ananев L.S. Algorithm of multilevel multistage optimization of production, processing and sales of crop products. *Electronic scientific-Practical journal “Actual issues of agrarian science”*. 2026; 2(59):49-59. DOI 10.51215/2411-6483-2026-59-49-59.

Введение. Современные сельскохозяйственные предприятия, занимающиеся получением растениеводческой продукции, функционируют в условиях постоянных изменений природно-климатических и производственно-экономических факторов. Предприятия, можно разделить на группы по процессам получения продукции [1]. Для предприятий, осуществляющих полный цикл получения растениеводческой продукции от производства сырья до реализации, влияние внешних факторов, в наибольшей степени на производство растениеводческой продукции, сказывается на переработке и реализации.

Планирование деятельности таких предприятий связано с необходимостью одновременного учета ресурсных ограничений, технологических нормативов переработки, пропускной способности каналов сбыта и возможных колебаний спроса. Принятие решений по каждому этапу без учета их взаимосвязи может приводить к снижению эффективности функционирования предприятия. Помимо этого, на деятельность таких предприятий оказывают сильное влияние внешние факторы, во многом определяющие объем получаемой продукции и последующую прибыль предприятия. Изменчивость климатических условий, неравномерность осадков [9, 12, 13], экстремальные природные явления (наводнения, засухи, ливни и др.) [6, 8], напрямую влияют на изменения урожайности сельскохозяйственных культур, что сказывается на объемах производства, загрузке перерабатывающих мощностей и характеристиках реализации продукции. Поэтому возникает необходимость формирования альтернативных планов, соответствующих различным условиям деятельности. Реальным инструментом при планировании деятельности сельскохозяйственных предприятий являются модели оптимизации аграрного производства в условиях неопределенности [2, 10, 14].

Для формирования обоснованных управленческих решений при изменчивости условий деятельности предприятия, осуществляющего производство, переработку и реализацию продукции, можно использовать многоуровневые многоэтапные модели оптимизации [7].

Целью работы является разработка алгоритма многоуровневой многоэтапной оптимизации объемов производства, переработки и реализации растениеводческой продукции.

Для достижения поставленной цели решались следующие **задачи**:

- 1) описание алгоритма многоуровневой многоэтапной оптимизации производства, переработки и реализации продукции;
- 2) апробация предложенного алгоритма на материалах сельскохозяйственного предприятия, осуществляющего полный цикл получения и реализации продукции.

Материалы и методы. В ходе выполнения работы использованы данные Иркутскстата для оценки производства растениеводческой продукции Усольского района за многолетний период.

В качестве реальных данных предприятия использованы отчеты о производственно-экономической деятельности сельскохозяйственного предприятия СХАО "Белореченское" Иркутской области. Привлечены отчетные сведения о посевных площадях, урожайности сельскохозяйственных культур, затратах ресурсов, объемах переработки и реализации продукции.

При моделировании производства и переработки продукции использована задача многоуровневого параметрического программирования [3]. При моделировании реализации продукции использована транспортная задача.

Основные результаты. Разработанный алгоритм многоуровневой многоэтапной оптимизации процессов производства, переработки и реализации растениеводческой продукции представлен в виде блок-схемы на рисунке. Алгоритм оптимизации выполняется поэтапно, от производства продукции, до реализации товаров на рынке. На этапе оптимизации производства продукции необходимо выполнить сбор и анализ многолетних данных производственно-экономических характеристик, оказывающих значительное влияние на объемы продукции. К таким характеристикам относятся посевные площади, затраты и оплата труда, количество вносимых удобрений и пестицидов, а также стоимость реализации произведенной продукции. Немаловажно учитывать урожайность сельскохозяйственных культур, на которую в большей степени влияют природно-климатические факторы [4, 5, 11]. Анализ изменчивости перечисленных характеристик позволяет получить вероятностную оценку благоприятных и неблагоприятных событий, на основе которой определяются условия деятельности предприятия. Благодаря использованию в данном алгоритме многоуровневых моделей оптимизации приведенных в работе [3] обеспечивается учет пяти уровней условий деятельности предприятий в процессе получения продукции: усредненного, неблагоприятного, благоприятного, а также экстремально неблагоприятных и экстремально благоприятных событий.

Для каждого уровня условий выполняется построение модели оптимизации, подготавливаются исходные данные, отражающие значения производственно-экономических характеристик, после чего осуществляется решение задачи линейного программирования при ограничениях по земельным, трудовым и материальным ресурсам при достижении максимальной прибыли. Полученные решения представляют собой оптимальные структуры посевных площадей и объемы произведенной продукции, соответствующие различным условиям работы предприятия.

На следующем шаге, выполняется оптимизация процесса переработки продукции. Объемы сырья, полученные на предыдущем этапе для каждого уровня условий, используются в качестве исходных ограничений в модели переработки. Таким образом, обеспечивается зависимость объемов переработки от результатов производства, так как изменение урожайности, заданное соответствующим уровнем условий, отражается на загрузке перерабатывающих мощностей и структуре выпуска продукции переработки.

Для каждого уровня условий решается задача линейного программирования, определяющая рациональное распределение сырья по направлениям переработки с учетом технологических норм и ограничений по мощностям предприятия, что обеспечивает согласованность решений этапа переработки с результатами этапа производства продукции. Результатом этапа является оптимальная структура выпуска переработанной продукции и определение произведенных объемов сырья, не направленных на переработку.

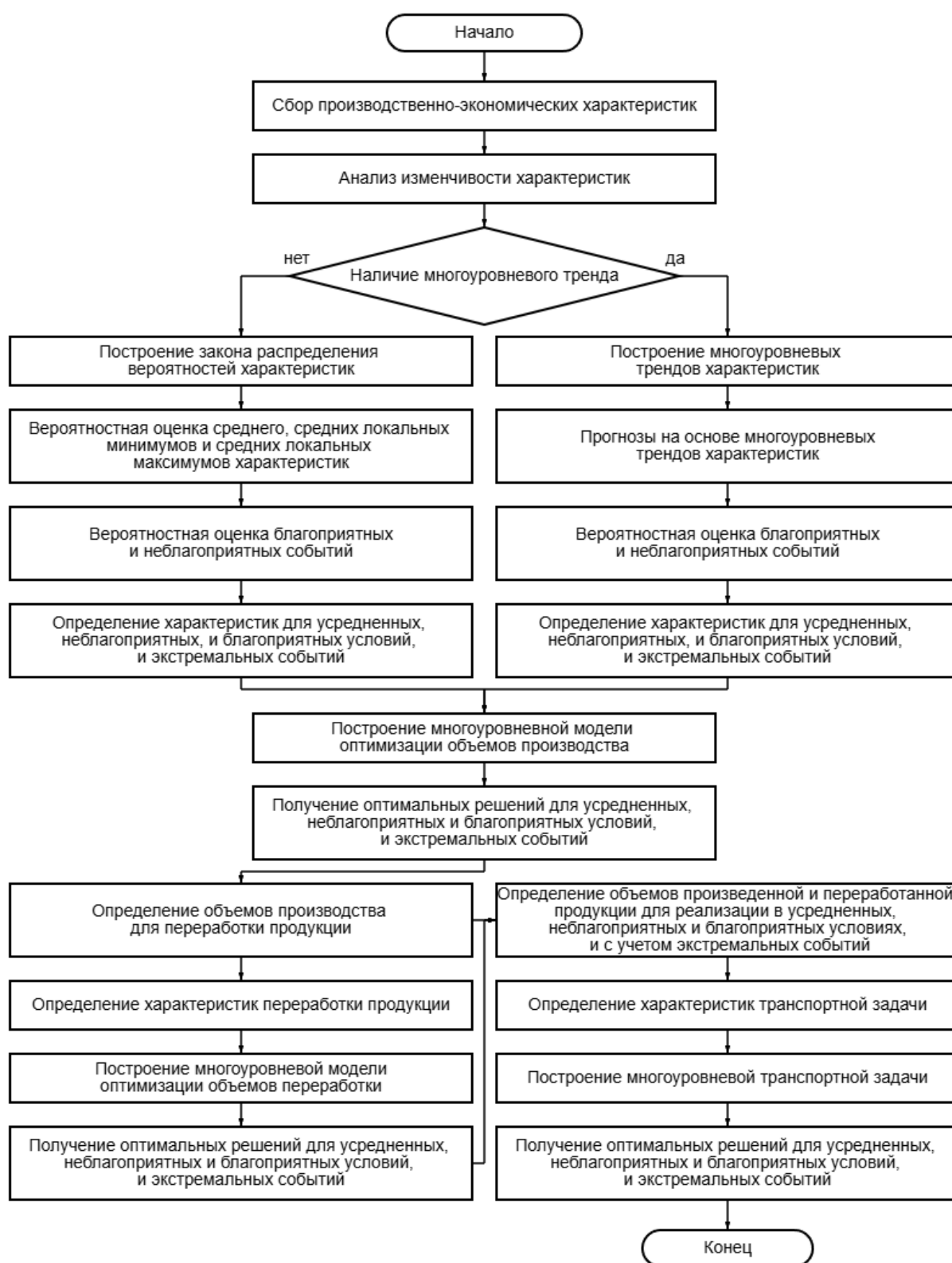


Рисунок – Алгоритм многоуровневой многоэтапной оптимизации производства, переработки и реализации растениеводческой продукции

Figure – Algorithm for multilevel multistage optimization of production, processing and sales of plant products

Заключительный этап алгоритма связан с оптимизацией процесса реализации продукции. Для каждого уровня условий объемы продукции производства, не направленные на переработку, а также объемы продукции переработки используются как исходные данные транспортной задачи. Выполняется анализ данных о потребителях, пунктах отправки товаров, и стоимости доставки товаров. Решается задача минимизации затрат на доставку продукции по каналам сбыта. Полученные решения фиксируют распределение товарных потоков между потребителями и величину транспортных затрат.

Таким образом, алгоритм представляет собой последовательную процедуру решения взаимосвязанных оптимизационных задач для каждого уровня условий деятельности предприятия с передачей результатов предыдущего этапа на последующий.

Практическая апробация предложенного алгоритма выполнена на материалах СХАО “Белореченское”, осуществляющего производство, переработку и реализацию растениеводческой продукции. Расчёты проведены для различных уровней условий деятельности предприятия. В качестве моделей оптимизации производства, переработки, и реализации, использованы многоэтапные многоуровневые модели, описанные в работе авторов Иванько Я.М. и Ананьева Л.С. “Многоуровневая многоэтапная модель производства, переработки и реализации растениеводческой продукции”, принятой к изданию.

Результаты оптимизации реализации продукции производства по описанному алгоритму представлены в таблице 1. Полученные результаты отражают устойчивую зависимость объемов поставок и транспортных затрат от уровня условий. Увеличение объема реализации при переходе от неблагоприятных к благоприятным условиям сопровождается ростом логистических затрат, однако их удельная величина по отношению к выручке сохраняется на экономически приемлемом уровне. Аналогичная зависимость прослеживается при анализе результатов реализации продукции переработки (табл. 2).

По сравнению с продукцией производства, изменение объемов реализации переработанной продукции выражено в меньшей степени, что обусловлено ограничениями по мощности перерабатывающих мощностей предприятия.

Полученные результаты подтверждают наличие тесной взаимосвязи между этапами алгоритма. Изменение производственно-экономических характеристик производства приводит к изменению объемов переработки, что, в свою очередь, влияет на структуру товарных потоков и величину транспортных затрат. При благоприятных условиях предприятие получает возможность увеличить объемы реализации, как продукции производства, так и продукции переработки. При неблагоприятных условиях снижается

загрузка перерабатывающих мощностей и сокращается объем поставок на рынок.

Таблица 1 – Оптимальное решение задачи реализации продукции производства для СХАО "Белореченское"

Table 1 – Optimal solution to the problem of selling production products for Agricultural JSC "Belorechenskoye"

Уровень	Объем реализации, т	г. Иркутск, т	г. Ангарск, т	г. Усолье-Сибирское, т	г. Черемхово, т	г. Братск, т	г. Зима, т	г. Саянск, т	Затраты, млн руб.
Неблагоприятное событие	21904	10558	3943	1314	876	3986	526	701	9.77
Неблагоприятные условия	29449	14195	5301	1767	1178	5372	707	929	11.454
Усредненные условия	34172	16470	6153	2051	1367	6234	820	1077	13.296
Благоприятные условия	36917	17793	6647	2216	1477	6735	886	1163	14.368
Благоприятное событие	37367	18011	6726	2242	1495	6801	897	1196	16.59

Таблица 2 – Оптимальное решение задачи реализации продукции переработки для СХАО "Белореченское"

Table 2 – Optimal solution to the problem of selling processed products for the Agricultural JSC "Belorechenskoye"

Уровень	Объем реализации, т	г. Иркутск, т	г. Ангарск, т	г. Усолье-Сибирское, т	г. Черемхово, т	г. Братск, т	г. Зима, т	г. Саянск, т	Затраты, млн руб.
Неблагоприятное событие	10945	5275	1970	657	438	1992	263	350	4.84
Неблагоприятные условия	25395	12239	4571	1524	1016	4622	609	813	11.182
Усредненные условия	26075	12567	4694	1565	1043	4745	626	835	11.482
Благоприятные условия	26834	12934	4830	1610	1073	4883	644	859	11.814
Благоприятное событие	27258	13138	4906	1635	1 090	4961	654	872	12.26

Таким образом, применение многоуровневого многоэтапного алгоритма позволяет определить диапазон изменения ключевых производственно-экономических показателей предприятия и оценить устойчивость его функционирования при различных условиях хозяйствования. Полученная совокупность альтернативных решений может использоваться руководством предприятия при выборе стратегии деятельности на планируемый период.

Заключение. Разработан алгоритм многоуровневой многоэтапной оптимизации процессов производства, переработки и реализации растениеводческой продукции. Предложенный алгоритм оптимизации позволяет учитывать усредненные, неблагоприятные и благоприятные условия, а также влияние экстремальных событий на процесс получения продукции. Благодаря связи объемов производства, переработки и реализации продукции за счет их использования как ресурсной базы, достигается поэтапное выполнение алгоритма оптимизации получения продукции растениеводства.

Алгоритм апробирован на материалах СХАО “Белореченское”. Апробация показала, что изменение условий деятельности оказывает существенное влияние на объемы производства и реализацию продукции, а также на уровень загрузки перерабатывающих мощностей и величину логистических затрат.

Применение разработанного алгоритма позволяет получать оптимальные планы для производства, переработки и реализации продукции с учетом различных условий деятельности сельскохозяйственных товаропроизводителей, что позволяет принимать необходимые управленческие решения для получения максимальной прибыли.

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, Иркутск, 20–21 марта 2025 года. – Молодежный: Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2025. – С. 228-235.
2. Анохина, М.Е. Параметрическое управление развитием сельского хозяйства на основе когнитивного моделирования / М.Е. Анохина // Проблемы управления. – 2023. – № 3. – С. 20-39.
3. Ахтямов, Р.Г. Повышение устойчивости на основе выбора стратегии восстановления транспортных сетей при реализации опасных природных процессов / Р.Г. Ахтямов // Инновационные транспортные системы и технологии. – 2024. – Т. 10, № 3. – С. 287-299.
4. 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.

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. 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. Иваньо, Я.М. Многоэтапная оптимизация производства и переработки аграрной продукции в экстремальных условиях деятельности товаропроизводителя / Я.М. Иваньо, Л.С. Ананьев // Актуальные вопросы аграрной науки. – 2026. – № 58. – С. 64-76. – DOI 10.51215/2411-6483-2026-58-64-76. – EDN YJUQBD.

8. 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.

9. 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.

10. Некрасов, С.И. Оптимизация перевозки сельскохозяйственной продукции с применением технологий имитационного моделирования / С.И. Некрасов, А.В. Шитикова, А.С. Апатенко // Агроинженерия. – 2024. – Т. 26, № 6. – С. 36-43.

11. 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.

12. Шарко, Е.Р. Влияния изменений климата на сельское хозяйство в регионах Российской Федерации / Е.Р. Шарко // Теоретическая и прикладная экономика. – 2022. – № 1. – С. 11-24.

13. 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.

14. Karbassi Yazdi A. A Multi-Objective Systems Engineering Framework for Agricultural Logistics Under Operational and Social Complexity // Mathematics. 2026, vol. 14, no. 4, p. 601, DOI: 10.3390/math14040601.

References

1. Anan'ev, L.S., Ivanyo, Ya.M. Ob odnoj modeli optimizacii proizvodstva, pererabotki i realizacii produkci [On one model for optimizing production, processing, and sales of products]. Molodezhny, 2025, pp. 228-235.

2. Anoxina, M.E. Parametricheskoe upravlenie razvitiem sel'skogo xozyajstva na osnove kognitivnogo modelirovaniya [Parametric control of agricultural development based on cognitive modeling]. Problemy` upravleniya, 2023, no. 3, pp. 20-39.

3. Axtyamov, R.G. Povy'shenie ustojchivosti na osnove vy`bora strategii vosstanovleniya transportny`x setej pri realizacii opasny`x prirodny`x processov [Increasing Resilience Based on the Selection of a Strategy for Restoring Transport Networks During Hazardous Natural Processes]. Innovacionny`e transportny`e sistemy` i tehnologii, 2024, vol. 10, no. 3, pp. 287-299.

4. Gerasimov, A.N. et all. Modelirovanie proizvodstva produkci sel'skogo khozyajstva v regionax Rossijskoj Federacii [Modeling of Agricultural Production in the Regions of the Russian Federation]. E'konomika sel'skogo khozyajstva Rossii, 2022, no. 7, pp. 66-71.

5. Demichev, V.V., Filatov, I.I. Tipizaciya regionov Rossii i prognozirovanie urozhajnosti zernovy'x s uchetom posledstvij global'nogo potepleniya [Typification of Russian Regions and Forecasting Grain Yields Taking into Account the Consequences of Global Warming]. E'konomika, trud, upravlenie v sel'skom khozyajstve, 2022, no. 7 (89), pp. 82-86.

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

7. Ivan'o, Ya.M., Anan'ev, L.S. Mnogoe'tapnaya optimizaciya proizvodstva i pererabotki agrarnoj produkci v e'kstremal'ny'x usloviyax deyatel'nosti tovaroproizvoditelya [Multi-stage optimization of production and processing of agricultural products in extreme conditions of the producer's activity]. Aktual'ny'e voprosy` agrarnoj nauki, 2026, no. 58, pp. 64-76.

8. Kulikova, O.V., Sorokina Yu.V. Chrezvy'chajny'e situacii prirodnogo xaraktera: klimaticheskie i agro'e'kologicheskie ugrozy` dlya prodovol'svennoj bezopasnosti Rossijskoj Federacii [Natural Emergencies: Climatic and Agroecological Threats to Food Security of the Russian Federation]. Vestnik Saratovskoj gosudarstvennoj yuridicheskoy akademii, 2025, no. 2 (163), pp. 248-255.

9. Mitrofanov, S.V. et all. Vliyanie izmeneniya klimata na sel'skoe khozyajstvo: e'konomicheskaya ocenka riskov i adaptacionny'x mer [The Impact of Climate Change on Agriculture: Economic Assessment of Risks and Adaptation Measures]. E'konomika i upravlenie: problemy`, resheniya, 2025, vol. 8, no. 2 (155), pp. 147-155.

10. Nekrasov, S.I. et all. Optimizaciya perevozki sel'skoxozyajstvennoj produkci s primeneniem tekhnologij imitacionnogo modelirovaniya [Optimization of transportation of agricultural products using simulation modeling technologies]. Agroinzheneriya, 2024, vol. 26, no. 6, pp. 36-43.

11. Siptits, S.O. et all. Obosnovanie organizacionno-e'konomicheskogo mexanizma adaptacii sel'skogo khozyajstva k dolgosrochny'm 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.

12. Sharko, E.R. Vliyaniya izmenenij klimata na sel'skoe khozyajstvo v regionax Rossijskoj Federacii [The impact of climate change on agriculture in the regions of the Russian Federation]. Teoreticheskaya i prikladnaya e'konomika, 2022, no. 1, pp. 11-24.

13. Shcherbakova, A.S. Agroklimaticheskie rajony` i urozhajnost` sel'skoxozyajstvenny'x kul'tur v izmenyayushhixsya usloviyax 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. 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: 16.06.2026

Поступила после рецензирования и доработки / Received: 25.06.2026

Дата принятия к печати / Accepted: 2.07.2026

Сведения об авторе

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 the author:

Leonid S. Ananev – 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 10.51215/2411-6483-2026-59-60-74

УДК 004.89:(631/635+630*8+632)

Научная статья

БАЗА ЗНАНИЙ “АГРОКУЛЬТУРЫ, ДИКОРОСЫ И БЕЗОПАСНОСТЬ РАСТЕНИЙ”

Я.М. Иваньо, Д.Ф. Купченко

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

Аннотация. В работе описана разработанная база знаний в среде Obsidian, информационное обеспечение которой включает в себя сельскохозяйственные культуры, разделенные на группы, виды и сорта с описанием болезней и вредителей растений, а также распространенных видов сорняков. Сюда же входят агротехнологии, характеризующие агротехнические методы и способы защиты от болезней, сорняков и вредителей. Значительное внимание уделено пищевым дикорастущим ресурсам – ягодам, грибам, орехам и лекарственным растениям. Такое сочетание информации о дикоросах и сельскохозяйственных культурах имеет научно-практическое значение для территорий России с развитым аграрным производством и богатыми запасами пищевых дикорастущих ресурсов леса. К таким территориям относится Иркутская область. Вся собранная информация с разных источников размещена в 201 карточке. Поиск информации в разработанной базе знаний можно осуществлять с помощью обычного поиска и с использованием нейронной сети (модель Qwen2.5:7b). Удобный интерфейс и простота работы с базой знаний открывают широкие возможности для пользователей. С одной стороны, ею могут пользоваться агрономы и заготовители дикоросов, а с другой, база знаний полезна для осуществления образовательной и познавательной функций. Для работы с базой знаний необходим персональный компьютер с операционной системой Windows 10/11, оперативной памятью 8-16 ГБ и наличием приложения Obsidian и инструмента Ollama для работы с нейросетями. Приведенное программное обеспечение за исключением Windows 10/11 является бесплатным. Однако приложение Obsidian и инструмент Ollama могут работать на операционной системе Linux.

Ключевые слова: база знаний, сельское хозяйство, дикоросы, приложение Obsidian, нейросеть.

Для цитирования: Иваньо Я.М., Купченко Д.Ф. База знаний “Агрокультуры, дикоросы и безопасность растений”. *Электронный научно-практический журнал “Актуальные вопросы аграрной науки”*. 2026; 2(59):60-74. DOI 10.51215/2411-6483-2026-59-60-74.

KNOWLEDGE BASE “AGROCROPS, WILD PLANTS, AND PLANT SAFETY”

Yaroslav M. Ivanyo, Dmitrii F. Kupchenko

Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky
Molodezhny, Molodezhnoye rural settlement, Irkutsk municipal district, Irkutsk region, Russia

Abstract. This article describes a knowledge base developed in the Obsidian environment. Its information includes agricultural crops divided into groups, species, and varieties, with descriptions of plant diseases and pests, as well as common weed species. It also includes agricultural technologies describing agricultural practices and methods of protection against diseases, weeds, and pests. Considerable attention is given to wild food resources – berries, mushrooms, nuts, and medicinal plants. This combination of information on wild plants and agricultural crops has scientific and practical significance for regions of Russia with developed agricultural production and rich reserves of wild food forest resources. The Irkutsk Region is one such region. All collected information from various sources is presented in 201 cards. Information in the developed knowledge base can be searched using a standard search and a neural network (Qwen2.5:7b model). The user-friendly interface and ease of use of the knowledge base offer a wide range of opportunities for users. On the one hand, it can be used by agronomists and wild plant harvesters, and on the other, the knowledge base is useful for educational and cognitive purposes. To use the knowledge base, you need a personal computer with Windows 10/11, 8-16 GB of RAM, and the Obsidian application and Ollama tool for working with neural networks. All of the software, with the exception of Windows 10/11, is free. However, Obsidian and Ollama can run on Linux.

Keywords: knowledge base, agriculture, wild plants, Obsidian app, neural network.

For citation: Ivanyo Ya.M., Kupchenko D.F. Knowledge base “Agrocrops, wild plants, and plant safety”. *Electronic scientific-practical journal “Actual issues of agrarian science”*. 2026; 2(59):60-74. DOI 10.51215/2411-6483-2026-59-60-74.

Введение. Разработка баз знаний для разных направлений сельскохозяйственной деятельности актуальна для решения задач производства сельскохозяйственной продукции, борьбы с вредителями, болезнями и сорными растениями, использования эффективных технологий. Поскольку помимо сельскохозяйственной продукции значительную часть пищевых ресурсов можно получать благодаря богатству лесов, то дополнительно база знаний может быть полезна при оценке дикоросов и их заготовке. База знаний, интегрирующая данные о сортовом составе культур, почвенно-климатических условиях, дикорастущих ресурсах, болезнях и вредителях растений, является одним из востребованных инструментов поддержки принятия решений в сельском хозяйстве для разных регионов России, в том числе Иркутской области.

База знаний имеет немаловажное значение для образования школьников и студентов, расширения их кругозора и большего понимания природы, среды обитания, многолетних традиций для реализации своей причастности к качеству жизни и развитию своей малой родины.

Целью работы является разработка базы знаний, включающей

систематизацию данных о видах и сортах сельскохозяйственных культур, агротехнологиях, болезнях, вредителях растений, сорняках и дикоросах с использованием нейросети для получения разных видов запросов на примере данных иркутской области.

Для достижения цели решались следующие задачи:

- систематизировать данные по производству сельскохозяйственной продукции и заготовке дикорастущих пищевых ресурсов;
- разработать базу знаний на основе выбора инструментария для её создания с использованием нейросети для эффективного поиска информации.

Материалы и методы. В России уделяется большое внимание цифровой трансформации агропромышленного комплекса для перехода на новый уровень развития [3, 32]. Внедряются технологии информационного мониторинга земельных участков [4], системы интеллектуального менеджмента [28], разрабатываются цифровые платформы [16, 33], применяются географические информационные системы [5] и программные комплексы моделирования разных аспектов деятельности сельскохозяйственных предприятий с разработкой моделей и алгоритмов [10, 12, 14, 23 и др.]. На основе перечисленных направлений создаются дорожные карты цифровой трансформации на разных ступенях агрегирования [11]. Свою нишу в цифровой трансформации занимают базы знаний [25, 36].

В отечественной научной литературе выделяются несколько типов моделей представления знаний, применимых в агропромышленной сфере [22]: продукционные и онтологические. Примеры готовых баз знаний в агропромышленном комплексе:

- платформа “Direct.Farm” (Россия) – наиболее полное отраслевое решение, объединяющее базу знаний (статьи, руководства), каталоги средств защиты растений (СЗР), сортов и гибридов, удобрений, техники, а также каталог вредных объектов, система доступна через веб-интерфейс и мобильное приложение, насчитывает более 200 тыс. пользователей [34];
- геоаналитический центр управления АПК Республики Мордовия – государственная геоинформационная система, позволяющая осуществлять мониторинг, анализ и контроль использования сельскохозяйственных земель на основе данных дистанционного зондирования Земли и отчётности хозяйств; в основе системы лежит единое геоинформационное пространство, объединяющее кадастровые данные, сведения о полях, нарастании биомассы, засорённости сорняками и другие слои;
- “цифровая память поля” (онтологическая модель СФНЦА РАН) – научная разработка Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий РАН; модель включает трехуровневую онтологию: ресурсы хозяйства (техника, сорта, удобрения), процессы (севообороты, агротехнологические карты) и результаты (урожайность, мониторинг). Практическая значимость

выражается в возможности принятия решений на уровне хозяйства с анализом истории поля и формированием рекомендаций по ресурсам и срокам операций [18].

При разработке базы знаний использовались особенности производства сельскохозяйственной продукции в Иркутской области [6, 17, 20] и заготовки пищевых дикорастущих ресурсов [2, 26]. Отметим также разработки программных комплексов, в которых использовались базы знаний [13, 19].

Основные результаты. В данной работе реализован онтологический подход в виде концептуально-графовой модели [7, 35]. В ней выделяют три уровня:

- понятия (классы) – типы объектов, о которых хранится информация: культура, сорт, вредитель, болезнь, дикорастущий ресурс, сорняк, мера защиты, район, агротехнология;
- свойства (атрибуты) – характеристики каждого объекта: урожайность, вегетационный период, экономический порог вредоносности (ЭПВ), эксплуатационный запас дикоросов, сроки заготовки и др;
- связи (отношения) – логические связи между объектами: сорт принадлежит культуре; вредитель или болезнь поражает культуру; объект привязан к району; для борьбы с угрозой рекомендуется конкретная мера защиты.

Такая структура обеспечивает единство терминологии, согласованность разнородных данных (числа, тексты, классификации) и возможность их совместного использования при поиске и анализе [35].

Процесс построения модели, включал несколько последовательных этапов.

Первый этап – определение границ базы знаний. Тематика ограничена растениеводческой отраслью и пищевыми дикорастущими ресурсами Иркутской области и представлена следующими разделами:

- сельскохозяйственные культуры и районированные сорта;
- пищевые дикорастущие растения (ягоды, грибы, кедровый орех, папоротник, черемша, лекарственные травы);
- болезни и вредители растений;
- сорную растительность;
- способы защиты растений (агротехнические и химические);
- районы Иркутской области (чтобы привязывать данные к конкретным местам).

Исходным массивом фактов послужили систематизированные данные:

- сложившаяся структура посевных площадей, ориентированная на производство зерна [9, 29], маслосемян [9, 21, 27], картофеля [9, 29], овощей открытого грунта и кормов для животноводства [9];
- пищевые дикорастущие ресурсы, включающие в себя ягодники [26], грибы [26], кедровый орех [24, 26], папоротник-орляк, черемша и

лекарственно-техническое сырье [26];

– болезни, вредители растений и сорняки [15, 30, 31, 34], а также технологии защиты [1, 8].

На втором этапе выделена иерархия классов. Идентифицированы базовые и производные сущности. Первичные категории (верхний уровень иерархии) включают: "Сельскохозяйственная культура", "Дикорастущий ресурс", "Вредитель", "Болезнь", "Сорное растение", "Район", "Агротехнология". Каждый из этих классов детализируется на подклассы:

- "Сельскохозяйственная культура" → зерновые, кормовые, овощные, технические → конкретные виды (пшеница, ячмень, овёс, рапс, соя, картофель и т.д.) → отдельные сорта;
- "Дикорастущий ресурс" → ягодники, грибы, орехи, пищевые дикоросы, лекарственные растения → отдельные виды;
- "Вредитель" → саранчовые, насекомые-фитофаги, вредители хранилищ, грызуны → отдельные виды;
- "Болезнь" → грибные, бактериальные → отдельные виды;
- "Сорное растение" → однодольные, двудольные → отдельные виды;
- "Район" → муниципальные районы Иркутской области;
- "Агротехнология" → мера защиты.

На третьем этапе на основе собранных материалов созданы экземпляры каждого класса:

- основные виды сельскохозяйственных культур (сорта пшеницы: "Ирень", "Даганская", "Тулунские зори"; сорта ячменя: "Ача", "Абалак", "Биом"; сорта овса: "Ровесник", "Егорыч", "Тулунский 19" и др.);
- дикорастущие растения: брусника, голубика, клюква, черника, белый гриб, маслята, опёнок, иван-чай, папоротник, черемша;
- вредители: саранчовые (17 видов для Иркутской области), насекомые-фитофаги, вредители хранилищ, грызуны (в карточках указаны экономические пороги вредоносности (ЭПВ), характер повреждений и связь с культурами, которым вредитель опасен);
- болезни: грибные и бактериальные заболевания (корневые гнили, ржавчина, септориоз, фитофтороз, альтернариоз, фомоз, бактериозы картофеля и др.) с привязкой к культурам и, при необходимости, к районам;
- сорные растения: однодольные и двудольные виды: жизненная форма, конкуренция с посевами, связь с культурами и мерами борьбы;
- меры защиты и агротехнология: агротехнические приёмы (зяблевая вспашка) и химические меры (инсектициды, фунгициды и др.), рекомендуемые при превышении ЭПВ или для профилактики связи с вредителями, болезнями и культурами;
- районы Иркутской области: муниципальные районы (Заларинский, Иркутский, Тулунский и др.) и предприятия как пространственная привязка агротехнологической и фитосанитарной информации.

Концептуально графовая модель реализована в базовой программной

среде Obsidian, которая отличается полной доступностью, невысокой сложностью освоения интерфейса, навыками работы с языком разметки Markdown и форматом сериализации данных YAML).

Хранилище приложения Obsidian (vault) представляет собой обычную папку на локальном диске, внутри которой все данные сохраняются в виде текстовых файлов с расширением .md (формат Markdown). Каждый объект (культура, сорт, вредитель, болезнь, дикорастущее растение, агротехнология, район) представлен отдельным файлом-заметкой. Такое решение обеспечивает полный контроль над информацией, её портативность, возможность резервного копирования и интеграции.

На рисунке 1 показана стартовая страница разработанной базы знаний.

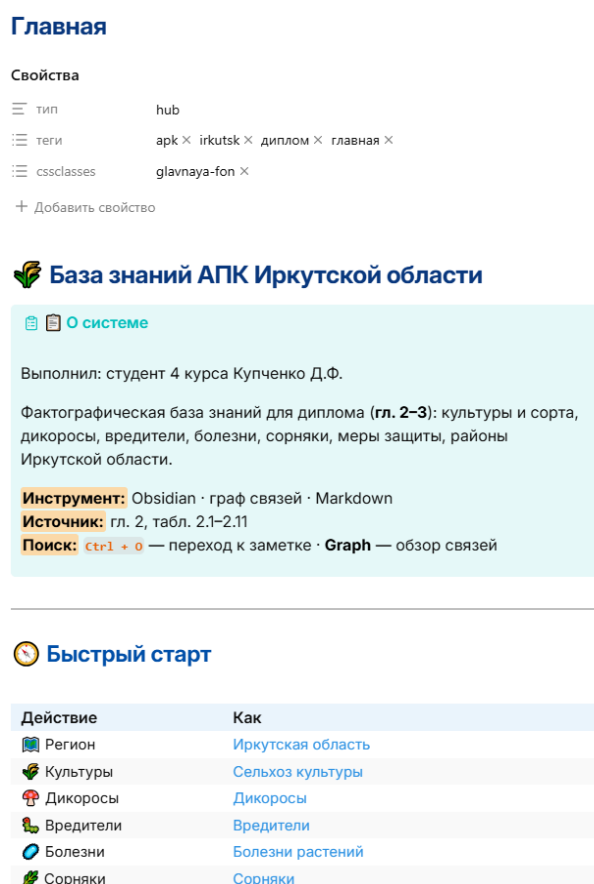


Рисунок 1 – Стартовая страница базы знаний

Figure 1 – Knowledge base start page

В верхней части размещены блоки с кратким назначением системы, указанием инструмента (Obsidian), источника данных и способов поиска (Ctrl+O, граф связей). Таблица “Быстрый старт” содержит прямые ссылки на ключевые папки: “Иркутская область”, “Сельхозкультуры”, “Дикоросы”, “Вредители”, “Болезни растений”, “Сорняки”, “Агротехнология”, “Районы Иркутской области”.

На рисунке 2 показан режим Graph view базы знаний в Obsidian: узлы – заметки (культуры, вредители, сорняки, меры и др.), линии – связи между

ними.

Крупные узлы – разделы с наибольшим числом ссылок; мелкие – отдельные объекты (сорта, виды). Граф отражает семантическую модель базы: кластеры по темам (культуры, фитосанитария, дикоросы) и межразделные связи (например, культура – вредитель/сорняк – мера борьбы). Режим используется для обзора структуры vault и наглядной демонстрации связей предметной области.

Для примера на рисунке 3 открыт раздел “Сорняки” – “Двудольные” – “Однолетние двудольные”. В карточке “Щирица обыкновенная” зафиксированы жизненный цикл, семейство, регион и источник. Иллюстрация и краткая характеристика вида и его вредоносность для посевов. Далее – биологические признаки, культуры-конкуренты и меры борьбы со ссылками на “Агротехнологию”.

Таим образом, создан прототип навигация по карточкам культур, дикоросов, вредителей, болезней, сорняков и агротехнологий, графовый анализ, а также обычный и интеллектуальный поиск. Кроме того, благодаря наличию данных о многолетней урожайности сельскохозяйственных культур разработана функция статистической обработки данных. Прототип обеспечивает доступ к сведениям и первичную поддержку решений с помощью искусственного интеллекта (инструмент Ollama для работы с нейросеью) и обычного поиск.

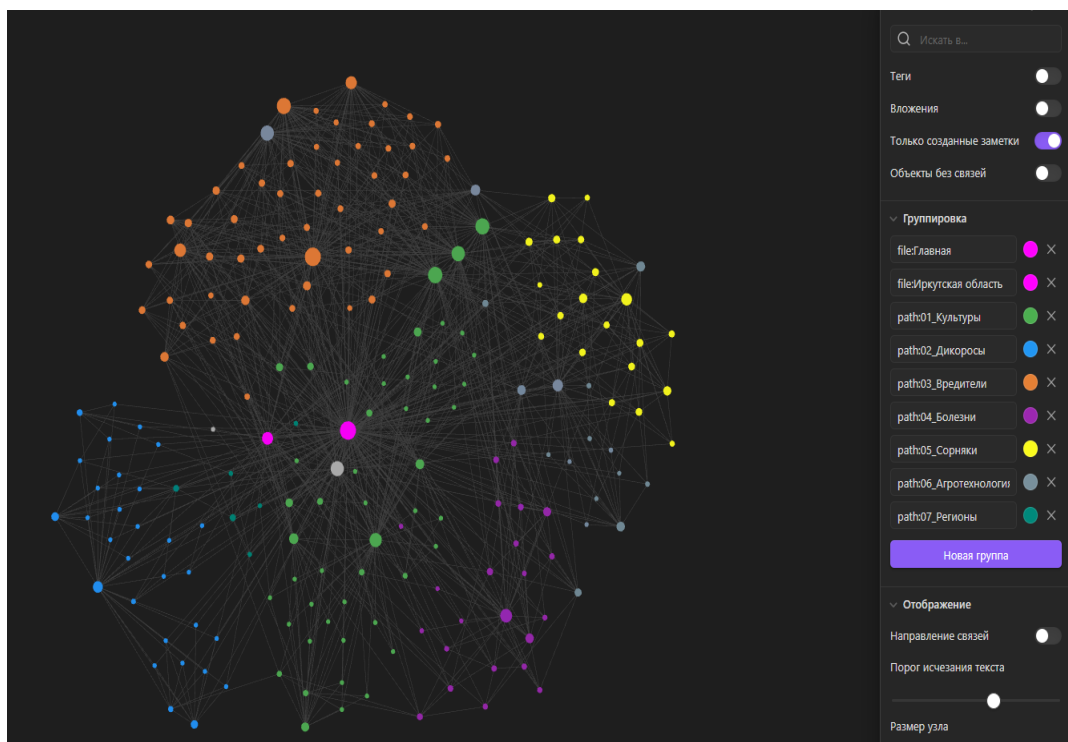


Рисунок 2 – Графовая модель в разработанной базе знаний

Figure 2 – Graph model in the developed knowledge base

- 01_Культуры
- 02_Дикоросы
- 03_Вредители
- 04_Болезни
- 05_Сорняки
 - Двудольные
 - Многолетние...
 - Однолетние ...
 - Щирица об...
 - Ромашка п...
 - Однолетни...
 - Гречишка в...
 - Амарант об...
 - Аистник об...
 - Двудольные
 - Однодольные
 - Сорняки
- 06_Агротехнология
- 07_Регионы
- README
- Схема структуры Б...
- Иркутская область
- Главная

Щирица обыкновенная



↑ Однолетние двудольные · Двудольные · Сорняки · Агротехнология · Иркутская область

О виде

Щирица обыкновенная (*Chenopodium album* L.) — однолетний широколистный сорняк семейства **амарантовых**, входящий в комплекс засорённости посевов **Иркутской области** (табл. 2.11). Наряду с **гречишкой**, **аистником** и **амарантом** относится к **однолетним двудольным** сорнякам, типичным для зернового и пропашного клина.

Синоним в литературе: марь белая.

Опасность: быстрый рост и высокая конкуренция с культурой за свет, воду и питание.

Источник: табл. 2.11; обобщение по фитосанитарному мониторингу посевов Иркутской Области (127 видов сорняков в посевах **пшеницы**, 28 семейств).

Рисунок 3 – Информация о сорняке “Щирица обыкновенная”

Figure 3 – Information about the weed “Common Amaranthus”

На рисунке 4 показан сценарий поиска мер по защите растений на примере болезни картофеля. Пользователь задаёт запрос, связанный с фитофторозом и мерами защиты. В ответе систематизированы рекомендации: мониторинг посевов, использование устойчивых сортов, протравливание семян, регулирование агрофона, удаление поражённых растений.

Недостатками спроектированной базы знаний являются ручное обновление информации, зависимость поиска с помощью искусственного интеллекта от индекса и формулировки запроса, отсутствие связи с внешними реестрами и географическими информационными системами (ГИС), которые могут пополнять базу знаний. Перспектива улучшения проекта состоит в расширении базы знаний и правил “ЕСЛИ – ТО”, привязке ответов с помощью искусственного интеллекта к карточкам базы знаний, интеграция с ГИС.

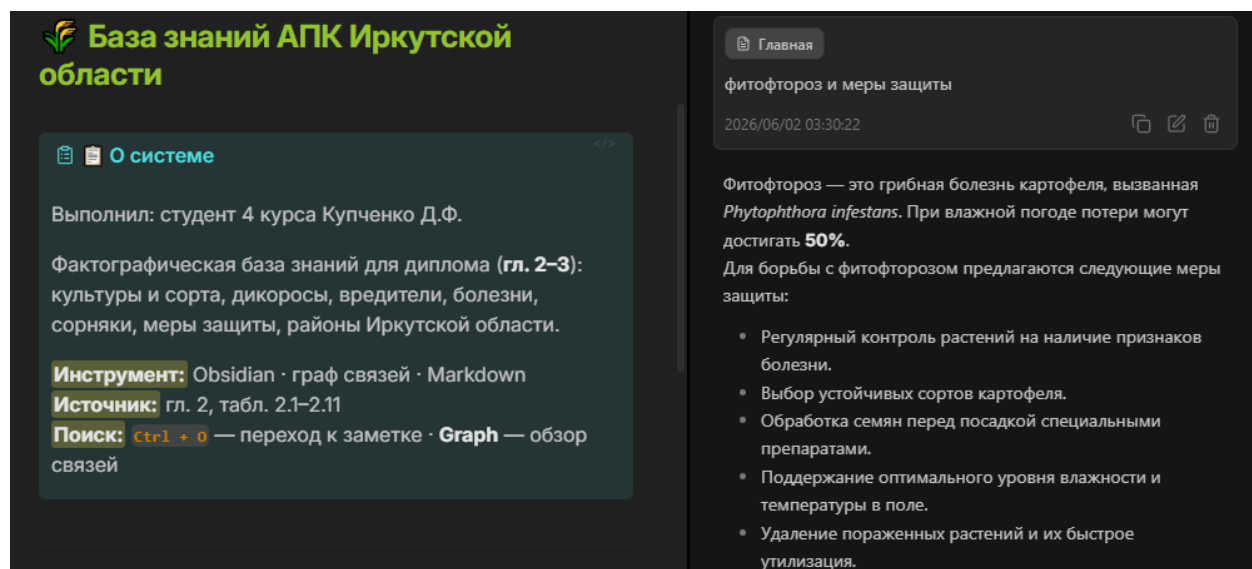


Рисунок 4 – Результат интеллектуального поиска мер защиты

Figure 4 – Result of intelligent search for security measures

Закключение. Разработанная база знаний на основе приложения Obsidian включает в себя семь иерархических групп:

- Культуры → вид → сорт;
- Дикоросы → ягодники, грибы, орехи, пищевые, лекарственные → вид;
- Вредители → саранчовые, фитофаги, по культурам, хранилища, грызуны → вид;
- Болезни → грибные, бактериальные, по культурам → заболевание;
- Сорняки → однодольные, двудольные → вид;
- Агротехнология → агротехнические и химические меры → препарат / приём;
- Регионы → муниципальные районы Иркутской области.

Разработаны функции поиска в базе знаний с использованием нейронной сети, которая является частью плагина Capilot и нейронной сети Ollama (модель нейронной сети Qwen2.5:7b) и-простого поиска (Ctrl+O, граф).

Для улучшения работы базы знаний планируется разработка программного обеспечения, позволяющая фильтровать информацию из внешних источников, и детализация информационного обеспечения.

Список литературы

1. О безопасном обращении с пестицидами и агрохимикатами: Федеральный закон от 19 июля 1997 года № 109-ФЗ: [в ред. от 15 декабря 2025 года]. – Текст: электронный // КонсультантПлюс: справ.-правовая система. – Режим доступа: локальный; по договору. – Обновляется ежедневно.
2. О внесении изменений в Закон Иркутской области “О порядке заготовки пищевых лесных ресурсов на территории Иркутской области”: закон Иркутской области

от 10 марта 2015 года № 5-ОЗ. – URL: <http://www.ogirk.ru/pravo/> (дата обращения: 12.05.2026).

3. Алтухов, А.И. Цифровая трансформация как технологический прорыв и переход на новый уровень развития агропромышленного сектора России / А.И. Алтухов, М.Н. Дудин, А.Н. Анищенко // Продовольственная политика и безопасность. – 2020. – Т. 7, № 2. – С. 81-96. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43812524> (дата обращения: 20.05.2026).

4. Ананичева, Е.П. Внедрение Land Information Model (LIM) технологий для повышения качества мониторинга земельных участков в экономике региона / Е.П. Ананичева. – Текст: электронный // Информатизация в цифровой экономике. – 2025. – Т. 6, № 2. – С. 257-270. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=82753072> (дата обращения: 15.05.2026).

5. Ахметгалиев, Т.А. Теоретические и методические основы разработки и внедрения инноваций GIS-технологий при визуализации и геопространственном моделировании базы данных объектов недвижимости / Т.А. Ахметгалиев // Жилищные стратегии. – 2022. – Т. 9, № 1. – С. 59-88. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48397388> (дата обращения: 15.05.2026).

6. Бендик, Н.В. Применение цифровых решений в управлении сельским хозяйством региона на примере Иркутской области / Н.В. Бендик, Т.В. Мелихова. // Инновации и продовольственная безопасность. – 2026. – № 1. – С. 61-67. – DOI: 10.31677/2311-0651-2026-14-1-61-67.

7. Гаврилова, Т.А. Инженерия знаний. Модели и методы: учебник / Т.А. Гаврилова, Д.В. Кудрявцев, Д.И. Муромцев. – 4-е изд. – Санкт-Петербург: Лань, 2023. – 324 с. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=84333291> (дата обращения: 01.06.2026).

8. Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешённых к применению на территории Российской Федерации. // Консорциум “Кодекс”: электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/420235436> (дата обращения: 17.05.2026).

9. Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. – URL: <https://gossortrf.ru> (дата обращения: 01.06.2026).

10. Задача параметрического программирования с моделями прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур / Я.М. Иваньо, М.Н. Барсукова, Ю.В. Столопова, С.А. Петрова // Прикладная информатика. – 2021. – Т. 16. № 6 (96). – С. 131-143.

11. Зинич, Л.В. Дорожная карта цифровой трансформации сельскохозяйственных организаций / Л.В. Зинич, Н.А. Кузнецова, Е.А. Астахова. – Текст: электронный // Экономика, предпринимательство и право. – 2023. – Т. 13, № 12. – С. 5717-5726. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=63549116> (дата обращения: 4.05.2026).

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

13. Иваньо, Я.М. Разработка программного комплекса моделирования характеристик производства сельскохозяйственной продукции и заготовки дикоросов / Я.М. Иваньо, В.В. Цыренжапова: матер. Всерос. научно-практ. конф. с междунар. участием “Проблемы и перспективы устойчивого развития агропромышленного комплекса”, посвящ. памяти А.А. Ежевского (20-21 ноября 2025 г.). – Молодежный: Изд-во Иркутский ГАУ, 2025. – С. 264-273.

14. 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.

15. Идентификация ржавчины пшеницы с помощью фитопатологического исследования и технологий машинного зрения / Г.В. Волкова, И.В. Ариничева, И.В. Ариничев [и др.] // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2021. – № 2 (54). – С. 109-120. – DOI 10.18286/1816-4501-2021-2-109-120. – EDN SLYEGB.

16. Ильина, А.А. Модель цифровой платформы АПК / А.А. Ильина, А.А. Кудряшов. // Экономика, предпринимательство и право. – 2020. – Т. 10, – № 1. – С. 99-108. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42446100> (дата обращения: 13.05.2026).

17. Иркутская область в 2025 г. увеличила посевные площади гороха в 1,3 раза, масличных культур – на 11%. // Интерфакс – Сибирь. – URL: <https://www.interfax-russia.ru/siberia/news/irkutskaya-oblast-v-2025g-uvelichila-posevnye-ploshchadi-goroha-v-1-3-raza-maslichnyh-kultur-na-11> (дата обращения: 18.05.2026).

18. История поля: облачный сервис управления сельскохозяйственным производством. // ГК "Геомир": сайт. – URL: <https://www.geomir.ru/catalog/programmy-dlya-selskogo-khozyaystva/istoriya-polya/> (дата обращения: 10.05.2026).

19. Колокольцева, И.М. Программный комплекс моделирования биологических рисков / И.М. Колокольцева, Я.М. Иваньо: матер. Всерос. научно-практ. конф. с междунар. участием "Проблемы и перспективы устойчивого развития агропромышленного комплекса", посвящ. памяти А.А. Ежевского (20-21 ноября 2025 г.). – Молодежный: Изд-во Иркутский ГАУ, 2025. – С. 274-286.

20. Министерство сельского хозяйства Иркутской области: офиц. сайт. – URL: <https://irkobl.ru/sites/agroline/> (дата обращения: 13.05.2026). – Текст: электронный.

21. Нардина, С.А. Предпринимательская активность российских и зарубежных компаний на региональных рынках семян ярового рапса в Сибирском федеральном округе / С.А. Нардина // Экономика, предпринимательство и право. – 2024. – Т. 14, № 12. – С. 7503-7514. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=80348028> (дата обращения: 16.05.2026).

22. Облачные технологии в управлении региональным агропромышленным комплексом / П.Г. Асалханов, Н.В. Бендик, Я.М. Иваньо, А.И. Лобыцин. – Текст: электронный // Актуальные вопросы аграрной науки. – 2018. – № 29. – С. 37-44. – URL: <http://agronauka-irsau.ru/files/v29.php> (дата обращения: 15.05.2026).

23. Петрова, С.А. Многоуровневые модели прогнозирования и планирования производства сельскохозяйственной продукции / С.А. Петрова, А.О. Замараев, А.А. Ромме // Актуальные вопросы аграрной науки. – 2025. – № 56. – С. 79-92.

24. Площадь ореховых лесов продолжает расти. – Текст: электронный // Рослесинфорг: сайт. – URL: <https://roslesinfor.ru/news/all/ploshchad-orekhovykh-lesov-prodolzhaet-rasti/> (дата обращения: 20.05.2026).

25. Построение онтологии знаний потребителя в маркетинге: кроссдисциплинарный подход / Д.В. Кудрявцев, Т.А. Гаврилова, М.М. Смирнова, К.С. Головачева // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2021. – № 3. – С. 19-32. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46701359> (дата обращения: 3.05.2026).

26. Региональные модели кластеров заготовки, переработки и реализации пищевой дикорастущей продукции : монография / Т.С. Бузина, Б.Н. Дицевич, Я.М. Иваньо [и др.]; под ред. Я.М. Иваньо. – Иркутск: Изд-во Иркутский ГАУ, 2019. – 132 с. – URL: http://195.206.39.221/fulltext/i_031451.pdf (дата обращения: 3.05.2026).

27. Сагирова, Р.А. Совершенствование интенсивной технологии возделывания перспективных сортов и гибридов рапса на маслосемена в условиях Иркутской области: монография / Р.А. Сагирова, А.М. Зайцев, М.Ф. Тяпкина. – Москва: Колос, 2023. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=65423427> (дата обращения: 8.05.2026).

28. Системы интеллектуального менеджмента для цифрового земледелия. Часть 1 / Н.Н. Бахтадзе, Е.М. Максимов, Н.Е. Максимова [и др.] // Информационные технологии и вычислительные системы. – 2020. – № 2. – С. 85–98. – URL: <https://www.ipu.rssi.ru/node/57769> (дата обращения: 01.06.2026).

29. Тулунская селекционная станция: отдел селекции ФГБНУ «Иркутский НИИСХ»: сайт. – URL: <https://iamill.ru/station> (дата обращения: 01.06.2026).

30. ФГБУ “Всероссийский научно-исследовательский институт карантина растений”: офиц. сайт. – URL: <https://www.vniikr.ru/> (дата обращения: 15.05.2026).

31. Филиал ФГБУ “Россельхозцентр” по Иркутской области : офиц. сайт. – URL: <https://rosselhoccenter.ru/ob-uchrezhdenii/filialy/sibirskiy/irkutskaya-oblast/> (дата обращения: 15.05.2026).

32. Цифровые технологии в аграрном производстве и образовании / Иваньо Я.М., Асалханов П.Г., Барсукова М.Н. [и др.]; под редакцией Я.М. Иваньо. – Молодежный: Иркутский ГАУ, 2022. – 126 с.

33. Cropwise – цифровая платформа для агрономии. – URL: <https://www.cropwise.ru> (дата обращения: 01.06.2026).

34. Direct.Farm – цифровая платформа для специалистов АПК. – URL: <https://direct.farm> (дата обращения: 11.05.2026).

35. Gavrilova, T. Ontology-Driven Knowledge Mapping: An Efficient Approach to Improve Organizational Learning / T. Gavrilova, A. Kuznetsova // Digital Geography: IMS 2024 / ed. M. Bakaev [et al.]. – Cham: Springer, 2025. – P. 19-28. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=83194333> (дата обращения: 17.05.2026).

36. The Protégé Ontology Editor and Knowledge Acquisition System: сайт. – URL: <https://protege.stanford.edu> (дата обращения: 11.05.2026).

References

1. O bezopasnom obrashchenii s pestitsidami i agrokhimikatami [On the Safe Handling of Pesticides and Agrochemicals]. Federal'nyy zakon ot 19 iyulya 1997 goda № 109-FZ: [v red. ot 15 dekabrya 2025 goda].

2. O vnesenii izmeneniy v Zakon Irkutskoy oblasti “O poryadke zagotovki pishchevykh lesnykh resursov na territorii Irkutskoy oblasti” [On Amendments to the Law of the Irkutsk Region “On the Procedure for Harvesting Food Forest Resources in the Irkutsk Region”]. Zakon Irkutskoy oblasti ot 10 marta 2015 goda № 5-OZ. URL: <http://www.ogirk.ru/pravo/> (data obrashcheniya: 12.05.2026).

3. Altukhov, A.I. et all. Tsifrovaya transformatsiya kak tekhnologicheskii proryv i perekhod na novyy uroven' razvitiya agropromyshlennogo sektora Rossii [Digital transformation as a technological breakthrough and transition to a new level of development of the agro-industrial sector of Russia]. Prodovol'stvennaya politika i bezopasnost', 2020, vol. 7, no. 2, pp. 81-96, URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43812524> (date of access: 20.05.2026).

4. Ananicheva, Ye.P. Vnedreniye Land Information Model (LIM) tekhnologiy dlya povysheniya kachestva monitoringa zemel'nykh uchastkov v ekonomike regiona [Implementation of Land Information Model (LIM) technologies to improve the quality of land monitoring in the regional economy]. Informatizatsiya v cifrovoj e'konomike, 2025, vol. 6, no. 2, pp. 257-270, URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=82753072> (date of access: 15.05.2026).

5. Akhmetgaliyev, T.A. Teoreticheskiye i metodicheskiye osnovy razrabotki i vnedreniya innovatsiy GIS–tekhnologiy pri vizualizatsii i geoprostranstvennom modelirovanii bazy dannykh ob"yektov nedvizhimosti [Theoretical and methodological foundations for the development and implementation of GIS technology innovations in visualization and geospatial modeling of a real estate database]. Zhilishhny'e strategii, 2022, vol. 9, no. 1, pp. 59-88, URL:

<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48397388> (date of access: 15.05.2026).

6. Bendik, N.V., Melikhova, T.V. *Primeneniye tsifrovyykh resheniy v upravlenii sel'skim khozyaystvom regiona na primere Irkutskoy oblasti* [Application of digital solutions in regional agricultural management: the example of the Irkutsk region]. *Innovacii i prodovol'stvennaya bezopasnost'*, 2026, no. 1, pp. 61-67, DOI: 10.31677/2311-0651-2026-14-1-61-67.

7. Gavrilova, T.A. et al. *Inzheneriya znaniy. Modeli i metody* [Knowledge Engineering. Models and Methods]. St. Petersburg, 2023, 324 p., URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=84333291> (date of access: 01.06.2026).

8. *Gosudarstvennyy katalog pestitsidov i agrokhimikатов, razreshonnykh k primeneniyu na territorii Rossiyskoy Federatsii* [State Catalog of Pesticides and Agrochemicals Permitted for Use on the Territory of the Russian Federation]. Konsortsium "Kodeks": elektronnyy fond pravovoy i normativno-tehnicheskoy dokumentatsii, URL: <https://docs.cntd.ru/document/420235436> (data obrashcheniya: 17.05.2026).

9. *Gosudarstvennyy reyestr selektsionnykh dostizheniy, dopushchennykh k ispol'zovaniyu* [State register of selection achievements approved for use]. URL: <https://gossortrf.ru> (data obrashcheniya: 01.06.2026).

10. Ivanyo, Ya.M. et al. *Zadacha parametricheskogo programmirovaniya s modelyami prognozirovaniya urozhaynosti sel'skokhozyaystvennykh kul'tur* [Parametric programming problem with models for forecasting agricultural crop yields]. *Prikladnaya informatika*, 2021, vol. 16, no. 6 (96), pp. 131-143.

11. Zinich, L.V. et al. *Dorozhnaya karta tsifrovoy transformatsii sel'skokhozyaystvennykh organizatsiy* [Roadmap for the digital transformation of agricultural organizations]. *E`konomika, predprinimatel'stvo i pravo*, 2023, vol. 13, no. 12, pp. 5717-5726, URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=63549116> (date of access: 04.05.2026).

12. 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.

13. Ivanyo, Ya.M., Tsyrenzhapova, V.V. *Razrabotka programmnogo kompleksa modelirovaniya kharakteristik proizvodstva sel'skokhozyaystvennoy produktsii i zagotovki dikorosov* [Development of a software package for modeling the characteristics of agricultural production and wild plant procurement]. *Molodezhny*, 2025, pp. 264-273

14. Ivanyo, Ya.M., Khogoyeva, Ye.A. *Ekonomiko-matematicheskiye 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 Irkutskoy gosudarstvennoy e`konomicheskoy akademii*, 2013, no. 6, pp. 138-143.

15. Volkova, G.V. et al. *Identifikatsiya rzhavchiny pshenitsy s pomoshch'yu fitopatologicheskogo issledovaniya i tekhnologiy mashinnogo zreniya* [Identification of wheat rust using phytopathological research and machine vision technologies]. *Vestnik Ul`yanovskoy gosudarstvennoy sel'skoxozyaystvennoy akademii*, 2021, no. 2 (54), pp. 109-120, DOI 10.18286/1816-4501-2021-2-109-120.

16. Il'ina, A.A. *Model' tsifrovoy platformy APK* [Model of the digital platform of the agro-industrial complex]. *E`konomika, predprinimatel'stvo i pravo*, 2020, vol. 10, no. 1, pp. 99-108, URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42446100> (accessed: 13.05.2026).

17. *Irkutskaya oblast' v 2025 g. uvelichila posevnyye ploshchadi gorokha v 1,3 raza, maslichnykh kul'tur – na 11%* [In 2025, the Irkutsk Region increased the area under peas by 1.3 times and oilseeds by 11%]. URL: <https://www.interfax-russia.ru/siberia/news/irkutskaya-oblast-v-2025g-uvelichila-posevnye-ploshchadi-goroha-v-1-3-raza-maslichnykh-kultur-na-11> (data obrashcheniya: 18.05.2026).

18. Istoriya polya: oblachnyy servis upravleniya sel'skokhozyaystvennym proizvodstvom [Field history: cloud service for agricultural production management]. URL: <https://www.geomir.ru/catalog/programmy-dlya-selskogo-khozyaystva/istoriya-polya/> (data obrashcheniya: 10.05.2026).

19. Kolokol'tseva, I.M., Ivanyo, Ya.M. Programmnyy kompleks modelirovaniya biologicheskikh riskov [Field history: cloud service for agricultural production management]. Molodezhnyj, 2025, pp. 274-286.

20. Ministerstvo sel'skogo khozyaystva Irkutskoy oblasti [Ministry of Agriculture of the Irkutsk Region]. URL: <https://irkobl.ru/sites/agroline/> (data obrashcheniya: 13.05.2026).

21. Nardina, S.A. Predprinimatel'skaya aktivnost' rossiyskikh i zarubezhnykh kompaniy na regional'nykh rynkakh semyan yarovogo rapsa v Sibirskom federal'nom okruge [Entrepreneurial activity of Russian and foreign companies in the regional markets of spring rapeseed in the Siberian Federal District]. E`konomika, predprinimatel'stvo i pravo, 2024, vol. 14, no. 12, pp. 7503-7514, URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=80348028> (date of access: 16.05.2026).

22. Asalkhanov, P.G. et all. Oblachnyye tekhnologii v upravlenii regional'nykh agropromyshlennym kompleksom [Cloud technologies in the management of the regional agro-industrial complex]. Aktual'nyye voprosy agrarnoy nauki, 2018, no. 29, pp. 37-44, URL: <http://agronauka-irsau.ru/files/v29.php> (data obrashcheniya: 15.05.2026).

23. Petrova, S.A. et all. Mnogourovnevyye modeli prognozirovaniya i planirovaniya proizvodstva sel'skokhozyaystvennoy produktsii [Multilevel models of forecasting and planning of agricultural production]. Aktual'nyye voprosy agrarnoy nauki, 2025, no. 56, pp. 79-92.

24. Ploshchad' orekhovykh lesov prodolzhaet rasti [The area of walnut forests continues to grow]. URL: <https://roslesinforg.ru/news/all/ploshchad-orekhovykh-lesov-prodolzhaet-rasti/> (data obrashcheniya: 20.05.2026).

25. Kudryavtsev, D.V. et all. Postroyeniye ontologii znaniy potrebitelya v marketinge: krossdistsiplinarnyy podkhod [Construction of an ontology of consumer knowledge in marketing: a cross-disciplinary approach]. Iskusstvennyj intellekt i prinyatie resheni, 2021, no. 3, pp. 19-32, URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46701359> (date of access: 3.05.2026).

26. Buzina, T.S. et all. Regional'nyye modeli klasterov zagotovki, pererabotki i realizatsii pishchevoy dikorastushchey produktsii [Regional models of clusters for procurement, processing and sale of wild food products]. Molodezhny, 2019, 132 p., URL: http://195.206.39.221/fulltext/i_031451.pdf (data obrashcheniya: 3.05.2026).

27. Sagirova, R.A. et all. Sovershenstvovaniye intensivnoy tekhnologii vzdelyvaniya perspektivnykh sortov i gibridov rapsa na maslosemena v usloviyakh Irkutskoy oblasti [Improvement of intensive technology for cultivation of promising varieties and hybrids of rapeseed for oilseeds in the conditions of the Irkutsk region]. Moscow: Kolos, 2023, URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=65423427> (date of access: 08.05.2026).

28. Bakhtadze, N.N. et all. Sistemy intellektual'nogo menedzhmenta dlya tsifrovogo zemledeliya [Intelligent management systems for digital agriculture Informacionny`e tekhnologii i vy`chislitel`ny`e sistemy], 2020, no. 2, pp. 8598, URL: <https://www.ipu.rssi.ru/node/57769> (date of access: 01.06.2026).

29. Tulunskaya selektsionnaya stantsiya: otdel selektsii FGBNU “Irkutskiy NIISKH” [Tulun breeding station: breeding department of the Federal State Budgetary Scientific Institution “Irkutsk Research Institute of Agriculture”]. URL: <https://iamill.ru/station> (data obrashcheniya: 01.06.2026).

30. FGBU “Vserossiyskiy nauchno-issledovatel'skiy institut karantina rasteniy” [Federal State Budgetary Institution “All-Russian Research Institute of Plant Quarantine”]. URL: <https://www.vniikr.ru/> (data obrashcheniya: 15.05.2026).

31. Filial FGBU “Rossel'khoztsestr” po Irkutskoy oblasti [Branch of the Federal State Budgetary Institution “Rosselkhozcenter” in Irkutsk Region]. URL:

<https://rosselhoccenter.ru/ob-uchrezhdenii/filialy/sibirskiy/irkutskaya-oblast/> (data obrashcheniya: 15.05.2026).

32. Ivanyo, Ya.M. et al. Tsifrovyye tekhnologii v agrarnom proizvodstve i obrazovanii [Digital technologies in agricultural production and education]. Molodezhnyy, 2022, 126 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: 1.06.2026

Поступила после рецензирования и доработки / Revised: 26.06.2026

Дата принятия к печати / Accepted: 2.07.2026

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>.

Купченко Дмитрий Федорович – бакалавр 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. 83952237330, e-mail: lprostohopel@gmail.com.

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>.

Dmitry F. Kupchenko – graduate student of 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 rural settlement, Molodezhny, 1/1, tel.: 83952237330, email: lprostohopel@gmail.com.



DOI 10.51215/2411-6483-2026-59-75-89

УДК 004.94:519.2:631.16

Научная статья

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧИСЛЕННОСТИ МЫШЕВИДНЫХ ГРЫЗУНОВ И САРАНЧОВЫХ ВРЕДИТЕЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

И.М. Колокольцева

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

Аннотация. Статья посвящена разработке и апробации алгоритмов имитационного моделирования для вероятностной оценки редкой численности саранчовых и мышевидных грызунов – ключевых вредителей сельскохозяйственных культур в условиях Иркутской области. На основе данных фитосанитарного мониторинга (2009-2024 гг.) и многолетних метеонаблюдений (1950-2024 гг.) построены регрессионные модели численности личинок саранчовых от среднесуточной температуры и суммы осадков за период наибольшего влияния метеорологических факторов на результативный признак (16-25 июня), а также построены вероятностные распределения (Пирсона III типа, Крещко-Менкеля) для температуры воздуха и осадков. Методом Монте-Карло смоделированы вероятностные сценарии появления наибольших значений саранчовых вредителей (средние максимальные и наибольшие максимальные значения). Для мышевидных грызунов предложен алгоритм, позволяющий на основе ограниченных данных оценивать максимальную численность с заданной вероятностью. Согласно полученным результатам для Юго-восточного лесостепного агроландшафтного района Прибайкалья предполагается, что в ближайшие 10 лет численность грызунов не превысит 184.4 жилых нор/га с вероятностью 0.10. Показано, что при таком уровне заселения потери могут быть существенными. На примере сельскохозяйственной организации ЗАО “Иркутские семена” решена задача оптимизации структуры посевных площадей с учётом редкой численности вредителей. Установлено, что при прогнозируемой вспышке грызунов доход растениеводческой отрасли снижается на 37.7%, а валовой сбор – на 38.3% по сравнению с деятельностью организации в усреднённых условиях. Для саранчовых вредителей потери дохода намного ниже – 2.4%. Разработанные алгоритмы позволяют количественно оценивать риски массового размножения и могут быть использованы как инструмент поддержки управленческих решений при планировании защитных мероприятий в региональном агропромышленном комплексе.

Ключевые слова: имитационное моделирование, редкое событие, вероятностная оценка, оптимизация, вредители сельскохозяйственных культур.

Для цитирования: Колокольцева И.М. Имитационное моделирование численности мышевидных грызунов и саранчовых вредителей сельскохозяйственных культур. *Электронный научно-практический журнал “Актуальные вопросы аграрной науки”*. 2026; 2(59):75-89. DOI 10.51215/2411-6483-2026-59-75-89.

SIMULATION MODELING OF THE NUMBER OF MOROUS RODENTS AND LOCUST PESTS OF AGRICULTURAL CROPS

Irina M. Kolokoltseva

Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky

Molodezhny, Molodezhnoye rural settlement, Irkutsk municipal district, Irkutsk region, Russia

Abstract. The article is devoted to the development and testing of simulation modeling algorithms for probabilistic estimation of rare numbers of locusts and mouse-like rodents – key pests of agricultural crops in the Irkutsk region. Based on phytosanitary monitoring data (2009-2024) and long-term meteorological observations (1950-2024), regression models of locust larval numbers from average daily temperature and precipitation totals for the period of the greatest influence of meteorological factors on the resultant indicator (June 16-25) were constructed, and probability distributions (Pearson type III, Kritsky-Menkel) were constructed for air temperature and precipitation. The Monte Carlo method was used to simulate probabilistic scenarios for the occurrence of the highest values for locust pests (average maximum and highest maximum values). For mouse-like rodents, an algorithm is proposed that allows, based on limited data, to estimate the maximum numbers with a given probability. Based on the results obtained for the Southeastern forest-steppe agricultural landscape region of the Baikal region, it is expected that rodent populations will not exceed 184.4 residential burrows/ha over the next 10 years with a probability of 0.10. It is shown that with this level of infestation, losses can be significant. Using the agricultural organization CJSC “Irkutsk Seeds” as an example, the problem of optimizing the structure of crop areas, taking into account the low pest population, was solved. It was found that with a predicted rodent outbreak, crop production revenues decrease by 37.7%, and gross harvest by 38.3%, compared to the organization's operations under average conditions. For locust pests, income losses are much lower – 2.4%. The developed algorithms allow for a quantitative assessment of the risks of mass reproduction and can be used as a tool to support management decisions when planning protective measures in the regional agro-industrial complex.

Keywords: simulation modeling, rare event, probabilistic assessment, optimization, agricultural pests.

For citation: Kolokoltseva I.M. Simulation modeling of the number of morous rodents and locust pests of agricultural crops. *Electronic scientific-Practical journal “Actual issues of agrarian science”*. 2026; 2(59):75-89. DOI 10.51215/2411-6483-2026-59-75-89.

Введение. Обеспечение стабильного производства аграрной продукции остаётся одной из ключевых задач продовольственной безопасности. Среди факторов, лимитирующих урожайность, особое место занимают сельскохозяйственные вредители, ежегодно уничтожающие от 10 до 30% потенциального сбора зерновых, технических и кормовых культур. Только мышевидные грызуны в периоды массового размножения способны вызывать потери урожая пшеницы на уровне 25-35%, а многолетних трав – до 80% биомассы. При этом реальный хозяйственный урон редко исчерпывается прямым изъятием фитомассы: он складывается из скрытых потерь (затаскивание колосьев в норы, загрязнение зерна землёй, развитие вторичных инфекций), затрат на пересев и недополученной прибыли.

В настоящее время существует объективная потребность в инструментах,

позволяющих не просто констатировать текущую численность вредителей, а предвидеть её развитие, в зависимости от погодных сценариев. Таким инструментом служат имитационные модели динамики численности вредных организмов. В Российской Федерации накоплен значительный опыт имитационного моделирования в защите растений. Всероссийский НИИ защиты растений (ВИЗР) разработал серию эмпирико-статистических и динамических моделей, предсказывающих многолетнюю цикличность и сезонную динамику численности мышевидных грызунов, саранчовых и других вредителей сельскохозяйственных культур [6, 16]. В то же время активно развиваются зарубежные платформы продукционного процесса (DSSAT, APSIM, WOFOST), в которые всё чаще встраиваются модули повреждения растений вредителями [7].

Исследования затрудняет малое количество данных о вредителях сельскохозяйственных культур. Поэтому имитационное моделирование в такой задаче является инструментом для осмысления неопределённости и поддержки решений в условиях неполной информации.

Имитационное моделирование широко применяется при производстве аграрной продукции, при планировании, управлении рисками, оптимизации технологических процессов и т.д. Применение методов имитационного моделирования рассматривалось в работах [5, 8, 10, 19] для оценки изменчивости урожайности сельскохозяйственных культур и факторов, которые на неё влияют, определения редких событий, зависимых от выявленных природных факторов (месячные осадки за вегетационный период, средняя месячная температура, число дней без дождей), асчета маловероятной численности саранчовых вредителей и условий её проявления и др. Отметим также, что в работе [9] предложены алгоритмы моделирования редких событий с применением метода статистических испытаний при заданном интервале повторяемости определенного экстремального значения. При этом оценивается вероятность проявления события и интервал рассеяния [4].

Целью работы является разработка алгоритмов оценки редкой численности вредителей сельскохозяйственных культур для оптимизации производства растениеводческой продукции.

Для достижения цели сформулированы **задачи**:

- 1) разработка алгоритма вероятностной оценки редкой максимальной численности саранчовых;
- 2) разработка алгоритма вероятностной оценки редкой максимальной численности мышевидных грызунов;
- 3) оптимизации объёмов производства растениеводческой продукции в условиях редкой численности вредителей.

Методы и материалы. Данные о численности вредителей кормовых и зерновых культур на единицу площади получены на основе фитосанитарного мониторинга посевов сельскохозяйственных культур в муниципальных районах Иркутской области, проведённого специалистами ФГБУ “Российский

сельскохозяйственный центр” за период 2009-2024 гг.

Данные о среднесуточных температурах воздуха и суточных осадках за 1950-2024 гг. В Иркутском районе Иркутской области получены из источников ФГБУ “Иркутское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды”.

Для моделирования изменчивости численности многоядных вредителей использовались методы: сбора и систематизации данных, имитационное моделирование, корреляционно-регрессионный анализ, метод Монте-Карло.

Основными характеристиками численности саранчовых является их оценка в виде количества личинок на единицу площади (экз./м²) и площадь заселения сельскохозяйственных культур, а мышевидных грызунов – количество жилых нор на гектар (жил.нор/га).

Основные результаты. К редким событиям относятся маловероятные величины [3]. Редкая (экстремальная) численность вредителей – это резкое, значительное превышение их обычной плотности популяции, которое приводит к серьёзному ущербу для сельского хозяйства, а также других экосистем [2]. Обычно редкие события представляют собой случайные величины, вероятность которых определяется с помощью закона распределения вероятностей [11].

Многоядные вредители способны наносить значительный вред сельскохозяйственным растениям, а особенно зерновым культурам и посевам многолетних трав. Грызуны активны круглый год и очень плодовиты. Обычно заселяют поля многолетних трав, задерненные целинные участки (лесополосы, обочины дорог), а также посевы озимых зерновых культур. Вредоносность саранчовых заключается в их способности к значительному повреждению сельскохозяйственных культур и формированию кулиг и стай, способных к миграции на большие расстояния [15].

Алгоритм вероятностной оценки редкой максимальной численности саранчовых. Вспышки массового размножения саранчовых в Иркутской губернии упоминаются в 1888-1892 и в 1896-1899 гг. В конце XX и начале XXI века они зарегистрированы в 1990-1994 и 1998-2003 гг. Период аномально высоких температур и низкого уровня осадков в 2015-2017 годах спровоцировал интенсивное развитие личинок, что привело к существенному ущербу для кормовых угодий (сенокосов и пастбищ) в ряде районов Иркутской области. В 2024 году наблюдалась аналогичная тенденция с заселением более 30 тыс. гектаров в Иркутском, Качугском и Боханском районах.

Наиболее подвержены размножению саранчи степные и лесостепные районы Иркутской области, среди них – Качугский, Эхирит-Булагатский, Балаганский, Усольский и Иркутский. Таким образом, вспышки саранчовых вредителей являются случайными.

Алгоритм вероятностной оценки редкой максимальной численности саранчовых вредителей реализуется в следующей последовательности. Во-первых, определяются временные интервалы с наибольшим влиянием

метеорологических факторов на численность саранчовых в рамках периода развития личинок вредителя в районах Иркутской области. Во-вторых, на основании метеорологических данных осуществляется построение фактической модели, в которой результативным признаком является численность саранчовых вредителей, а в качестве факторов используются среднесуточные температуры воздуха и суммы суточных осадков в пределах выделенного интервала. В-третьих, поскольку многолетние среднесуточные температуры воздуха и суммарные осадки выделенного интервала являются случайными величинами, осуществляется построение вероятностных распределений этих метеорологических характеристик. В-четвертых, для моделирования численности на основе факторной модели применяется метод Монте-Карло. Моделируются случайные числа, соответствующие вероятностям. По этим вероятностям определяются значения факторов. По полученным факторам на основе факторной модели многократно определяются численности саранчовых вредителей. Число экспериментов зависит от постановки задачи: задаваемого периода и точности вычислений. При моделировании численности саранчовых можно ориентироваться на средний максимум и максимум получаемых значений, связанных с вероятностями метеорологических факторов.

Приведём пример реализации алгоритма с использованием факторной модели, характеризующей численность вредителей от среднесуточной температуры воздуха и суммарных осадков на интервале наибольшего их влияния на результативный признак для Иркутского района. С помощью программного комплекса “Моделирование биологических рисков” [12] определён временной интервал с наибольшим влиянием метеорологических факторов на динамику численности саранчовых в рамках периода развития личинок вредителя. Для Иркутского района предопределяющим является период с 16 по 25 июня. Именно на эти 10 дней конца июня приходятся фазы развития личинок саранчовых (выход из яиц и начало питания), которые наиболее чувствительны к погодным условиям.

Регрессионное уравнение зависимости численности личинок саранчовых от метеорологических факторов на интервале их наибольшего влияния на результативный признак в Иркутском районе (коэффициент детерминации $R^2=0.85$) выглядит следующим образом:

$$y_t = -114,34 + 6,5T + 0,29x, \quad (1)$$

где y_t – прогнозируемая численность личинок (экз./м²); T – средняя температура воздуха за период наибольшего влияния метеорологических факторов (°C); x – сумма осадков за тот же период (мм).

На основании метеорологических данных Иркутского района за период с 1950 по 2024 гг. произведён расчёт среднесуточных температур и сумм осадков для интервала наибольшего влияния метеорологических факторов на численность личинок саранчовых с 16 по 25 июня и сформированы два

упорядоченных статистических ряда. Для описания температуры воздуха выбрано по критерию согласия Колмогорова-Смирнова распределение Пирсона III типа, а для осадков – распределение Крицкого-Менкеля (рис. 1, 2).

С помощью метода Монте-Карло произведена генерация множества возможных сценариев метеоусловий с использованием стохастического моделирования. Смоделированы случайные числа, характеризующие ординаты функции распределения, по которым определены значения факторов (температуры и осадки) с помощью заданных законов распределения вероятностей. По полученным факторам на основе факторной модели (1) многократно определена численность саранчовых вредителей. Для определения редкого события высокой численности саранчовых произведено 30 итераций с количеством значений в выборке равным 30. Значение 30 – заданный временной интервал. Для каждой совокупности вычислен средний максимум. Результаты вычислений: 1) средняя вероятность проявления редкой максимальной численности саранчовых для температуры воздуха, p_1 составила 0.034; 2) средняя температура воздуха ($^{\circ}\text{C}$), $T - 20.9^{\circ}\text{C}$; 3) средняя вероятность проявления редкой максимальной численности саранчовых для осадков, $p_2 - 0.029$; 4) сумма осадков $x - 96.2$ мм; 5) численность личинок саранчовых $y_t - 49.2$ экз./м².

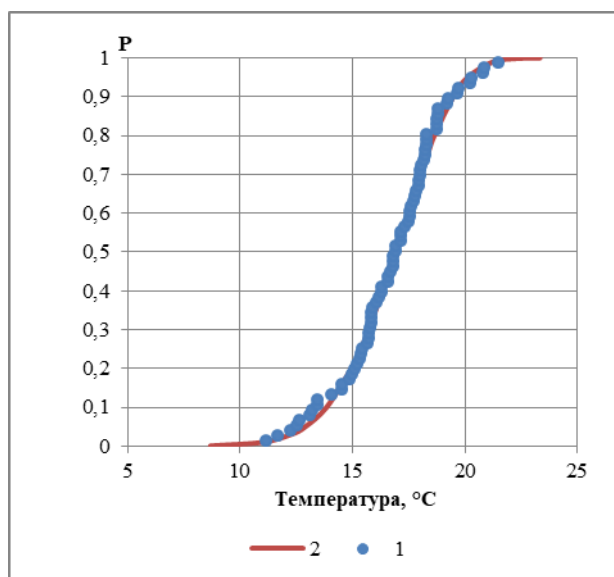


Рисунок 1 – Эмпирическая функция (1) и распределение Пирсона III типа (2) для среднесуточной температуры воздуха периода с 16 по 25 июня по данным Иркутского района за 1950-2024 гг.

Figure 1 – Empirical function (1) and Pearson type III distribution (2) for the average daily air temperature for the period from June 16 to 25, based on data from the Irkutsk region for 1950-2024.

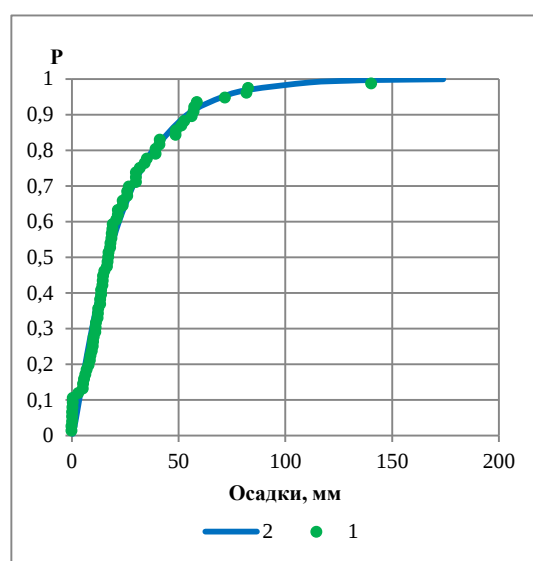


Рисунок 2 – Эмпирическая функция (1) и распределение Крицкого-Менкеля (2) для осадков периода с 16 по 25 июня по данным Иркутского района за 1950-2024 гг.

Figure 2 – Empirical function (1) and Kritsky-Menkel distribution (2) for precipitation for the period from June 16 to 25, based on data from the Irkutsk region for 1950-2024.

Результаты моделирования могут быть использованы для оптимизации объёмов производства растениеводческой продукции с учётом влияния на урожай саранчовых вредителей. Для этого используется задача параметрического программирования с вероятностными характеристиками, приведенная в [10].

Для примера задача оптимизации объёмов производства растениеводческой продукции с учётом влияния на урожай саранчовых вредителей решена для сельскохозяйственной организации ЗАО “Иркутские семена” Иркутского района (табл. 1), специализирующемся на производстве растениеводческой продукции.

Таблица 1 – Результаты решения задачи по оптимизации объёмов производства растениеводческой продукции с учетом влияния на урожай редкой численности саранчовых для ЗАО “Иркутские семена”

Table 1 – Results of solving the problem of optimizing the volume of production of crop products taking into account the impact of rare locust populations on the yield for CJSC “Irkutsk Seeds”

Показатель	Численность личинок, (ν) экз./м ²	Оптимальные планы						Целевая функ-ция, млн руб.	Вероятность, (p)*
		Пшеница	Ячмень	Овес	Картофель	Многолетние травы	Гречиха		
		x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6		
Усредненные условия (при ЭПВ=10 экз./м ²)									
Площади, га	10.1	600	600	100	350	194	50	94.4	0.389
Урожайность, т/га		2.18	1.8	1.63	16.7	1.63	0.86		
Объемы производства, т		1308	1080	163	5845	316	43		
РЕДКОЕ СОБЫТИЕ									
Средний максимум									
Площади, га	49.2	600	600	100	350	194	50	92.2	0.034; 0.029
Урожайность, т/га		1.98	1.8	1.63	16.7	0.38	0.86		
Объемы производства, т		1188	1080	163	5845	74	43		
Максимальное фактическое значение									
Площади, га	61.1	600	600	100	350	194	50	91.5	0.012
Урожайность, т/га		1.92	1.8	1.63	16.7	0	0.86		
Объемы производства, т		1152	1080	163	5845	0	43		

* Примечание: для редкого события, рассчитанного по алгоритму, определены значения средних вероятностей проявления редкой максимальной численности саранчовых для температуры воздуха и осадков

В качестве переменных x_1 , x_2 , x_3 , x_4 , x_5 , x_6 рассмотрены площади производства сельскохозяйственных культур: пшеница, ячмень, овес, картофель, многолетние травы и гречиха. При проведении расчётов были приняты во

внимание возможные снижения урожайности данных сельскохозяйственных культур. В результате выделены оптимальные планы, соответствующие усреднённым условиям работы предприятия, наименьшему и наибольшему значению доходов, при условии превышения экономического порога вредоносности.

Для оценки урожайности зерновых и кормовых культур применяются факторные модели, разработанные на основе предыдущих исследований (по Иркутскому району):

- 1) для зерновых культур:

$$V_z = 22.34 - 0.052y_t \text{ (при } 0 \leq y_t \leq 429.6 \text{ экз./м}^2\text{)} \quad (2)$$

- 2) для многолетних трав:

$$V_m = 19.55 - 0.32y_t \text{ (при } 0 \leq y_t \leq 61.1 \text{ экз./м}^2\text{)} \quad (3)$$

где y_t – численность саранчовых, экз./м².

Значение численности саранчовых вредителей 61.1 экз./м² соответствует верхней границе фактического диапазона, зафиксированного в исходной выборке. События с превышением этого порога являются статистически редкими ($p < 0.012$). Биологически 61.1 экз./м² – это порог, при котором происходит полная дефолиация многолетних трав. Достижение такой плотности популяции – редкое событие, связанное с эпифитотийными вспышками.

Анализ результатов решения задачи показал снижение доходности по растениеводческой отрасли с учётом редкого влияния саранчовых вредителей при учёте среднего значения численности на 2.3% по сравнению с усреднёнными условиями, что соответствует 2.2 млн рублей. При этом потери объёмов производства составят 4.2% или 366 т. Потери дохода при максимальном фактическом значении численности саранчовых могут составить 3.1%, соответствующие 2.9 млн рублей. При этом потери объёмов производства составят 5.4% или 472 т. Результаты моделирования приведены в таблице 1.

Метод Монте-Карло учитывает изменчивость погоды, определяя возможные исходы для принятия решений в сельском хозяйстве.

Алгоритм вероятностной оценки редкой максимальной численности мышевидных грызунов. Для моделирования вспышек резкого увеличения численности мышевидных грызунов разработан метод вероятностной оценки на основе ограниченных исторических данных. Суть метода заключается в генерации множества гипотетических сценариев динамики численности, которые статистически соответствуют наблюдаемым данным, и последующем анализе полученного распределения.

Алгоритм оценки вероятности проявления редкой максимальной численности мышевидных грызунов осуществляется в следующей последовательности. Во-первых, вычисляются статистические параметры: коэффициент вариации и среднее значение ряда. По критерию согласия Колмогорова-Смирнова выбирается закон распределения вероятностей. Во-вторых, после того как закон распределения определён, моделируются случайные числа, соответствующие вероятностям. Формируется n выборок,

объемом m значений. В-третьих, из каждой выборки определяется минимальное значение вероятности p_{min} . В-четвёртых, по закону распределения вероятностей Пирсона III типа вычисляется соответствующее данной вероятности значение численности жилых нор мышевидных грызунов M_n . Из каждого объема m выбираются наибольшие значения численности жилых нор и их вероятность, которые соответствуют n выборкам. Затем вычисляется их среднее значение M_{ncp} , которое с соответствующей средней вероятностью характеризует формирование редкого события на период t лет. Этот процесс повторяется многократно с увеличением количества выборок для достижения необходимой точности оценки среднего.

Приведём пример реализации алгоритма вероятностной оценки редкой максимальной численности мышевидных грызунов.

Моделирование ряда численности мышевидных грызунов M_t осуществлялось по данным Черемховского и Иркутского районов, т.к. согласно [18] они входят в один Юго-восточный лесостепной агроландшафтный район Прибайкалья. Моделирование осуществлялось с помощью закона распределения вероятностей Пирсона III типа [13, 14], выбранного по критерию согласия Колмогорова-Смирнова, со статистическими оценками, полученными по данным за 2017-2024 гг. (среднее – 111.8 жил. нор/га, коэффициенты вариации и асимметрии – 0.41 и 0.26), показанного на рисунке 3.

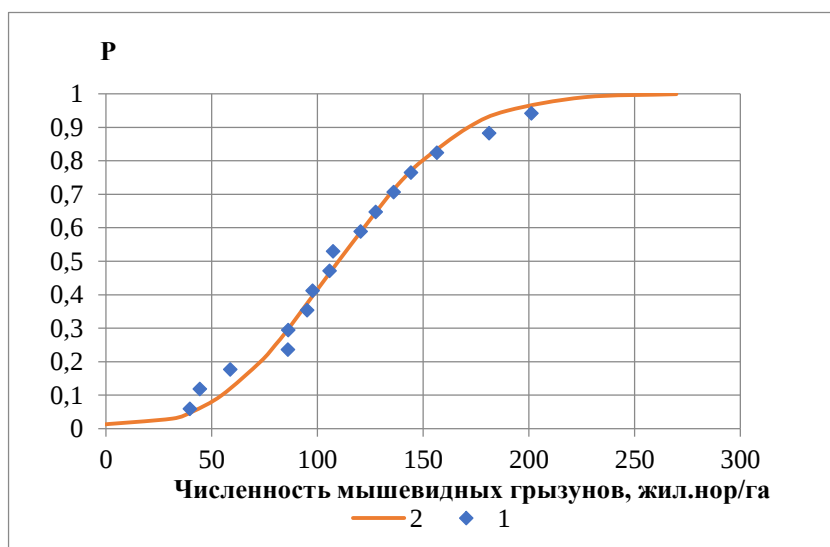


Рисунок 3 – Эмпирическая функция (1) и распределение Пирсона III типа (2) для численности мышевидных грызунов по данным Иркутского и Черемховского районов за 2017-2024 гг.

Figure 3 – Empirical function (1) and Pearson type III distribution (2) for the number of mouse-like rodents according to data from the Irkutsk and Cheremkhovsky districts for 2017-2024.

Смоделированы случайные числа. Сформированы 20 выборок объёмов 10 значений с учетом предположения о вероятном наибольшем значении мышевидных грызунов за 10 лет. Из каждой выборки определено

наибольшее значение, соответствующее некоторой вероятности p_{min} . По закону распределения вероятностей Пирсона III типа (рис. 3) вычислены 20 наибольших значений численности жилых нор мышевидных грызунов, соответствующих вероятностям. Затем рассчитано среднее значение максимумов, которое с соответствующей вероятностью 0.099 характеризует редкого события. Процесс повторялся многократно с увеличением количества выборок для достижения заданного уровня точности 1%.

В результате реализации данного алгоритма можно предположить, что численность мышевидных грызунов в Юго-восточном лесостепном агроландшафтном районе Прибайкалья в ближайшие 10 лет не превысит значения 184 жил.нор/га ($p=0.099$).

Полученное значение соответствует эпифитотии (массовому размножению), которое в агрономических справочниках [1, 17] маркируется как “сплошное повреждение”. Расчёт ожидаемых процентов снижения урожайности произведён на основе коэффициентов вредоносности одной норы/колонии в сутки и длительности фазы активности.

Ожидаемые потери урожайности яровых пшеницы и ячменя возможны на уровне 25-35%. При таком числе нор потери зерна от срезания колосьев и выедания зерен в молочной спелости гарантированно превышают 1/4 урожая. Потери овса могут составить 20-30%. Метелка овса менее удобна для поедания, чем колос (раскидистая, грызунам сложнее доставать зерно). Основной урон – подгрызание стебля в фазе выхода в трубку и полегания. В годы с дождливой осенью потери ближе к 30%.

Вред картофелю наносится в две фазы: весной выедают посадочные клубни (изреженные всходы), летом и осенью делают норы прямо в гребнях и выгрызают полости в крупных клубнях. 184 норы/га означают, что практически в каждом кусте будет поврежден хотя бы 1 товарный клубень, дополнительно потери от гнили на погрызах (скрытый урон). В среднем – возможное снижение урожайности на 35-45% (клубни).

У многолетних трав потери зеленой массы в укосе, а также гибель травостоя могут составить 60-80%. Мышами выедается корневая шейка и корни в горизонте 0-15 см. Травостой не просто будет съеден, он выпадает (проплешины). После такого заселения поле подлежит перепашке. Снижение урожайности “зеленки” достигает 80%, семян – тотальная потеря.

Гречиха – самая уязвимая культура. Стебель гречихи сочный, нежный, и полевки подгрызают его полностью. При численности 184 жил.нор/га цветущее поле может быть уничтожено больше, чем наполовину в течение 3-5 ночей. В среднем потери от столь высокой численности могут быть на уровне 40-60%.

Расчёт ущерба, который может быть причинён высокой численностью популяции мышевидных грызунов, произведён на примере сельскохозяйственной организации ЗАО “Иркутские семена” Иркутского

района (табл. 2), специализирующемся на производстве растениеводческой продукции.

В качестве переменных, как и в предыдущем алгоритме, рассмотрены площади производства сельскохозяйственных культур. При проведении расчётов приняты во внимание возможные снижения урожайности данных сельскохозяйственных культур. В результате выделены оптимальные планы, соответствующие усреднённым условиям работы предприятия при условии превышения экономического порога вредоносности и наименьшему значению дохода.

Таблица 2 – Результаты решения задачи по оптимизации объёмов производства растениеводческой продукции с учетом влияния на урожай редкой численности мышевидных грызунов для ЗАО “Иркутские семена”

Таблица 2 – Results of solving the problem of optimizing the volume of production of crop products taking into account the impact of a rare population of mouse-like rodents on the yield for CJSC “Irkutsk Seeds”

Показатель	Численность личинок, (y_i) экз./м ²	Оптимальные планы						Целевая функция, млн руб.	Вероятность, (p)
		Пшеница	Ячмень	Овес	Картофель	Многолетние травы	Гречиха		
Усредненные условия (при ЭПВ=50-100 жил.нор/га)									
Площади, га	50.0	600	600	100	350	194	50	94.5	0.917
Урожайность, т/га		2.18	1.8	1.63	16.7	1.63	0.86		
Объемы производства, т		1308	1080	163	5845	316	43		
Редкое событие									
Площади, га	184.4	600	600	100	350	194	50	88.9	0.099
Урожайность, т/га		1.53	1.26	1.22	10.0	0.33	0.34		
Объемы производства, т		918	1080	163	5845	64	43		

Анализ результатов решения задачи с вероятностью 0.099 показал снижение доходности по растениеводческой отрасли с учётом влияния мышевидных грызунов на 5.9% по сравнению с усреднёнными условиями, что соответствует 5.6 млн рублей. При этом потери объёмов производства составят 7.3% или 642 т (табл. 2).

Заключение. Разработан алгоритм имитационного моделирования для определения вероятностной оценки редкой численности саранчовых на основе регрессионных моделей, характеризующих связь вредителей от метеорологических факторов.

Предложен алгоритм моделирования численности жилых нор мышевидных грызунов на основе построенного закона распределения Пирсона III типа с использованием метода Монте-Карло.

Данные алгоритмы позволяют количественно оценить вероятность редких событий – вспышек массовой численности вредителей для разных периодов – 10, 20, 30 лет.

Результаты моделирования применены для решения задачи оптимизации объёмов производства растениеводческой продукции с учётом влияния на урожай редкой численности вредителей.

Список литературы

1. Алехин, В.Т. Экономические пороги вредоносности вредителей, болезней и сорных растений в посевах сельскохозяйственных культур: справочник / В.Т. Алехин, В.В. Михайликова, Н.Г. Михина]; Мин-во сельского хоз-ва Российской Федерации. – Москва: Росинформагротех, 2016. – 73 с.
2. Большая российская энциклопедия [Электронный ресурс]. – URL: <https://bigenc.ru/c/vrediteli-sel-skokhoziaistvennykh-rastenii-aaecc7> (дата обращения: 19.06.2026)
3. Бочков, А.Б. Специфика анализа и оценок показателей риска редких событий на опасных производственных объектах / А.В. Бочков, В.С. Сафонов // Научно-технический сборник “Вести газовой науки”. – 2020. – №1 (42). – С. 84-95.
4. Бузина, Т.С. Применение метода статистических испытаний в решении задач управления аграрным производством в условиях неопределенности / Т.С. Бузина, А.Ю. Белякова, Я.М. Иванько // Климат, экология, сельское хозяйство Евразии: матер. X междунар. научно-практ. конф., Молодежный, 27-28 мая 2021 года. – Молодежный: Иркутский ГАУ, 2021. – С. 54-55. – EDN EZARJN.
5. Вашукевич, Е.В. Имитационное моделирование в задачах оценки параметров аграрного производства / Е.В. Вашукевич, В.Р. Елохин, Я.М. Иванько // Актуальные вопросы аграрной науки. – 2011. – № 1. – С. 67-74. – EDN WZZWWN.
6. Галкин, Г.А. Фитосанитарный прогноз и моделирование в защите растений: учебное пособие / Г.А. Галкин, В.Г. Бурый. – Изд-во ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский ГАУ, 2008 г.
7. Еременко, Д.Ю. Использование данных дистанционного зондирования в имитационных моделях агроэкосистем – проблемы и перспективы / Д.Ю. Еременко, А.Г. Топаж, С.А. Медведев // X Всерос. научно-практ. конф. по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности “Имитационное моделирование. Теория и практика” (ИММОД-2021): Труды конф. (электронное издание), Санкт-Петербург, 20-22 октября 2021 года / Редакторы Плотников А.М., Долматов М.А., Смирнова Е.П. – Санкт-Петербург: АО “Центр технологии судостроения и судоремонта”, 2021. – С. 187-194. – EDN NBRLFL.
8. Иванько, Я.М. Модели оптимизации размещения сельскохозяйственных и плодово-ягодных культур с вероятностными параметрами в условиях неопределенности / Я.М. Иванько, М.Н. Астафьева // Вестник ИРГСХА. – 2012. – № 48. – С. 12-20. – EDN OPXKRZ.
9. Иванько, Я.М. Оптимизационные модели аграрного производства в решении задач оценки природных и техногенных рисков. Монография / Я.М. Иванько, С.А. Петрова. – Иркутск: Изд-во Иркутского ГАУ. 2015. – 180 с.
10. Иванько, Я.М. Параметрическая оптимизация производства аграрной продукции в условиях влияния на урожай саранчовых вредителей / Я.М. Иванько, И.М. Колокольцева // Информационные и математические технологии в науке и управлении. – 2024. – № 3(35). – С. 157-166. – DOI 10.25729/ESI.2024.35.3.014. – EDN KYTYRV
11. Иванько, Я.М. Пространственно-временная оценка редких потерь урожайности сельскохозяйственных культур / Я.М. Иванько, С.А. Петрова, И.М. Колокольцева // Актуальные

вопросы аграрной науки. – 2024. – № 50. – С. 65-73. – DOI 10.51215/2411-6483-2024-50-65-73. – EDN DWTJZB.

12. Колокольцева, И.М. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024685263 Российская Федерация / И.М. Колокольцева, Я.М. Иванько, А.В. Теплов // Моделирование биологических рисков: заявл. 14.10.202; опубл. 25.10.2024; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского».

13. Королук, В.С. Справочник по теории вероятностей и математической статистике / Королук В.С., Портенко Н.И., Скороход А.В., Турбин А.Ф. – Москва: Наука, 1985. – 640 с.

14. Крицкий, С.Н. Гидрологические основы управления водохозяйственными системами / С.Н. Крицкий, М.Ф. Менкель. – М.: Наука, 1982. – 271 с.

15. Обзор фитосанитарного состояния посевов сельскохозяйственных культур в Российской Федерации в 2023 году и прогноз развития вредных объектов в 2024 году / Филиал ФГБУ Российский сельскохозяйственный центр по Иркутской области. – М., 2024.

16. Поляков, И.Я. Прогноз распространения вредителей сельскохозяйственных культур / И. Поляков. – Ленинград: Колос [Ленингр. отд-ние], 1964. – 326 с.;

17. Россиков, К.Н. Полевые мыши и меры борьбы с ними. Сельскохозяйственная монография / К.Н. Россиков // Министерство земледелия. Департамент земледелия. 3-е изд., доп. Петроград: Типография В.Ф. Киршбаума, 1917. – 56 с.

18. Солодун, В.И. Агроландшафтное районирование Иркутской области: Учебно-методическое пособие / В.И. Солодун. – Иркутск: Изд-во Иркутский ГАУ, 2016. – 215 с.

19. Buzina, T.S. et all. Method of statistical tests in solving problems of food production management / IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Krasnoyarsk, 16-19 июня 2021 года // Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering. Vol. Volume 839. – Krasnoyarsk: IOP Publishing Ltd, 2021, P. 32051. – DOI 10.1088/1755-1315/839/3/032051. – EDN KYPGSP.

References

1. Alyokhin, V.T. et all. Ekonomicheskiye porogi vredonosnosti vreditel'ey. bolezney i sornykh rasteniy v posevakh selskokhozyaystvennykh kultur : spravochnik [Economic thresholds of harmfulness of pests, diseases and weeds in crops: handbook] Rosinformagrotekh, 2016.

2. Bolshaia rossiiskaia entsiklopediia [The Great Russian Encyclopedia]. URL: <https://bigenc.ru/c/vrediteli-sel-skokhoziaistvennykh-rastenii-aaecc7>

3. Bochkov, A.V., Safonov, V.S. Spetsifika analiza i otsenok pokazatelei riska redkikh sobytii na opasnykh proizvodstvennykh ob'ektakh [The specifics of the analysis and assessment of risk indicators for rare events at hazardous production facilities]. Nauchno-tekhnicheskii sbornik “Vesti gazovoi nauki”, 2020, no. 1 (42), pp. 84-95.

4. Buzina, T.S. et all. Primenenie metoda statisticheskikh ispytaniy v reshenii zadach upravleniia agrarnym proizvodstvom v usloviakh neopredelennosti [Application of the statistical test method in solving problems of agricultural production management in conditions of uncertainty]. Molodezhny, 2021, pp. 54-55.

5. Vashukevich, E.V. et all. Imitatsionnoe modelirovanie v zadachakh otsenki parametrov agrarnogo proizvodstva [Simulation modeling in the tasks of estimating the parameters of agricultural production]. Aktualnye voprosy agrarnoi nauki, 2011, no. 1, pp. 67-74.

6. Galkin, G.A., Buryi, V.G. Fitosanitarnyi prognoz i modelirovanie v zashchite rastenii. [Phytopathological forecast and modeling in plant protection]. St. Petersburg, 2008.

7. Eremenko, D.Iu. et all. Ispolzovanie dannykh distantsionnogo zondirovaniia v

imitatsionnykh modeliakh agroekosistem – problemy i perspektivy [The use of remote sensing data in simulation models of agroecosystems – problems and prospects]. St. Petersburg, 2021, pp. 187-194.

8. Ivanyo, Ya M., Astafeva, M.N. Modeli optimizatsii razmeshcheniia selskokhoziaistvennykh i plodovo-iagodnykh kultur s veroiatnostnymi parametrami v usloviakh neopredelennosti [Models for optimizing the placement of agricultural and fruit crops with probabilistic parameters in conditions of uncertainty]. Vestnik IrGSHA, 2012, no. 48, pp. 12-20.

9. Ivanyo, Ya.M., Petrova, S.A. Optimizatsionnye modeli agrarnogo proizvodstva v reshenii zadach otsenki prirodnnykh i tekhnogennykh riskov [Optimization models of agricultural production in solving the problems of assessing natural and man-made risks]. Irkutsk, 2015, 180 p.

10. Ivanyo, Ya.M., Kolokoltseva, I.M. Parametricheskaya optimizatsiya proizvodstva agrarnoj produktsii v usloviyakh vliyaniya na urozhaj saranchovykh vreditelej [Parametric optimization of agricultural production under the influence of locust pests on the harvest]. Informatsionnye i matematicheskie tekhnologii v nauke i upravlenii, 2024, no. 3 (35), pp. 157-166 (in Russian). DOI: 10.25729/ESI.2024.35.3.014.

11. Ivanyo, Ya.M. et all. Prostranstvenno-vremennaya otsenka redkikh poter urozhainosti selskokhoziaistvennykh kultur [Spatial and temporal assessment of rare crop yield losses]. Aktualnye voprosy agrarnoi nauki, 2024, no. 50. pp. 65-73. DOI 10.51215/2411-6483-2024-50-65-73.

12. Kolokoltseva, I.M. et all. Svidetelstvo o gosudarstvennoi registratsii programmi dlya EVM № 2024685263 Rossiiskaya Federatsiya. Modelirovanie biologicheskikh riskov: zayavl. 14.10.202: opubl. 25.10.2024; zayavitel Federalnoe gosudarstvennoe byudzhethoe obrazovatelnoe uchrezhdenie visshego obrazovaniya “Irkutskii gosudarstvennii agrarnii universitet im. A.A. Yezhevskogo” [Certificate of state registration of the computer program no. 2024685263 Russian Federation. Biological risk modeling: application no. 10.14.202: publ. 10.25.2024; applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Yezhevsky].

13. Koroliuk, V.S. et all. Spravochnik po teorii veroiatnostei i matematicheskoi statistike [Handbook of probability theory and mathematical statistics]. Moscow, 1985, 640 p.

14. Krickij, S.N., Menkel, M.F. Gidrologicheskie osnovy upravleniya vodohozyajstvennymi sistemami [Hydrological fundamentals of water management systems]. Moscow: Nauka, 1982, 271 p.

15. Obzor fitosanitarnogo sostoianiia posevov selskokhoziaistvennykh kultur v Rossiiskoi Federatsii v 2023 godu i prognoz razvitiia vrednykh obiektov v 2024 godu [Review of the phytosanitary status of agricultural crops in the Russian Federation in 2023 and forecast of the development of harmful objects in 2024]. Filial FGBU Rossiiskii selskokhoziaistvennyi tsentr po Irkutskoi oblasti, Moscow, 2024.

16. Poliakov, I.Ya. Prognoz rasprostraneniia vreditelei selskokhoziaistvennykh kultur [Forecast of the spread of pests of agricultural crops]. Leningrad: Kolos, 1964, 326 p.

17. Rossikov, K.N. Polevye myshi i mery borby s nimi [Field mice and measures to control them]. Petrograd: Tipografiia V.F. Kirshbauma, 1917, 56 p.

18. Solodun, V.I. Agrolandshaftnoe rajonirovanie Irkutskoj oblasti [Agro-landscape zoning of the Irkutsk region]. Irkutsk, 2016, 215 p.

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: 19.06.2026

Поступила после рецензирования и доработки / Revised: 29.06.2026

Дата принятия к печати / Accepted: 2.07.2026

Сведения об авторе

Колокольцева Ирина Михайловна – 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, e-mail: 89025190281@yandex.ru, ORCID ID: 0009-0008-5653-1800

Information about author

Irina M. Kolokoltseva – Postgraduate student at the Department of Computer Science 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, e-mail: 89025190281@yandex.ru. ORCID ID: 0009-0008-5653-1800.



DOI 10.51215/2411-6483-2026-59-90-101

УДК 519.2:631.559

Научная статья

ВЕРОЯТНОСТНЫЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ В РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ МНОГОУРОВНЕВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ УРОЖАЙНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

В.В. Цыренжапова

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

Аннотация. В статье рассматриваются возможности использования вероятностных распределений Пирсона III типа и Крицкого-Менкеля для оценки вероятностных событий урожайности сельскохозяйственных культур при многоуровневом моделировании. Рассматриваются случайные и динамико-стохастические ряды урожайности сельскохозяйственных культур. В первом случае в рядах отсутствуют тренды, и первые коэффициенты автокорреляции являются незначимым. Во втором случае используется алгоритм построения рядов прироста и потерь урожайности сельскохозяйственных культур, описанный в ряде работ, предшествующих этому исследованию. Проанализировано большое число рядов урожайности зерновых, овощных культур и картофеля по данным муниципальных районов Иркутской области за 1996-2024 гг. Согласно полученным данным при многоуровневом моделировании стохастических рядов по распределению Пирсона III типа и закону Крицкого-Менкеля определены близкие результаты при оценке благоприятных и неблагоприятных событий. Это подтверждает критерий согласия Колмогорова-Смирнова. Тем не менее, распределение Пирсона III типа лучше применять для отрицательной асимметрии. Распределение Крицкого-Менкеля имеет преимущество при описании распределений с малыми значениями в хвостах. В исключительных случаях оба распределения не могут быть использованы для оценки редких экстремальных событий – наибольших или наименьших значений ряда. При описании рядов прироста и потерь урожайности сельскохозяйственных культур анализировались результаты использования распределения Пирсона III типа с учетом высокой вариации, положительной и отрицательной асимметрии временных рядов. Правилom является адекватное описание благоприятных и неблагоприятных событий с помощью этого распределения. Исключение из правила связано с затруднительностью определения с помощью распределения Пирсона III типа редких значений прироста и потерь в случае высокой вариации и отрицательной асимметрии рядов. Такие ситуации возникают редко и требуют дополнительных исследований.

Ключевые слова: временной ряд, многоуровневое моделирование, благоприятные и неблагоприятные события, распределение Пирсона III типа, распределение Крицкого–Менкеля, урожайность сельскохозяйственных культур.

Для цитирования: Цыренжапова В.В. Вероятностные распределения в решении задачи многоуровневого моделирования урожайности сельскохозяйственных культур. *Электронный научно-практический журнал “Актуальные вопросы аграрной науки”*. 2026; 2(59):90-101. DOI 10.51215/2411-6483-2026-59-90-101.

PROBABILITY DISTRIBUTIONS IN SOLVING THE PROBLEM OF MULTILEVEL MODELING OF AGRICULTURAL CROPS' YIELD

Valentina V. Tsyrenzhapova

Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky
Molodezhny, Molodezhnoye rural settlement, Irkutsk municipal district, Irkutsk region, Russia

Abstract. This article examines the potential of using Pearson type III and Kritsky-Menkel probability distributions to estimate probabilistic events in agricultural crop yields in multilevel modeling. Random and dynamic-stochastic crop yield series are considered. In the former case, there are no trends in the series, and the initial autocorrelation coefficients are insignificant. In the latter case, an algorithm for constructing crop yield gain and loss series described in several previous studies is used. A large number of grain, vegetable, and potato yield series based on data from municipal districts of the Irkutsk region for 1996-2024 were analyzed. The data obtained from multilevel modeling of stochastic series using the Pearson type III distribution and the Kritsky-Menkel law yielded similar results in assessing favorable and unfavorable events. This is confirmed by the Kolmogorov-Smirnov goodness-of-fit criterion. However, the Pearson Type III distribution is better suited for negative skewness. The Kritsky-Menkel distribution has an advantage when describing distributions with small tails. In exceptional cases, both distributions cannot be used to estimate rare extreme events – the highest or lowest values in a series. When describing crop yield gain and loss series, the results of using the Pearson Type III distribution were analyzed, taking into account high variability and positive and negative skewness of the time series. The rule is that this distribution adequately describes both favorable and unfavorable events. An exception to this rule is the difficulty of using the Pearson Type III distribution to determine rare gain and loss values in cases of high variability and negative skewness of the series. Such situations are rare and require further research.

Keywords: time series, multilevel modeling, favorable and unfavorable events, Pearson type III distribution, Kritsky–Menkel distribution, crop yield

For citation: Tsyrenzhapova V.V. Probability distributions in solving the problem of multilevel modeling of agricultural crops' yield. *Electronic scientific-Practical journal “Actual issues of agrarian science”*. 2026; 2(59):90-101. DOI 10.51215/2411-6483-2026-59-90-101.

Введение. Многолетние ряды урожайности сельскохозяйственных культур, объёмов заготовки дикоросов, агрометеорологических характеристик могут обладать случайными и динамико-стохастическими свойствами [6]. С оценкой изменчивости биопродуктивности связано планирование разных аспектов аграрного производства [3, 9, 14]. При этом урожайность сельскохозяйственных культур связана с климатическими факторами [2] и экологией [13].

Временные ряды можно рассматривать в виде иерархических структур с выделением последовательностей локальных минимумов, локальных максимумов и промежуточных значений [7].

Если ряд является случайным, то в качестве многоуровневых характеристик предлагается использовать средние значения последовательностей локальных минимумов, локальных максимумов и всего

ряда [5, 11]. В этом случае прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур в разных условиях деятельности товаропроизводителя (усредненных, неблагоприятных, благоприятных) сводится к экстраполяции усредненных значений в будущее. Расстояние между средними локальными максимумами и средними локальными минимумами можно рассматривать как интервальный прогноз. При этом каждому усредненному уровню соответствует вероятность, полученная по закону распределения. Уровни рядов, которые превышают средние значения локальных максимумов и находятся ниже среднего значения локального минимума, относятся к экстремальным высоким и низким событиям. Для урожайности сельскохозяйственных культур экстремальные верхние события являются благоприятными событиями, а низкие экстремальные уровни – неблагоприятными событиями.

Разности между благоприятным и средним значением локальных максимумов характеризует прирост, а разности между неблагоприятными событиями и средним значением минимальных уровней описывают потери. Для получения этих вероятностных характеристик необходимо использовать законы распределения вероятностей, адекватные эмпирическим данным. В случае наличия в рядах производственно-экономических характеристик многоуровневых трендов в работе [1] предложен следующий алгоритм. Для всего ряда, локальных минимумов и локальных максимумов строятся тренды.

Тренд локальных максимумов отражает благоприятные условия, тренд локальных минимумов характеризует неблагоприятные условия, а тренд всего ряда – усредненные условия [5, 7]. Расстояние между значениями верхнего и нижнего тренда, экстраполированными в будущее, представляют собой интервальный прогноз. Уровни ряда, превышающие тренды локальных максимумов и находящиеся ниже трендов локальных минимумов относятся к благоприятным и неблагоприятным событиям. При этом определяются вероятности перехода в неблагоприятные и благоприятные события по сформированным рядам разностей между фактическими данными и трендами локальных минимумов и локальных максимумов. Первая разность характеризует потери, вторая – прирост.

Для вероятностной оценки потерь и прироста используются законы распределения вероятностей. Для моделирования урожайности сельскохозяйственных культур и других производственно-экономических характеристик, а также оценки экстремальных событий предложены законы распределения Пирсона III типа и трёхпараметрического степенного гамма-распределения (Крицкого-Менкеля) [8, 12], что описано в ряде статей [4, 7, 11]. Вместе с тем предлагаемые законы распределения не всегда адекватно отражают эмпирические значения, что особенно проявляется в хвостах распределения. Поэтому требуются уточнения результатов использования распределения Пирсона III типа и трёхпараметрического степенного гамма-

распределения для решения задач моделирования стохастических рядов урожайности сельскохозяйственных культур и разностей фактических значений и уровней трендов локальных минимумом и максимумов.

Цель работы – исследование разных ситуаций при оценке изменчивости случайного ряда урожайности сельскохозяйственных культур и рядов прироста и потерь, связанных с динамико-стохастическими последовательностями для улучшения расчета вероятностных характеристик многоуровневых моделей. Для достижения цели были решены следующие задачи:

- анализ разных случаев многоуровневого моделирования стохастических характеристик;
- анализ разных случаев многоуровневого моделирования динамико-стохастических характеристик;

Материалы и методы. Для достижения цели применены методы оценка качества трендовых моделей и построения многоуровневых вероятностных моделей. Использован алгоритм построения законов распределения вероятностей для рядов прироста и потерь [1, 5].

В качестве эмпирического материала использованы многолетние данные об урожайности сельскохозяйственных культур 12 муниципальных районов Иркутской области за 1996-2024 гг. Рассмотрены урожайности пшеницы, ячменя, овса, картофеля, свеклы, моркови и капусты. Эти данные соответствуют всем категориям хозяйств.

Результаты и обсуждение. К стохастическим рядам отнесены ряды с незначимыми первыми коэффициентами автокорреляции и незначимыми трендами. Такие ряды не имеют устойчивой направленности во времени и описываются непосредственно законами распределения вероятностей. Для таких рядов определяется вероятностная оценка возможных состояний характеристик.

Для идентификации стохастической природы ряда используются те же стандартные процедуры, что и для всех временных рядов:

- проверка значимости коэффициента детерминации R^2 при линейной аппроксимации (R^2 близок к нулю, F-критерий Фишера не значим);
- проверка t-статистики Стьюдента;
- проверка значимости первого коэффициента автокорреляции.

Для моделирования стохастических рядов предлагается использовать два основных закона распределения.

Распределение Пирсона III типа позволяет описывать ряды с разной асимметрией, как положительной, так и отрицательной. Это распределение определено на всей числовой оси x (от $-\infty$ до $+\infty$). Оно применимо для рядов с относительно малой дисперсией и достаточно симметричным распределением значений. Поскольку исследуемые ряды прироста и потерь урожайности являются положительными и отрицательными, а также

обладают разной асимметрией, то они адекватно могут быть описаны распределением Пирсона III типа.

Распределение Крицкого-Менкеля – трёхпараметрическое гамма-распределение, широко применяемое в гидрологии для описания экстремальных значений (например, минимальных и максимальных расходов воды, наибольших суточных осадков). Для стохастических рядов в агропромышленном комплексе его использование оправдано в тех случаях, когда ряд имеет ярко выраженную положительную асимметрию (преобладание высоких значений) или, наоборот, длинный «левый хвост» (редкие кризисные провалы). Это распределение определено только для положительных значений, поэтому его следует использовать для рядов, не содержащих отрицательных величин (например, урожайность, цены, надой на корову).

На рисунке 1 для примера показан стохастический временной ряд урожайности ячменя в Иркутском районе, на котором выделены три линии:

- средняя урожайность (или среднее значение ряда) – центральная линия (3).
- средние локальные минимумы – левая линия (5).
- средние локальные максимумы – правая линия (4).

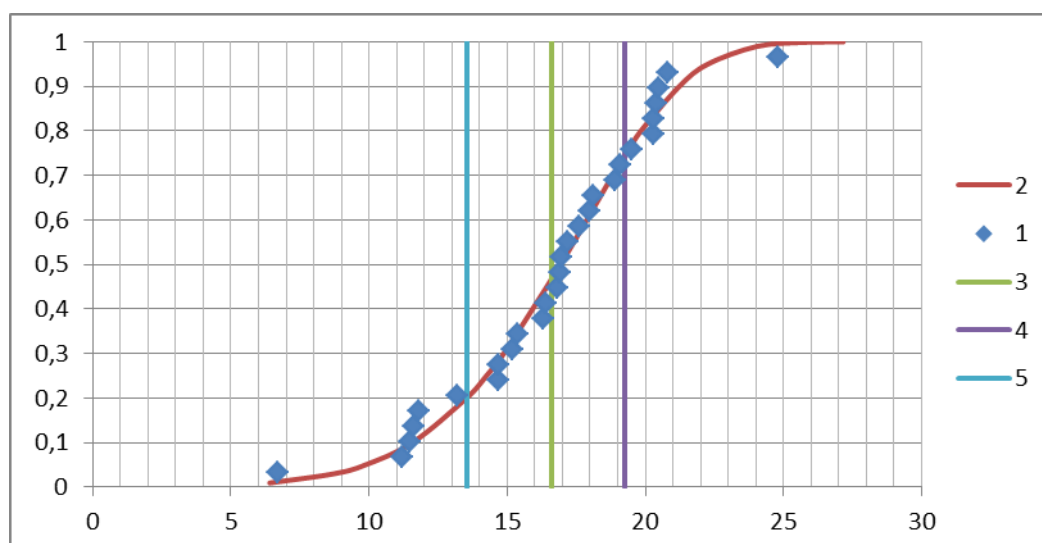


Рисунок 1 – Распределение Пирсона III типа (2) стохастического ряда урожайности ячменя (1) в Иркутском районе за период с 1997 -2024 гг. с выделением средних значений ряда (3), локальных минимумов (5) и локальных максимумов (4)

Figure 1 – Pearson type III distribution (2) of the stochastic series of barley yields (1) in the Irkutsk region for the period from 1997 to 2024, highlighting the average values of the series (3), local minima (5) and local maxima (4)

Точки самого ряда (1), которые выходят за пределы верхней или нижней линии, интерпретируются как события:

- благоприятные события – значения правее правой линии (локальные максимумы, превышающие средний уровень максимумов).
- неблагоприятные события – значения левее линии (локальные минимумы, падающие ниже среднего уровня минимумов).

Для стохастических рядов события – это значения, превышающие средний локальный максимум или располагающиеся ниже среднего локального минимума. В конкретном примере закон распределения Пирсона III применим ввиду соответствия аналитической функции эмпирическим данным по критерию Колмогорова-Смирнова [10].

Рассмотрим применение трёхпараметрического гамма-распределения (распределения Крицкого–Менкеля) на примере стохастического временного ряда урожайности картофеля в Иркутском районе за период с 1997 по 2024 год (рис. 2).

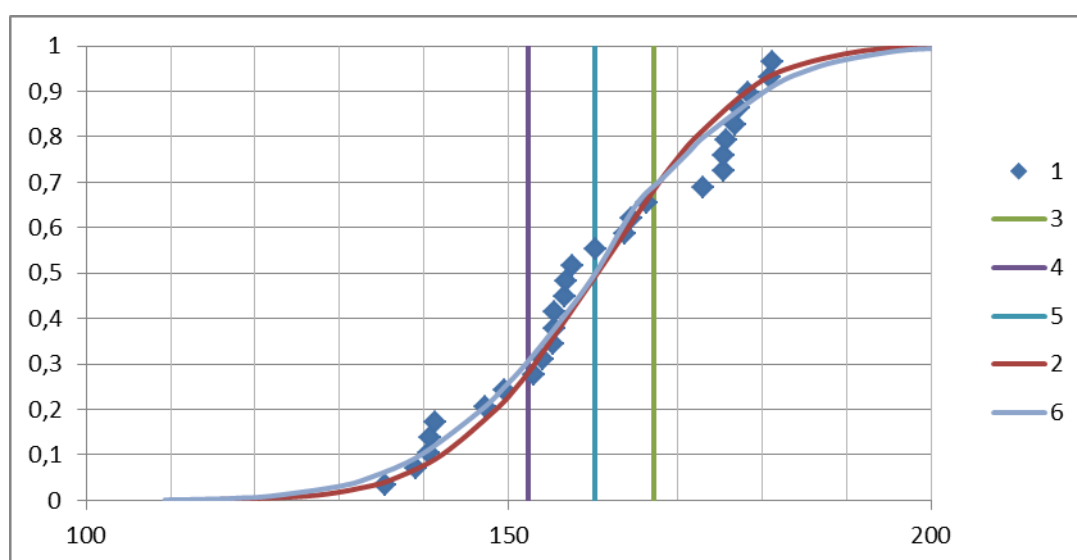


Рисунок 2 – Распределение Пирсона III типа (2) и Крицкого-Менкеля (6) для ряда урожайности картофеля в Иркутском районе за период с 1997 -2024 гг. (1) с выделением средних значений всего ряда (5), локальных минимумов (4) и локальных максимумов (3)

Figure 2 – Pearson III type (2) and Kritsky-Menkel (6) distributions for the potato yield series in the Irkutsk region for the period from 1997 to 2024. (1) highlighting the average values of the entire series (5), local minima (4) and local maxima (3)

В приведенном примере оба распределения дают близкие результаты и согласно критерию согласия Колмогорова-Смирнова могут быть использованы для оценки вероятностей разных уровней урожайности. Вместе с тем распределение Пирсона III типа лучше описывает редкие экстремальные события – наименьшие и наибольшие эмпирические значения.

В основном оба распределения могут быть использованы для оценки вероятностей событий. Однако в большинстве случаев распределение

Пирсона III типа характеризуется меньшим расхождением между эмпирическими и аналитическими вероятностями. При очень низких значениях урожайности сельскохозяйственных культур распределения Крицкого-Менкеля имеет преимущество перед распределением Пирсона III типа ввиду свойства последнего уходить в отрицательную область.

В небольшом числе случаев встречаются временные ряды, редкие высокие события которых невозможно описать с помощью приведенных распределений. Примером такого ряда может быть урожайность картофеля в Нукутском районе, характеризующаяся коэффициентом вариации 0.16 и очень низким отрицательным коэффициентом асимметрии -1.3. В этом случае могут быть использованы усеченные законы распределения.

К этому добавим, что трехпараметрическое степенное гамма-распределение не уступает по точности распределению Пирсона III типа, особенно при положительной асимметрии. При этом следует иметь в виду, что очень многие временные ряды урожайности сельскохозяйственных культур обладают отрицательной асимметрией.

Динамико-стохастические ряды – это ряды, в которых присутствует статистически значимая тенденция (тренд), описывающая закономерное изменение характеристики во времени, а также случайные отклонения от этого тренда.

Для идентификации динамико-стохастического ряда выполняются:

- проверка условия $R^2 > 0.5$;
- проверка значимости регрессионного уравнения с помощью F -критерия Фишера;
- проверка значимости коэффициентов регрессионного уравнения с помощью t -критерия Стьюдента.

Для динамико-стохастических рядов разработан алгоритм построения разностей фактических значений и уровней трендов локальных минимумов и максимумов. В первом случае с помощью закона распределения оцениваются потери, а во втором – прирост. Следует иметь в виду, что сформированные таким образом ряды имеют положительные и отрицательные значения. Поэтому удобнее всего описывать их с помощью распределения Пирсона III типа. Кроме того, в случае возможности описания одного и того же ряда несколькими функциями возникает задача выбора наилучшего выражения. В этом случае большое значение имеют дополнительные критерии: вероятности перехода значения в экстремальное событие, число событий (благоприятных и неблагоприятных), максимальные потери и максимальный прирост, соответствующие вероятностям редких событий [4]. Минимизация числа событий и максимальных потерь характеризуют устойчивость роста урожайности и малую вероятность неблагоприятных событий.

При моделировании временных рядов урожайности сельскохозяйственных культур возникает задача выбора наиболее адекватной трендовой модели из числа возможных (линейной, степенной,

логистической и др.). Выбор модели определяется перечисленными статистическими критериями.

Для примера в таблице приведены результаты многоуровневого анализа трендов и событий временного ряда урожайности свеклы в Усольском районе за период 1996-2021 гг. с использованием линейной, логистической и степенной функций. Сопоставление характеристик демонстрирует, что линейная и степенная модели обеспечивает наилучшее приближение к фактическим данным по минимуму числа событий и минимуму наибольших потерь урожайности за многолетний период

Согласно данным таблицы наименьшее число событий определено для степенной функции. Для этой же функции получены наименьшие максимальные потери, которые соответствуют -52.7 ц/га, что меньше, чем при использовании линейного, и, тем более, логистического тренда. Вероятности потерь и прироста для степенной функции адекватно отображают ситуацию роста урожайности свёклы и ее отклонений от трендов, поэтому, полученные с помощью распределения Пирсона III типа вероятности могут быть использованы для решения подобных задач.

Таблица – Сравнительный анализ трендовых моделей для оценки уровней урожайности свеклы в Усольском районе

Table – Comparative analysis of trend models for assessing sugar beet yield levels in the Usolsky district

Уровень	Выражение	R ²	F-критерий Фишера	Максимальные потери и прирост (вероятности)	Число событий
Усредненный	$y=7.30t+117$	0.56	31.1	-	
Нижний	$y=7.72t+72.0$	0.78	24.5	-60.7 (0.0148)	6
Верхний	$y=6.13t+182.2$	0.66	74.6	44.9 (0.0347)	5
Усредненный	$y=80.5t^{0.389}$	0.65	44.1	-	
Нижний	$y=64.75t^{0.396}$	0.79	25.3	-52.7 (0.0248)	5
Верхний	$y=124.9t^{0.303}$	0.83	34.8	37.6 (0.0347)	4
Усредненный	$y=293/(1+e^{-0.152})$	0.56	9.09	-	
Нижний	$y=263.7/(1+e^{-0.0926t})$	0.72	21.0	-80.3 (0.0370)	10
Верхний	$y=332.9/(1+e^{-0.166t})$	0.77	26.28	8.5 (0.0618)	4

Следует добавить к этому, что большинство рядов урожайности зерновых культур, картофеля и овощей обладают значимыми трендами. По этой причине чаще всего приходится строить законы распределения вероятностей для прироста и потерь, используя динамико-стохастические ряды. Однако, как и в случае со стохастическими рядами, иногда возникают ситуации невозможного описания редких событий ряда потерь или прироста распределением Пирсона III типа. Это касается рядов с высокими коэффициентами вариации, например, редкой высокой урожайности пшеницы в Усть-Удинском районе (коэффициент вариации ... -1.12, а

коэффициент асимметрии... -1.0) и редкой низкой урожайности ячменя в Заларинском районе (коэффициент вариации... 2.13, а коэффициент асимметрии... -0.3). В таких случаях возможно использование усеченных распределений.

Выводы. Рассмотрены два варианта построения вероятностных законов при многоуровневом моделировании: для случайного временного ряда урожайности сельскохозяйственных культур и динамико-стохастического ряда с предварительным определением рядов потерь и прироста биопродуктивности как разности фактических данных и уровней трендов локальных минимумов и максимумов.

Для первого случая применимы вероятностные распределения Пирсона III типа и Крицкого-Менкеля. Оба распределения позволяют получать близкие результаты. Тем не менее, обработка большого числа урожайности сельскохозяйственных культур показывает более точные результаты согласно первому закону. Распределение Крицкого-Менкеля лучше использовать при малых значениях хвостов распределения.

Наблюдаются исключения из правила применения распределения Крицкого-Менкеля и Пирсона III типа для стохастических рядов, когда редкие значения невозможно описать или их вероятности являются очень заниженными.

При описании прироста и потерь урожайности сельскохозяйственных культур необходимо использовать критерии минимизации числа экстремальных событий и наибольших потерь, что способствует получению адекватных результатов многоуровневого моделирования при описании временных рядов разными значимыми функциями.

Наиболее приемлемым для построения аналитической функции прироста и потерь по эмпирическим данным является распределение Пирсона III типа, физические величины которого могут принимать положительные и отрицательные значения. В исключительных случаях, при высокой вариации, с помощью предложенного распределения не удастся оценить редкие значения прироста или потерь.

Список литературы

1. Алгоритм моделирования характеристик производства растениеводческой продукции при неблагоприятных условиях / Я.М. Иванько, М. Н. Барсукова, С. А. Петрова, В. В. Цыренжапова // Инженерный вестник Дона. – 2024. – № 9(117). – С. 676-694.
2. Астафьева, М.Н. Пространственно-временные закономерности изменчивости климатических параметров и продуктивности сельскохозяйственных культур на юге Восточной Сибири / М.Н. Астафьева, Я.М. Иванько, С.А. Петрова // Экологический Вестник. – 2013 – № 3 (25). – С. 13-18.
3. Гриц, Н.В. Использование элементов точного сельского хозяйства для получения климатически обоснованной урожайности сельскохозяйственных культур в специализированных севооборотах / Н.В. Гриц, Р.А. Ростовцев, А.В. Диченский // Аграрная наука. – . 2023. - № 10. – С. 88-94.
4. Задача параметрического программирования с моделями прогнозирования

урожайности сельскохозяйственных культур / Я.М. Иваньо, М.Н. Барсукова, Ю.В. Столопова, С.А. Петрова // Прикладная информатика. – 2021. – Т. 16. – № 6 (96). – С. 131-143.

5. 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.

6. Иваньо, Я.М. Математическое моделирование в решении задач управления процессами получения продовольственной продукции / Я.М. Иваньо // Цифровые технологии и математическое моделирование в науке, образовании и производстве: матер. Всерос. научно-практ. конф. с междунар.участием для преподавателей, научных сотрудников и аспирантов, посвящ. юбилею проф., почетного работника высшего профессионального образования РФ Я.М. Иваньо, Молодежный, 30 октября 2025 года. – Молодежный: Иркутский ГАУ, 2025. – С. 3-14.

7. Иваньо, Я.М. Об одном алгоритме выделения аномальных уровней временного ряда для оценки рисков / Я.М. Иваньо, С.А. Петрова // Актуальные вопросы аграрной науки. – 2022. – № 42. – С. 47-56.

8. Крицкий, С.Н. Гидрологические основы управления водохозяйственными системами / С.Н. Крицкий, М.Ф. Менкель – М.: Наука, 1982. – 271 с.

9. Математические модели и программный комплекс по прогнозированию урожайности сельскохозяйственных культур / Д.А. Благов, С.В. Митрофанов, В.С. Никитин [и др.] // Агротехника и энергообеспечение. – 2019. – № 3 (24). – С. 182 – 188.

10. Орлов, А.И. Непараметрические критерии согласия Колмогорова, Смирнова, омега-квадрат и ошибки при их применении / А.И. Орлов // Научный журнал КубГАУ. – 2014. - №97(03) – С. 1-29.

11. Петрова, С.А. Многоуровневые модели прогнозирования и планирования производства сельскохозяйственной продукции / С.А. Петрова, А.О. Замараев, А.А. Ромме // Актуальные вопросы аграрной науки. – 2025. – № 56. – С. 79-92.

12. Рождественский, А.В. Оценка точности кривых распределения гидрологических характеристик / А.В. Рождественский. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 270 с.

13. Самарханов, Т.Г. Производство в ущерб экологии: урожайность растёт, а плодородие падает / Т.Г. Самарханов // Экономика сельского хозяйства России. – 2022. – № 7. – С. 21-27.

14. Семкин, А.Г. Системный подход как инструмент стратегического управления пространственным развитием сельского хозяйства / А.Г. Семкин, Е.П. Задворнева // Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. – 2022. – № 1 (83). – С. 108-114.

References

1. Ivanyo, Ya.M. et all. Algoritm modelirovaniya kharakteristik proizvodstva rasteniyevodcheskoy produktsii pri neblagopriyatnykh usloviyakh [Algorithm for modeling the characteristics of plant production under unfavorable conditions]. Inzhenernyy vestnik Dona, 2024, no. 9(117), pp. 676-694.

2. Astaf'yeva, M.N. et all. Prostranstvenno-vremennyye zakonomernosti izmenchivosti klimaticheskikh parametrov i produktivnosti sel'skokhozyaystvennykh kul'tur na yuge Vostochnoy Sibiri [Spatio-temporal patterns of variability of climatic parameters and productivity of agricultural crops in the south of Eastern Siberia]. Ekologicheskiy Vestnik, 2013, no. 3 (25), pp. 13-18.

3. Grits, N.V. et all. Ispol'zovaniye elementov tochnogo sel'skogo khozyaystva dlya polucheniya klimaticheski obosnovannoy urozhaynosti sel'skokhozyaystvennykh kul'tur v

spetsializirovannykh sevooborotakh [Using elements of precision agriculture to achieve climate-sensitive crop yields in specialized crop rotations]. *Agrarnaya nauka*, 2023, no. 10, pp. 88-94.

4. Ivanyo, Ya.M. et al. Zadacha parametricheskogo programmirovaniya s modelyami prognozirovaniya urozhaynosti sel'skokhozyaystvennykh kul'tur [Parametric programming problem with crop yield forecasting models]. *Prikladnaya informatika*. 2021, vol. 16, no. (96). pp. 131-143.

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

6. Ivanyo, Ya.M. Matematicheskoye modelirovaniye v reshenii zadach upravleniya protsessami polucheniya prodovol'stvennoy produktsii [Mathematical modeling in solving problems of food production process management]. *Molodezhnyy: Irkutskiy GAU*, 2025, pp. 3-14.

7. 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]. *Aktual'nyye voprosy agrarnoy nauki*, 2022, no. 42. pp. 47-56.

8. Kritskiy, S.N., Menkel', M.F. Gidrologicheskiye osnovy upravleniya vodokhozyaystvennymi sistemami. [Hydrological principles of water management systems management]. Moscow, 1982, 271 p.

9. Blagov, D.A. et al. Matematicheskkiye modeli i programmnyy kompleks po prognozirovaniyu urozhaynosti sel'skokhozyaystvennykh kul'tur [Mathematical models and software for forecasting crop yields]. *Agrotekhnika i energoobespecheniye*, 2019, no. 3 (24), pp. 182 – 188.

10. Orlov, A.I. Neparametricheskiye kriterii soglasiya Kolmogorova, Smirnova, omega-kvadrat i oshibki pri ikh primenenii [Nonparametric goodness-of-fit tests of Kolmogorov, Smirnov, omega-square and errors in their application]. *Nauchnyy zhurnal KubGAU*, 2014, no. 97(03), pp. 1-29.

11. Petrova, S.A. et al. Mnogourovnevnyye modeli prognozirovaniya i planirovaniya proizvodstva sel'skokhozyaystvennoy produktsii [Multilevel models for forecasting and planning agricultural production]. *Aktual'nyye voprosy agrarnoy nauki*, 2025, no. 56, pp. 79-92.

12. Rozhdestvenskiy, A.V. Otsenka tochnosti krivyykh raspredeleniya gidrologicheskikh kharakteristik [Evaluation of the accuracy of distribution curves of hydrological characteristics]. *Gidrometeoizdat*, 1977, 270 p.

13. Samarkhanov, T.G. Proizvodstvo v ushcherb ekologii: urozhaynost' rastet, a plodorodiye padayet [Production at the expense of the environment: crop yields rise, but fertility falls]. *Ekonomika sel'skogo khozyaystva Rossii*, 2022, no.7, pp. 21-27.

14. Semkin, A.G., Zadorneva Ye.P. Sistemnyy podkhod kak instrument strategicheskogo upravleniya prostranstvennym razvitiyem sel'skogo khozyaystva [A systems approach as a tool for strategic management of spatial development of agriculture]. *Ekonomika, trud, upravleniye v sel'skom khozyaystve*, 2022, no 1 (83), pp. 108-114.

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: 22.06.2026

Поступила после рецензирования и доработки / Revised: 29.06.2026

Дата принятия к печати / Accepted: 2.07.2026

Сведения об авторах

Цыренжапова Валентина Вячеславовна – 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, e-mail: tsyrenzhapova_v@mail.ru.

Information about authors

Valentina V. Tsyrenzhapova – is a graduate student in the Department of Informatics and Mathematical Modeling, 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, e-mail: tsyrenzhapova_v@mail.ru.

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

Условия опубликования статьи

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

Правила оформления статьи

1. Представление статьи осуществляется в электронном виде через электронную редакцию (адрес: <http://agronauka-irsau.ru>). После регистрации в системе электронной редакции автоматически формируется персональный профиль автора. Затем необходимо загрузить статью через меню “Мои публикации”. Все взаимодействия с редактором происходят через электронную редакцию. **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: *iy mex@rambler.ru*.

ЭЛЕКТРОННЫЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
“АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ АГРАРНОЙ НАУКИ”

Выпуск 2(59)

июнь

Технический редактор – Н.В. Спиридонова

Перевод – П.Г. Асалханов

Лицензия на издательскую деятельность

ЛР № 070444 от 11.03.98 г.

Дата выхода: 09.07.2026.

Усл. печ. л. 6,75.

Адрес редакции, издателя, типографии:

Издательство ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ

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