

Электронный научно-практический журнал  
ELECTRONIC SCIENTIFIC-PRACTICAL JOURNAL

# актуальные вопросы аграрной науки

ACTUAL ISSUES  
OF AGRARIAN SCIENCE

выпуск 2(47)

ИЮНЬ

VOLUME 2(47)

JUNE

ISSN: 2411-6483

МОЛОДЁЖНЫЙ 2023





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

**2023 Выпуск 2 (47)**

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

**2023 Volume 2 (47)**

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 10.51215/2411-6483-2023-(2)47**

Электронный научно-практический журнал “Актуальные вопросы аграрной науки”, 2023, выпуск 2 (47), 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:** Б.Ф. Кузнецов – д.т.н.

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

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

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

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

В журнале опубликуются 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”, 2023, issue 2 (47), 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:** B.F. Kuznetsov – Doctor of Technical Sc.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

The founder – FSBEI HE Irkutsk SAU

**ISSN 2411-6483**

## СОДЕРЖАНИЕ

### **МЕХАНИЗАЦИЯ, ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ, АГРОИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ**

- Боннет Я.В., Логинов А.Ю., Прудников А.Ю.* Особенности эксплуатации электродвигателей на птицефабрике 8
- Кривцов С.Н., Кривцова Т.И., Ячменев А.А.* Теоретические предпосылки определения смазывающих свойств топлив в условиях эксплуатации с помощью шариковой машинки трения 18
- Наумов И.В., Федоринова Э.С., Якупова М.А.* Влияние несимметрии фазных токов на увеличение пожарной опасности 27
- Шелкунова Н.О., Егоров И.Б., Хабардин В.Н.* Решение проблемы утилизации отложений в центробежных маслоочистителях двигателей внутреннего сгорания 36

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

- Белякова А.Ю., Бузина Т.С.* Моделирование урожайности сельскохозяйственных культур в подтаежно-таежном агроландшафтном районе Предбайкалья 47
- Гончарова Н.З.* Цифровизация российского сельского хозяйства: региональный аспект 59
- Иванько Я.М., Николаев М.Н., Петрова С.А.* Оптимизация получения продовольственной продукции для планирования валового сбора в муниципальных районах 68
- Репецкий О.В., Нгуен Ван Мань.* Численный анализ снижения аэродинамических сил на рабочие лопадки турбомашин путем изменения положения лопаток статора 84

## CONTENS

### ***MECHANIZATION, ELECTRIFICATION, AGRO-ENGINEERING SYSTEMS***

- Bonnet Ya.V., Loginov A.Yu., Prudnikov A.Yu.* Features of operation of electric motors at a poultry farm 8
- Krivtsov S.N., Krivtsova T.I., Yachmenev A.A.* Theoretical background for determining the lubrication properties of fuel under operation conditions using a friction ball machine 18
- Naumov I.V., Fedorinova E.S., Yakupova M.A.* The effect of phase current asymmetry on the increase in fire danger 27
- Shelkunova N.O., Egorov I.B., Habardin V.N.* Solving the problem of sediment disposal in centrifugal oil cleaner internal combustion engines 36

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

- Belyakova A.Yu., Buzina T.S.* Modeling of crop yields in the taiga-taiga agro-landscape area of the Pre-baikal region 47
- Goncharova N.Z.* Digitalization of russian agriculture: regional aspect 59
- Ivanyo Ya.M., Nikolaev M.N., Petrova S.A.* Optimization of obtaining food products for planning gross harvest in municipal districs 68
- Repetckii O.V., Nguyen Van Manh.* Numerical analysis of reduction of aerodynamic forces on turbomachine working blades by changing the position of stator blades 84



**МЕХАНИЗАЦИЯ, ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ, АГРОИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ**

**MECHANIZATION, ELECTRIFICATION, AGRO-ENGINEERING SYSTEMS**

DOI 10.51215/2411-6483-2023-(2)47-8-17

УДК 62-13

Научная статья

**ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ НА  
ПТИЦЕФАБРИКЕ**

<sup>1</sup>Я.В. Боннет, <sup>2</sup>А.Ю. Логинов, <sup>2</sup>А.Ю. Прудников

<sup>1</sup>Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана,  
г. Москва, Россия

<sup>2</sup>Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского,  
Молодежный, Иркутский район, Иркутская область, Россия

**Аннотация.** Проблема обеспечения надежности электрооборудования в сельском хозяйстве остается актуальной в связи со сложными условиями эксплуатации и агрессивной средой, которые препятствуют рациональному использованию электрооборудования. Высокая аварийность асинхронных двигателей, в свою очередь, связана с перегоранием межвитковой изоляции и межфазными замыканиями или замыканиями на корпус. Наряду с межвитковой изоляцией большое влияние на снижение надежных показателей асинхронного двигателя оказывает низкая надежность подшипников. Увеличение радиального зазора в подшипниках вызывает повышение местных нагревов, повышение расхода электроэнергии, приводит к снижению коэффициента полезного действия двигателя и, как следствие, выходу из строя межвитковой изоляции гораздо раньше срока, заявленного производителем, что в свою очередь способствует дорогостоящему ремонту. Согласно статистическим данным до 78 процентов двигателей, устанавливаемых в птичниках, составляют машины мощностью 0.25-0.8 кВт, которые размещены в системах приточно-вытяжной вентиляции. Эти двигатели наиболее подвержены действию агрессивной среды, влажности и перепадам температур, так как установлены на границе окружающей среды и птицеводческого помещения. Следствием этих факторов в холодное время года становится обледенение двигателя, появление конденсата в подшипниках и изоляции. В летние месяцы двигатели, используемые в приводах вентиляционных установок, работают круглосуточно, а при высоких среднесуточных температурах они функционируют на повышенной частоте питающего напряжения для увеличения производительности, что снижает срок службы асинхронного двигателя. В статье приведены результаты исследования работы электродвигателей на птицефабрике, указаны причины вызывающие нарушение нормальной работы электродвигателей и способы их устранения.

**Ключевые слова:** асинхронный двигатель, диагностика, надёжность, птицефабрика, отказы, эксплуатация.

**Для цитирования:** Боннет Я.В., Логинов А.Ю., Прудников А.Ю. Особенности эксплуатации электродвигателей на птицефабрике. *Электронный научно-практический журнал “Актуальные вопросы аграрной науки”*. 2023; 2 (47):8-17. DOI: 10.51215/2411-6483-2023-(2)47-8-17.

Research article

## FEATURES OF OPERATION OF ELECTRIC MOTORS AT A POULTRY FARM

<sup>1</sup>Yakov V. Bonnet, <sup>2</sup>Alexandr Yu. Loginov, <sup>2</sup>Artem Yu. Prudnikov

<sup>1</sup>Moscow State Technical University named after N. E. Bauman, *Moscow, Russia*

<sup>2</sup>Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Ezhevsky, *Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia*

**Abstract.** The problem of ensuring the reliability of electrical equipment in agriculture remains relevant due to the difficult operating conditions and aggressive environment that impede the rational use of electrical equipment. The high accident rate of asynchronous motors, in turn, is associated with the burnout of interturn insulation and interphase short circuits or short circuits to the housing. Along with inter-turn insulation, the low reliability of bearings has a great influence on the decrease in the reliability of an induction motor. An increase in the radial clearance in bearings causes an increase in local heating, an increase in power consumption, leads to a decrease in the efficiency of the engine and, as a result, failure of the inter-turn insulation much earlier than the period declared by the manufacturer, which in turn contributes to expensive repairs. According to statistics, up to 78 percent of the engines installed in poultry houses are machines with a power of 0.25-0.8 kW, which are located in supply and exhaust ventilation systems. These motors are most exposed to aggressive environments, humidity and temperature changes, as they are installed at the boundary between the environment and the poultry house. The consequence of these factors in the cold season is the icing of the engine, the appearance of condensate in the bearings and insulation. During the summer months, the motors used in the drives of ventilation units operate around the clock, and at high average daily temperatures, they operate at an increased frequency of the supply voltage to increase performance, which reduces the life of the asynchronous motor. The article presents the results of a study of the operation of electric motors in a poultry farm, indicates the causes that cause a violation of the normal operation of electric motors and ways to eliminate them.

**Keywords:** asynchronous motor, diagnostics, reliability, poultry farm, failures, operation.

**For citation:** Bonnet Ya.V., Loginov A.Yu., Prudnikov A.Yu. Features of operation of electric motors at a poultry farm. *Electronic scientific-Practical journal “Actual issues of agrarian science”*. 2023; 2 (47):8-17. DOI: 10.51215/2411-6483-2023-(2)47-8-17.

**Введение.** В настоящее время асинхронные электродвигатели являются наиболее распространенным типом электродвигателей в мире. Они используются в различных сферах: металлообработка, нефтехимическая, пищевая, агропромышленный комплекс и другие. При этом обеспечивается высокая надежность и экономичность работы. Повышенное содержание агрессивных веществ в воздухе и несоблюдение эксплуатационных

требований являются основными причинами, снижающими их срок службы в сельском хозяйстве [1, 3].

**Целью** работы является выявление причин, вызывающих нарушение нормальной работы электродвигателей, и определение способов их устранения по результатам исследований на птицефабрике.

**Материалы и методы.** В статье использовался обзор проблемы, анализ литературных данных, а также сведения электротехнических служб сельскохозяйственных предприятий. Это позволяет выявить причины возникновения неисправностей электрических машин и оценить последствия выходов их из строя. В дальнейшем можно провести корректировку плана проведения технических осмотров и текущих ремонтов для повышения эксплуатационной надежности двигателей и снижения эксплуатационных затрат.

В качестве примера выделены асинхронные двигатели, используемые в приводах вентиляторов птичников, так как они имеют один из самых высоких коэффициент использования и наибольший процент выходов из строя.

**Основные результаты.** Анализ неисправностей асинхронных электродвигателей может быть сложным и многоэтапным процессом. Однако в большинстве случаев основные причины неисправностей можно выделить довольно четко. Наиболее распространенными неисправностями данных двигателей являются: обрыв или короткое замыкание обмотки статора - 38%; повреждение подшипникового узла – 40 %; обрыв фазы – 8 %; повреждение ротора – 4 %; пониженное сопротивление изоляции – 10 % [5].

Асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором, используемые на птицеводческих и животноводческих фермах, мастерских и других производственных участках, в основном небольшой мощности от 0.25 до 7.5 кВт (рисунок 1).

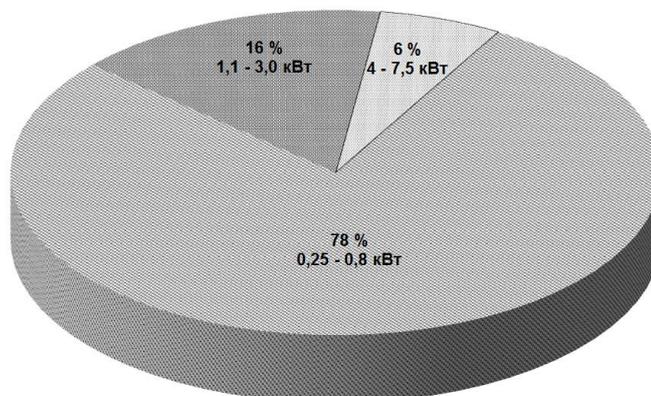


Рисунок 1 – Процентное соотношение асинхронных двигателей по мощностям на птицефабрике

Figure 1 – Percentage of asynchronous motors by capacity at the poultry farm

Согласно данным рисунка 1 наибольшее количество составляют двигатели мощностью от 0.25 до 0.8 кВт, устанавливаемые в системах вентиляции птичника. Данные двигатели в основном расположены с внешней стороны по периметру птичника, поэтому подвержены влиянию колебаний температуры и влажности. Появление обледенения на двигателе, а также выпадение конденсата причиняют большой вред – снижается сопротивление изоляции статорной обмотки, окисляются контактные зажимы и другие элементы конструкции асинхронного электродвигателя [3, 10].

Из многочисленных литературных источников известно, что самое большое влияние на надежность асинхронных двигателей оказывает надежность обмоток статора и подшипников [2, 4, 5, 8]. Одной из основных причин неисправности является износ подшипников, это связано с тем, что в процессе работы двигателя возникают значительные нагрузки на подшипники, что со временем может привести к их поломке. Необходимо учитывать также возможность попадания загрязнений или жидкостей в подшипники. Совокупность этих факторов вызывает износ подшипника, который приводит к росту радиального зазора и, как следствие, появлению статического эксцентриситета ротора асинхронного двигателя [6, 7, 9, 12, 14]. Это, в свою очередь, вызывает повышение местных нагревов, увеличения расхода электроэнергии, приводит к снижению коэффициента полезного действия двигателя и, как следствие, перегоранию изоляции обмоток двигателя гораздо раньше срока, заявленного производителем, приведет к дорогостоящему ремонту. В работе [4] описан сравнительный анализ способов и средств измерения радиального зазора в подшипниках, установленных в асинхронных двигателях.

Еще одной распространенной причиной неисправности является перегрев двигателя, это может произойти при работе двигателя с недостаточным охлаждением или при повышении нагрузки на двигатель сверх его допустимых параметров [11, 13]. Перегрев двигателя непосредственно влияет на состояние обмоток, на них появляются трещины или другие повреждения, что может стать причиной короткого замыкания и поломки всего двигателя. Нужно также учитывать возможность ошибок при установке и эксплуатации двигателя, таких как неправильное подключение к электрической сети или нарушения в работе системы управления двигателем [2, 8]. Обрыв фазы является частым аварийным режимом работы асинхронного двигателя в сельском хозяйстве, являясь следствием однофазного короткого замыкания, а также повреждения питающего провода грызунами. На рисунке 2 показана последовательность возникновения аварийного режима работы электродвигателя.

Все возникающие неисправности в конечном итоге ведут к сторанию обмотки статора или нарушению электробезопасности, поэтому следует тщательным образом подбирать аппаратуру защиты исходя из паспортных

данных электродвигателей и условий их работы. Для предупреждения повреждений при нарушении нормальных условий работы, а также своевременного отключения неисправного двигателя от сети, используются следующие средства защиты от: коротких замыканий; понижения или исчезновения напряжения; работы на двух фазах; повышения напряжения.

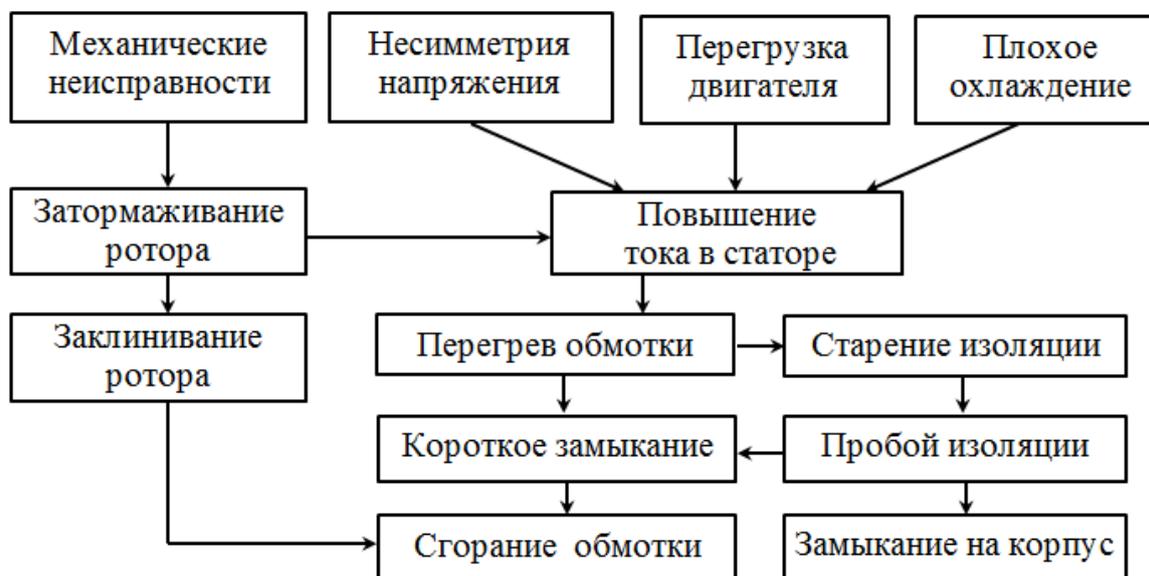


Рисунок 2 – Механизм развития неисправностей

Figure 2 – Fault progression mechanism

Защита от перегрузки – это важная функция, которая помогает предотвратить перегрев межвитковой изоляции двигателя. Она особенно необходима в случаях продолжительных тепловых перегрузок, даже если они не очень большие по величине. Такая защита обязательно должна быть применена для тех электродвигателей, которые используются в приводах механизмов, у которых повышение потребляемых токов обусловлено нарушениями рабочего процесса. В качестве средств защиты можно использовать тепловые реле, автоматические выключатели с тепловым или комбинированным расцепителем, электромагнитные реле. При длительном повышении потребляемых токов эти аппараты отключают потребителя электрической энергии с определенной выдержкой времени, которая зависит от величины перегрузки. Чем меньше перегрузка, тем больше выдержка времени, а при значительных перегрузках отключение происходит мгновенно.

Защиту от слишком низкого напряжения или его отсутствия можно обеспечить посредством электромагнитных аппаратов. Еще одна важная функция этой защиты состоит в предотвращении самовключения электрического двигателя при перерывах электропитания или восстановлении нормального напряжения сети. Защита асинхронных

электродвигателей от работы на двух фазах защищает двигатель от перегрева, а также от так называемого “опрокидывания”, то есть остановки ротора в неправильном положении. Это приводит к повреждению двигателя и может быть опасно для людей, работающих с оборудованием.

Аппараты электрической защиты в основном выполняют сразу несколько функций, например, обеспечивают защиту от коротких замыканий и перегрузок. Это помогает снизить риск повреждения оборудования и обеспечить безопасность персонала. Чтобы обеспечить надежную защиту, необходимо правильно выбрать тип и количество защитных устройств, а также их настройки. Если защита чувствительна и срабатывает при нормальной работе двигателя, это может привести к простою производства. Кроме того, необходимо периодически проводить проверку и техническое обслуживание оборудования, чтобы обеспечить его безопасность и долговечность.

Для эффективной эксплуатации и обслуживания асинхронных электродвигателей необходимо проведение регулярной диагностики состояния. Контроль состояния межвитковой изоляции и радиального зазора в подшипниках, является важнейшей задачей при проведении технических осмотров и текущего ремонта. Это поможет сохранить высокую надежность работы двигателя и снизить расходы на его обслуживание. Помимо регулярного технического обслуживания и ремонта, для продления срока службы асинхронных электродвигателей следует также выполнять условия эксплуатации, например, избегать перегрузок и работать при оптимальных температурах. Важно также выбирать качественные запчасти и компоненты при замене, чтобы уменьшить вероятность повторного возникновения неисправностей. Кроме того, следует учитывать окружающую среду и условия работы. Для двигателей, функционирующих в условиях повышенной влажности или агрессивных сред, необходимо использовать защитные покрытия и материалы. Важно следить за правильной установкой и настройкой оборудования, что может привести к перегрузке двигателя и его выходу из строя.

**Выводы.** Эффективность защиты может снижаться в процессе эксплуатации, поэтому необходимо регулярно проверять работу аппаратов защиты и производить их техническое обслуживание. Важно также обучать персонал правильной эксплуатации оборудования и ремонту в случаях возникновения проблем. Все это поможет обеспечить безопасность и эффективность работы электродвигателей и рабочих механизмов в целом.

### Список литературы

1. Боннет, В.В. Статистическая оценка параметров изменения частоты вращения ротора асинхронного двигателя / В.В. Боннет, А.Ю. Прудников // Вестник ИрГСХА. – 2017. – № 80. – С. 125-130.
2. Кабдин, Н.Е. Повышение эксплуатационной надежности асинхронных электродвигателей в сельскохозяйственном производстве: специальность 05.20.02 “Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве”: дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук / Кабдин Николай Егорович. – Москва, 2002. – 239 с.
3. Коробков, И.Ф. Особенности эксплуатации электродвигателей в сельском хозяйстве / И.Ф. Коробков, Т.В. Шилова // Вестник НГИЭИ. – 2011. – Т. 2, № 3(4). – С. 122-132.
4. Некрасов, А.А. Повышение эксплуатационной надежности электродвигателей в сельскохозяйственном производстве : специальность 05.20.02 “Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве”: дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук / Некрасов Антон Алексеевич. – Москва, 2015. – 131 с.
5. Прудников, А.Ю. Диагностика эксцентриситета ротора асинхронных двигателей, используемых в сельском хозяйстве: специальность 05.20.02 “Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве”: дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук / Прудников Артем Юрьевич. – Москва, 2022. – 198 с.
6. Результаты проверки адекватности математического описания асинхронного двигателя с эксцентриситетом ротора / А.Ю. Прудников, В.В. Боннет, А.Ю. Логинов, Я.В. Боннет // Актуальные вопросы инженерно-технического и технологического обеспечения АПК : Матер. X Нац. научно-практ. конф. с международным участием, посвящ. 90-летию со дня рождения Заслуженного деятеля науки и техники РФ, доктора технических наук, проф. Терских Ивана Петровича, Молодёжный, 06-08 октября 2022 года / Редколлегия: Н.Н. Дмитриев [и др.]. – Молодёжный: Иркутский ГАУ, 2022. – С. 236-243.
7. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016618129 Российская Федерация. Автоматизированная система диагностики эксцентриситета ротора асинхронного двигателя: № 2016615678: заявл. 01.06.2016: опубл. 21.07.2016 / А.Ю. Прудников, Б.Ф. Кузнецов, В.В. Боннет.
8. Тонких, В.Г. Метод диагностики асинхронных электродвигателей в сельском хозяйстве на основе анализа параметров их внешнего магнитного поля : специальность 05.20.02 “Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве”: дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук / Тонких Василий Геннадьевич. – Барнаул, 2009. – 181 с.
9. Экспериментальная установка для диагностики статического эксцентриситета ротора асинхронных двигателей / А.Ю. Прудников, В.В. Боннет, А.Ю. Логинов, Я.В. Боннет // Актуальные вопросы аграрной науки. – 2022. – № 45. – С. 13-21.
10. Akar, M. Diagnosis of static eccentricity fault in permanent magnet synchronous motor by on-line monitoring of motor current and voltage [Электронный ресурс] / M. Akar, I. Çankaya // Journal of electrical & electronics engineering. – 2009. – vol. 9, no 2. – pp. 959-967. – URL: [https://www.researchgate.net/publication/267552191\\_Diagnosis\\_of\\_static\\_eccentricity\\_fault\\_in\\_permanent\\_magnet\\_synchronous\\_motor\\_by\\_on-line\\_monitoring\\_of\\_motor\\_current\\_and\\_voltage](https://www.researchgate.net/publication/267552191_Diagnosis_of_static_eccentricity_fault_in_permanent_magnet_synchronous_motor_by_on-line_monitoring_of_motor_current_and_voltage)(дата обращения: 9.11.2022).
11. Predicting the reliability of auxiliary equipment of heat sources / V.V. Bonnet, A.Yu. Loginov, A.Yu. Prudnikov [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Krasnoyarsk, 16–18 апреля 2020 года / Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Vol. 862. – Krasnoyarsk: Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2020. – P. 62036. – DOI 10.1088/1757-899X/862/6/062036.

12. Prudnikov, A.Yu. Automated system for processing diagnostic parameters of asynchronous motors for poultry house ventilation systems / A.Yu. Prudnikov, V.V. Bonnet, A.Yu. Loginov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Krasnoyarsk, 20-22 июня 2019 года / Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. – Krasnoyarsk: Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2019. – P. 32019. – DOI 10.1088/1755-1315/315/3/032019.

13. Prudnikov, A.Yu. Method of diagnostics of the rotor eccentricity of an induction motor / A.Yu. Prudnikov, V.V. Bonnet, A.Yu. Loginov // JOP Conference Series: Metrological Support of Innovative Technologies, Krasnoyarsk, 04 mart 2020 года / Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. – Krasnoyarsk, Russia: Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2020. – P. 52030. – DOI 10.1088/1742-6596/1515/5/052030.

14. Prudnikov, A.Yu. Virtual model of an induction motor with rotor eccentricity / A.Yu. Prudnikov, V.V. Bonnet, A.Yu. Loginov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: III International Scientific Conference: AGRITECH-III-2020: Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies, Volgograd, Krasnoyarsk, 18–20 июня 2020 года / Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. – Volgograd, Krasnoyarsk: Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2020. – P. 32017. – DOI 10.1088/1755-1315/548/3/032017.

### References

1. Bonnet, V.V., Prudnikov, A.Yu. Statisticheskaya otsenka parametrov izmeneniya chastoty vrascheniya rotora asinhronngo dvigatelya [Statistical estimation of the parameters of the rotor speed variation asynchronous to the motor]. Vestnik IrGSHA, 2017, no. 80, pp. 125-130.

2. Kabdin, N.E. Povyshenie ekspluatacionnoj nadezhnosti asinhronnyh elektrodvigatelej v sel'skohozyajstvennom proizvodstve [Improving the operational reliability of asynchronous electric motors in agricultural production]. Moscow, 2002, 239 p.

3. Korobkov, I.F., Shilova, T.V. Osobennosti ekspluatatsii elektrodvigatelej v sel'skom hozyajstve [Features of operation of electric motors in agriculture]. Vestnik NGIEI, 2011, vol. 2, no. 3(4), pp. 122-132.

4. Nekrasov, A.A. Povyshenie ekspluatacionnoj nadezhnosti elektrodvigatelej v sel'skohozyajstvennom proizvodstve [Improving the operational reliability of electric motors in agricultural production]. Moscow, 2015, 131 p.

5. Prudnikov, A.Yu. Diagnostika ekscentrisiteta rotora asinhronnyh dvigatelej, ispol'zuemyh v sel'skom hozyajstve [Diagnostics of rotor eccentricity of asynchronous motors used in agriculture]. Moscow, 2022, 198 p.

6. Rezul'taty proverki adekvatnosti matematicheskogo opisaniya asinhronnogo dvigatelya s ekscentrisitetom rotora [Results of verification of adequacy of mathematical description of asynchronous motor with rotor eccentricity]. A.Yu. Prudnikov et all. Aktual'nye voprosy inzhenerno-tehnicheskogo i tekhnologicheskogo obespecheniya APK. Molodyozhnyj, 2022, pp. 236-243.

7. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registratsii programmy dlya EVM № 2016618129 Rossijskaya Federaciya. Avtomatizirovannaya sistema diagnostiki ekscentrisiteta rotora asinhronnogo dvigatelya [Automated system for diagnosing the eccentricity of the rotor of an asynchronous motor]. No. 2016615678: zayavl. 01.06.2016 : opubl. 21.07.2016 / A.Yu. Prudnikov, B.F. Kuznecov, V.V. Bonnet.

8. Tonkih, V. G. Metod diagnostiki asinhronnyh elektrodvigatelej v sel'skom hozyajstve na osnove analiza parametrov ih vneshnego magnitnogo polya [Method of diagnostics of asynchronous electric motors in agriculture based on the analysis of the parameters of their external magnetic field]. Barnaul, 2009, 181 p.

9. Prudnikov, A.Yu. et all. Eksperimental'naya ustanovka dlya diagnostiki staticheskogo ekscentrisiteta rotora asinhronnyh dvigatelej [Experimental setup for diagnostics of static eccentricity of the rotor of asynchronous motors]. Aktual'nye voprosy agrarnoj nauki, 2022, no. 45, pp. 13-21.

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

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие конфликта интересов.

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

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

### **История статьи / Article history:**

Дата поступления в редакцию / Received: 07.06.2023

Поступила после рецензирования и доработки / Revised: 27.06.2023

Дата принятия к печати / Accepted: 29.06.2023

### **Сведения об авторах**

Боннет Яков Вячеславович – студент факультета радиоэлектроники и лазерной техники. Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

**Контактная информация:** МГТУ им. Н.Э. Баумана. 664047, г. Иркутск, Карла Либкнехта, 152, кв.8, тел. 89773976519, e-mail: bonnet.iakov@gmail.ru; ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-2888-7446>.

Логинов Александр Юрьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры электрооборудования и физики энергетического факультета Иркутского государственного аграрного университета имени А.А. Ежевского.

**Контактная информация:** ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, 664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, пос. Молодежный, тел. 89041224153, e-mail: alexander\_loginov@mail.ru; ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-4526-9156>.

Прудников Артем Юрьевич – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры электрооборудования и физики энергетического факультета Иркутского государственного аграрного университета имени А.А. Ежевского.

**Контактная информация:** ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, 664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, пос. Молодежный, тел. 89247101077, e-mail: a.prudnicov@mail.ru; ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-0741-5877>.

### **Information about authors**

Yakov V. Bonnet – student of the faculty of Radioelectronics and laser technology Moscow state technical University N.Uh. Bauman.

**Contact information:** Moscow state technical University N.Uh. Bauman, 664047, Irkutsk, Karla Libknekhta, 152, square 8, tel. 89773976519, e-mail: bonnet.iakov@gmail.ru; ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-2888-7446>.

Alexandr Yu. Loginov – candidate of technical Sciences, associate Professor, faculty of energy engineering, Department of electrical and physics of Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Ezhevsky.

**Contact information:** FSBEI HE Irkutsk SAU, 664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk district, village Youth, tel. 89041224153, e-mail: alexander\_loginov@mail.ru; ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-4526-9156>.

Боннет Я.В., Логинов А.Ю., Прудников А.Ю. Особенности эксплуатации электродвигателей ...  
2023; 2 (47):8-17 Электронный научно-практический журнал “Актуальные вопросы аграрной науки”  
Electronic scientific-Practical journal “Actual issues of agrarian science”

Artem Yu. Prudnikov – candidate of technical Sciences, senior lecturer, energy faculty, Department of electrical and physics Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Ezhevsky.

**Contact information:** FSBEI HE Irkutsk SAU, 664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk district, village Youth, tel. 89247101077, e-mail: a.prudnicov@mail.ru; ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-0741-5877>.



DOI 10.51215/2411-6483-2023-(2)47-18-26

УДК 631.173(571.53)

Научная статья

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СМАЗЫВАЮЩИХ СВОЙСТВ ТОПЛИВ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ С ПОМОЩЬЮ ШАРИКОВОЙ МАШИНКИ ТРЕНИЯ

С.Н. Кривцов, Т.И. Кривцова, А.А. Ячменев

ФГБОУ ВО Иркутский национальный исследовательский технический университет,  
*г. Иркутск, Россия*

**Аннотация.** Ввиду того, что двигатели сельскохозяйственных машин активно оснащаются электронными системами подачи топлива, в том числе аккумуляторными, кроме требований к точности подачи и распыла питающих систем, к самому топливу предъявляются высокие требования в плане сохранения необходимых экологических показателей, снижения токсичности отработавших газов.

Дело в том, что в процессе переработки нефтяного сырья, в составе которого всегда содержатся серосодержащие компоненты в количестве 0.6- 6 %, частицы серы попадают в топливо прошедшее все стадии очистки. В свою очередь, сера в дизельном топливе, является одним из самых нежелательных компонентов в его составе, количество серосодержащих примесей является строго ограниченным фактором, поскольку их присутствие негативно влияет на экологическую обстановку и снижает ресурс двигателя.

В данной научной работе рассмотрены факторы, которые влияют на процесс определения смазывающих свойств дизельных топлив и установлена причинно-следственная связь между ними. Приводится аналитическое описание процесса определения смазывающих свойств с парами трения в виде четырех шариков, из которых три являются неподвижными, а четвертый вращается совместно с валом электродвигателя. Обосновано, что выходными параметрами процесса являются: момент трения, сила трения в точке контакта трущихся пар, ускорение или замедление вала двигателя и ток, потребляемый якорем, пропорциональный моменту на валу электродвигателя. Для данных параметров представлено математическое описание на основе дифференциального уравнения вращения вала электродвигателя.

**Ключевые слова:** смазывающие свойства, дизельное топливо, машинка трения, математическая модель.

**Для цитирования:** Кривцов С.Н., Кривцова Т.И., Ячменев А.А. Теоретические предпосылки определения смазывающих свойств топлив в условиях эксплуатации с помощью шариковой машинки трения. *Электронный научно-практический журнал “Актуальные вопросы аграрной науки”*. 2023;2 (47):18-26. DOI: 10.51215/2411-6483-2023-(2)47-18-26.

## THEORETICAL BACKGROUND FOR DETERMINING THE LUBRICATION PROPERTIES OF FUEL UNDER OPERATION CONDITIONS USING A FRICTION BALL MACHINE

Sergey N. Krivtsov, Tatyana I. Krivtsova, Aleksey A. Yachmenev

FSBEI HE Irkutsk national research technical university, Irkutsk, Russia

**Abstract.** Due to the fact that the engines of agricultural machines are actively equipped with electronic fuel supply systems, including battery systems, in addition to the requirements for the accuracy of supply and spraying of supply systems, high requirements are placed on the fuel itself in terms of maintaining the necessary environmental performance and reducing exhaust gas toxicity.

The fact is that during the processing of petroleum feedstock, which always contains sulfur-containing components in an amount of 0.6-6%, sulfur particles enter the fuel that has passed all stages of purification. In turn, sulfur in diesel fuel is one of the most undesirable components in its composition, the amount of sulfur-containing impurities is a strictly limited factor, since their presence negatively affects the environmental situation and reduces engine life.

In this scientific work, the factors that influence the process of determining the lubricating properties of diesel fuels are considered and a causal relationship between them is established. An analytical description of the process of determining the lubricating properties with friction pairs in the form of four balls is given, of which three are stationary, and the fourth rotates together with the motor shaft. It is substantiated that the output parameters of the process are: the moment of friction, the force of friction at the point of contact of rubbing pairs, the acceleration or deceleration of the motor shaft and the current consumed by the armature, which is proportional to the moment on the motor shaft. For these parameters, a mathematical description is presented based on the differential equation for the rotation of the motor shaft.

**Keywords:** lubricating properties, diesel fuel, friction machine, mathematical model.

**For citation:** Krivtsov S.N., Krivtsova T.I., Yachmenev A.A. Theoretical background for determining the lubrication properties of fuel under operation conditions using a friction ball machine. *Electronic scientific-Practical journal “Actual issues of agrarian science”*. 2023; 2 (47):18-26. DOI: 10.51215/2411-6483-2023-(2)47-18-26.

**Введение.** В работах некоторых исследователей отмечается, что показатели качества оценки функционирования различных технических средств на разных автозаправочных станциях могут варьировать и иметь значительные отличия [3, 4, 7, 8, 9,10]. В свою очередь, экологичность работы двигателей внутреннего сгорания зависит, прежде всего, от содержания серы в дизельном топливе. В связи с этим, к топливу должны предъявляться самые высокие требования, что является залогом успешной эксплуатации автотракторной техники на предприятиях – от его качества напрямую зависит ресурс топливоподающей системы, а иногда и всего двигателя в целом [1, 2].

Рассмотрим схему исследуемого процесса, в которой обозначим воздействующие на объект исследования факторы: внешние (температура окружающей среды  $T_{ам}$ , атмосферное давление  $p_{ам}$  и влажность воздуха); внутренние (плотность  $\rho_m$ , вязкость  $\nu_m$ , содержание присадок  $\delta_m$ , фракционный состав  $\Phi_m$ ) и управляющие (нагрузка на пары трения, тип применяемого

двигателя и его характеристики, в первую очередь, мощность) (рисунок 1).

Выходными параметрами процесса являются: момент трения  $M_{тр}$ , сила трения в точке контакта трущихся пар  $F_{тр}$ , ускорение или замедление вала двигателя  $\frac{d\omega}{dt}$  и ток, потребляемый якорем  $I_{я}$ , пропорциональный, в свою очередь, моменту на валу электродвигателя.

Анализ способов задания пар трения позволил заключить, что наиболее просто реализуется, обслуживается и имеет стабильные свойства пара трения, характерная для четырехшариковой машинки. Ввиду небольших габаритов и работе в условиях смазочного слоя наиболее рациональным решением для прибора будет применение двигателя постоянного тока с возможностью питания его от бортовой сети автомобиля. При этом смазывающие свойства могут быть определены посредством вычисления коэффициента трения через момент и силу трения, или через величины, пропорциональные им, например, ускорение (замедление) вала машинки трения.

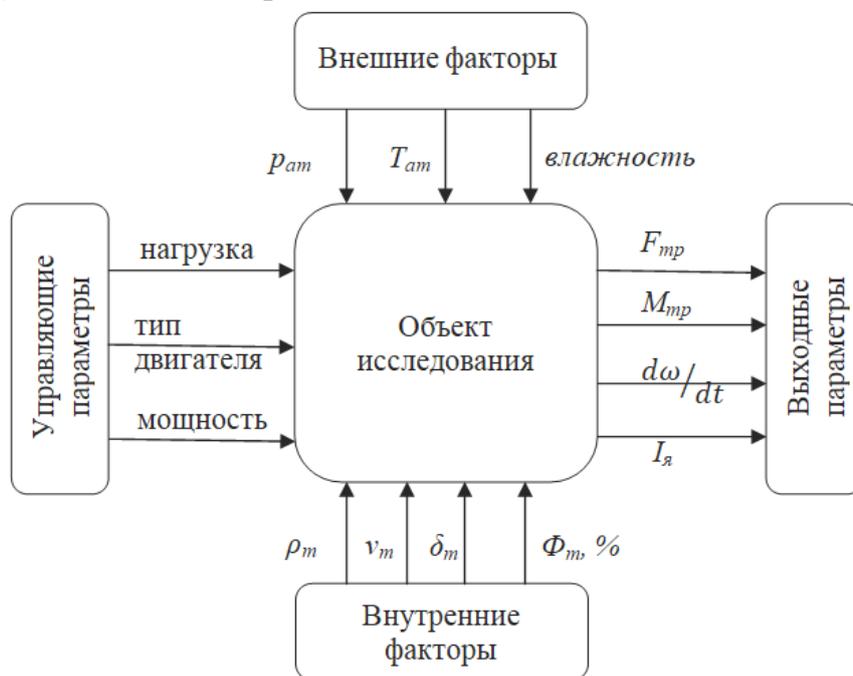


Рисунок 1 – Схема исследуемого процесса

Figure 1 – Scheme of the process under study

При вращении якоря стартера в его обмотке индуцируется обратная электродвижущая сила (ЭДС), которая определяется по следующей формуле:

$$E_{я} = \frac{pN}{60a} n\Phi = c_e \cdot n \cdot \Phi, \quad (1)$$

где  $p$  – число пар полюсов;  $N$  – число активных проводников обмотки якоря;  $a$  – число пар параллельных ветвей обмотки якоря;  $n$  – частота вращения якоря;  $\Phi$  – основной магнитный поток, проходящий через воздушный зазор

и якорь;  $c_e$  – постоянная электродвигателя, не зависящая от режима работы.

Уравнение цепи якоря электродвигателя имеет вид [5]:

$$L_{я} \frac{dI_{я}}{dt} = R_{я} I_{я} + E_{я} = U_{я} , \quad (2)$$

где  $L_{я}$  – индуктивность цепи;  $R_{я}$  – активное сопротивление цепи.

Дифференциальное уравнение электродвигателя в составе прибора можно записать следующим образом [5]:

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{J} (M_{\partial} - M_c) , \quad (3)$$

где  $J$  – момент инерции вращающихся частей;  $\text{кг}\cdot\text{м}^2$ ;  $\frac{d\omega}{dt}$  – угловое ускорение,  $\text{рад}/\text{с}^2$ ;  $M_c$  – момент сил сопротивления.

Исходя из дифференциального уравнения (3), его вал может вращаться с ускорением, в установившемся режиме и в режиме снижения частоты вращения при выключении питания, т.е. при выбеге.

При установившемся режиме угловое ускорение вала двигателя равно нулю, при этом весь крутящий момент расходуется на преодоление сопротивлений, т.е.

$$M_{\partial} = M_c . \quad (4)$$

В качестве момента сопротивления будет выступать момент, затрачиваемый на преодоление трения. В свою очередь, момент трения зависит от величины силы трения и плеча, на котором она действует. Тогда:

$$M_c = M_{mp} = F_{mp} l , \quad (5)$$

где  $F_{mp}$  – сила трения скольжения;  $l$  – плечо действия силы трения.

При выбеге дифференциальное уравнение вращения вала преобразуется в выражение следующего вида:

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{J} F_{mp} l . \quad (6)$$

Для нахождения силы трения и определения реакции  $R_z$  воспользуемся расчетной схемой и примем следующие допущения:

– шарики абсолютно жесткие и их соприкосновение происходит в одной точке;

– реакции симметричны и равны между собой.

Составим уравнение равновесия относительно вертикальной оси:

$$G - 3R_z \cos 30 = 0 . \quad (7)$$

Преобразовав выражение (7), получим:

$$F_{mp} = \frac{M_{\partial}}{l} = \frac{G}{3 \cos 30} f . \quad (8)$$

Для нахождения коэффициента трения, необходимо определить плечо  $l$

(рисунок 2). Для этого воспользуемся известными выражениями для прямоугольного треугольника. Искомое плечо определим через следующее отношение

$$l = r \cos \alpha. \quad (9)$$

Электромагнитный вращающий момент  $M_\delta$ , создаваемый силами взаимодействия магнитного поля и тока в проводниках обмотки якоря определяется как [5]:

$$M_\delta = \frac{pN}{2\pi a} I_\delta \Phi = c_m I_\delta \Phi, \quad (10)$$

где  $p$  – число пар полюсов;  $N$  – число активных проводников обмотки якоря  
 $a$  – число пар параллельных ветвей обмотки якоря;  $I_\delta$  – сила тока в обмотке якоря, А;  $c_m = \frac{pN}{2\pi a}$  – постоянная электродвигателя;  $\Phi$  – основной магнитный поток, проходящий через воздушный зазор и якорь электродвигателя, Вб.

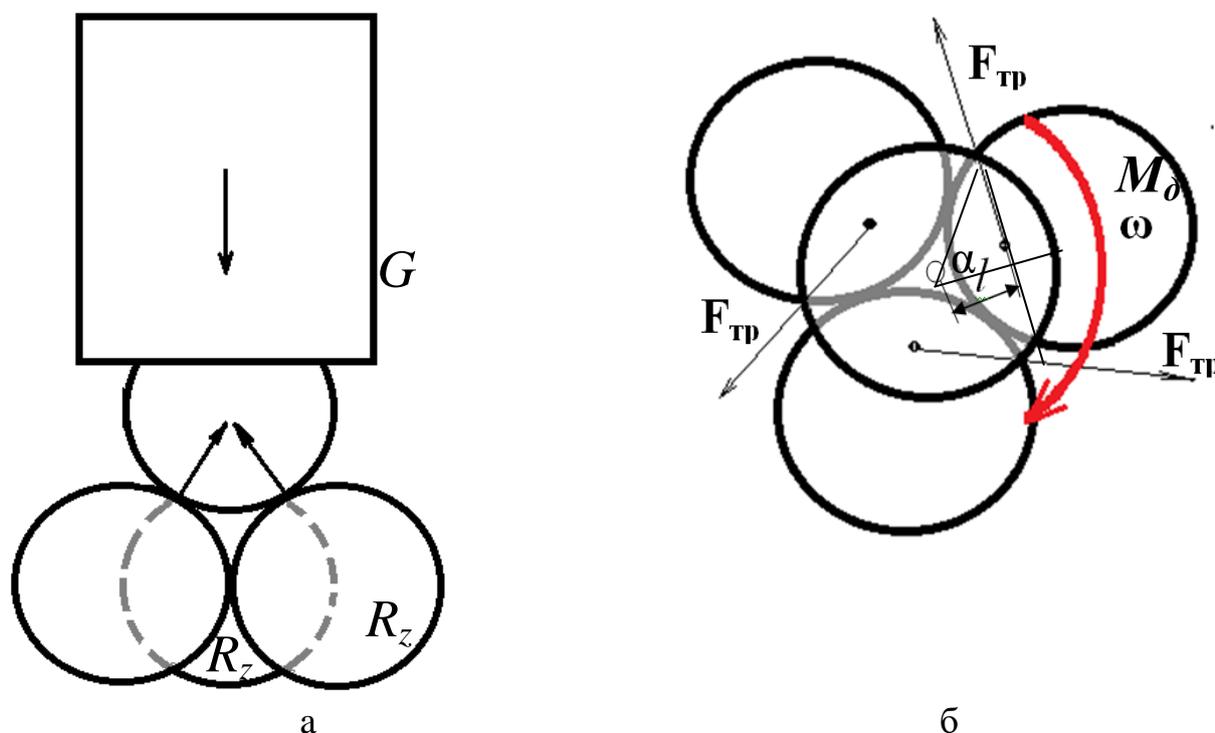


Рисунок 2 – Расчетная схема для вычисления основных выходных параметров, характеризующих смазывающие свойства  
 а – вид спереди; б – вид сверху

Figure 2 – Calculation scheme for calculating the main output parameters characterizing the lubricating properties  
 а – front view; б – top view

Магнитный поток на пару полюсов равен:

$$\Phi = \alpha_{\delta} \cdot \tau \cdot l_{я} \cdot B_{\delta} , \quad (11)$$

где  $\alpha_{\delta}$  – коэффициент полюсного перекрытия;  $\tau = (\pi D_{я})/2p$  – полюсное деление, м;  $l_{я}$  – длина пакета якоря, м;  $B_{\delta}$  – индукция в воздушном зазоре, Т.

Мощность на валу якоря стартера в каждый текущий момент времени определится как:

$$N_{\delta} = I_{я} \cdot U_{я} = M_{\delta} \cdot \omega , \quad (12)$$

где  $M_{\delta}$  – крутящий момент;  $\omega$  – угловая скорость вала.

Таким образом, в каждый текущий момент времени, измеряя одновременно угловую скорость вала, напряжение и силу тока, потребляемого двигателем, можно определить момент сопротивления принудительному прокручиванию, а через него – коэффициент трения:

$$F_{mp} = \frac{N_{\delta}}{\omega l} = \frac{I_{я} U_{я}}{\omega l} . \quad (13)$$

Анализ дифференциального уравнения электродвигателя позволяет заключить [5, 6], что в качестве информативных могут быть приняты параметры, определяемые в режиме разгона (ускорение, крутящий момент), режиме установившегося хода (через величину момента сопротивления) и режиме выбега по величине замедления вала через измерение углового ускорения.

Информативность диагностических признаков для указанных величин определяется, используя метод наибольших сечений [6] и статистический разброс измеренных значений.

**Выводы.** 1. Разработанная схема исследуемого процесса позволяет установить причинно-следственные связи при испытаниях смазывающих свойств и обосновать необходимость измерения момента на валу двигателя, ускорения вала при работе устройства, а также параметров подводимой электрической мощности, напряжения и потребляемого тока.

2. Предложенное математическое описание позволяет рассчитать коэффициент трения между поверхностями четырехшарикового механизма в среде топлива, а также обосновать параметры, пригодные для измерения и имеющие тесную функциональную связь с коэффициентом трения.

#### Список литературы

1. Иовлева, Е.Л. Исследование качества арктического дизельного топлива привозимого в Республику Саха (Якутия) / Е.Л. Иовлева // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2018. – № 80(3). – С. 358-361.
2. Кривцов, С.Н. Обоснование необходимости совершенствования стратегии технического сервиса аккумуляторных топливоподающих систем автомобильных

дизельных двигателей / С.Н. Кривцов // Автотранспортное предприятие. – №8. – 2016. – С. 44-47.

3. Носова, Е.В. Экспериментальное исследование качества дизельного топлива / Е.В. Носова, В.Н. Сапрыгина // Вестник ИрГТУ. – 2011. – № 6 (53). – С. 69-72.

4. Любчик, М.А. Силовые электромагниты аппаратов и устройств автоматики постоянного тока. (Расчет и элементы проектирования) / М.А. Любчик. – М.: Изд. “Энергия”, 1969. – 64 с.

5. Федотов, А.И. Диагностика пневматического тормозного привода автомобилей на основе компьютерных технологий / А.И. Федотов // Дисс. ...докт. техн. наук. – Иркутск, 1999. – 445 с.

6. Хабардин, В.Н. Экономическая оценка мероприятий по улучшению охраны окружающей среды при техническом обслуживании тракторов / В.Н. Хабардин, Т.Л. Горбунова // В сб.: Климат, экология, сельское хозяйство Евразии: матер. XI Междунар. научно-практ. конф., п. Молодежный, 2022. – С. 365-371.

7. Шистеев, А.В. Техническое обслуживание и ремонт тракторов Zoomlion RS в условиях Иркутской области / А.В. Шистеев, Д.В. Бебиков // Актуальные вопросы аграрной науки. – №46. – 2023. – С. 35-44.

8. Шуханов, С.Н. Математическое описание динамики выгорания горючей смеси при функционировании двухтопливного двигателя УЗАМ-331.10 / С.Н. Шуханов, В.П. Бенецкий // В сб.: Развитие научной, творческой и инновационной деятельности молодежи: матер. XIV Всероссийской (национальной) научно-практ. конф. молодых учёных. Курган, – 2022. – С. 3-6.

9. Krivtsov, S.N., Krivtsova, T.I. Variations in health of piezoelectric elements of the Common Rail electric hydraulic nozzles in the operating conditions 2021 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 1061 012022pp 9. doi:10.1088/1757-899X/1061/1/012022.

10. Buraev, M., Shisteev, A., Zhabin, A., Anosova, A., Plyin, P. To clarify the standards of spare parts for technical service of autotractors in zone conditions / E3S Web of Conferences. 13. Сер. "13th International Scientific and Practical Conference on State and Prospects for the Development of Agribusiness, INTERAGROMASH 2020", 2020, p. 05001.

## References

1. Iovleva, E.L. Issledovanie kachestva arkticheskogo dizel'nogo topliva privozimogo v Respubliku Saha (Yakutiya) [Study of the quality of Arctic diesel fuel brought to the Republic of Sakha (Yakutia)]. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernyh tekhnologij, 2018, no. 80(3), pp. 358-361.

2. Krivtsov, S.N. Obosnovanie neobhodimosti sovershenstvovaniya strategii tekhnicheskogo servisa akkumulyatornyh toplivopodayushchih sistem avtomobil'nyh dizel'nyh dvigatelej [Substantiation of the need to improve the strategy for the technical service of battery fuel supply systems for automotive diesel engines]. Avtotransportnoe predpriyatie, 2016, no.8, pp. 44-47.

3. Nosova, E.V., Saprygina, V.N. Eksperimental'noe issledovanie kachestva dizel'nogo topliva [Experimental study of the quality of diesel fuel]. Vestnik IrGTU, 2011, no. 6 (53). pp. 69-72.

4. Lyubchik, M.A. Silovye elektromagnity apparatov i ustrojstv avtomatiki postoyannogo toka. (Raschet i elementy proektirovaniya) [Power electromagnets of devices and devices of direct current automation. (Calculation and design elements)]. Moscow, 1969, 64 p.

5. Fedotov, A.I. Diagnostika pnevmaticheskogo tormoznogo privoda avtomobilej na osnove komp'yuternykh tekhnologij [Diagnostics of a pneumatic brake drive of cars on the basis of computer technologies]. Irkutsk, 1999, 445 p.

6. Khabardin, V.N., T.L. Gorbunova Ekonomicheskaya ocenka meropriyatij po

uluchsheniyu ohrany okruzhayushchej sredy pri tekhnicheskom obsluzhivanii traktorov [Economic assessment of measures to improve environmental protection during the maintenance of tractors]. Molodyozhny, 2022, pp. 365-371.

7. Shisteev, A.V., D.V. Bebikov Tekhnicheskoe obsluzhivanie i remont traktorov Zoomlion RS v usloviyah Irkutskoj oblasti [Maintenance and repair of Zoomlion RS tractors in the conditions of the Irkutsk region]. Aktual'nye voprosy agrarnoj nauki, 2023, no. 46, pp. 35-44.

8. Shukhanov, S.N., Benetsky, V.P. Matematicheskoe opisanie dinamiki vygoraniya goryuchej smesi pri funkcionirovanii dvuhtoplivnogo dvigatelya UZAM-331.10 [Mathematical description of the dynamics of combustible mixture burnout during the operation of the dual-fuel engine UZAM-331.10]. Kurgan, 2022, pp. 3-6.

**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: 21.06.2023

Поступила после рецензирования и доработки / Revised: 24.06.2023

Дата принятия к печати / Accepted: 29.06.2023

### **Сведения об авторах**

Кривцов Сергей Николаевич – доктор технических наук, профессор кафедры Автомобильный транспорт ФГБОУ ВО “Иркутский национальный исследовательский технический университет”.

**Контактная информация:** ФГБОУ ВО “Иркутский национальный исследовательский технический университет”, 664074, Россия, Иркутская область, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, тел. 89086619729, e-mail: krivcov\_sergei@mail.ru; ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-0462-8455>.

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

**Контактная информация:** ФГБОУ ВО “Иркутский национальный исследовательский технический университет”, 664074, Россия, Иркутская область, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, тел. 89501116407, e-mail: tatyana\_krivcova1985@mail.ru.

Ячменёв Алексей Андреевич – магистрант кафедры Автомобильный транспорт ФГБОУ ВО “Иркутский национальный исследовательский технический университет”.

**Контактная информация:** ФГБОУ ВО “Иркутский национальный исследовательский технический университет”, 664074 Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, д. 83б тел. 89500850632, e-mail: alesha38@inbox.ru.

### **Information about authors**

Sergey N. Krivtsov – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Automobile Transport. Irkutsk National Research Technical University.

**Contact information:** Irkutsk National Research Technical University, 664074, Irkutsk Region, Russia, Irkutsk, 83 Lermontov str., tel. 89086619729, e-mail: krivcov\_sergei@mail.ru; ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-0462-8455>.

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

**Contact information:** Irkutsk National Research Technical University, 664074, Irkutsk Region, Russia, Irkutsk, 83 Lermontov str., tel. 89501116407, e-mail: tatyana\_krivcova1985@mail.ru.

Aleksey A. Yachmenev – graduate student of automobile transport department. Irkutsk national research technical university

**Contact information:** Irkutsk National Research Technical University, 664074, Irkutsk Region, Russia, Irkutsk, 83 Lermontov str., 89500850632, e-mail: alesha38@inbox.ru.



DOI 10.51215/2411-6483-2023-(2)47-27-35

УДК 621. 311

Научная статья

## ВЛИЯНИЕ НЕСИММЕТРИИ ФАЗНЫХ ТОКОВ НА УВЕЛИЧЕНИЕ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ

И.В. Наумов, Э.С. Федоринова, М.А. Якупова

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

**Аннотация.** В данной статье приводятся выводы, полученные в результате статистического анализа данных о пожарах, произошедших на территории Российской Федерации в период с 2017 по 2021 года. По результатам исследования установлено, что наибольшее число пожаров возникло по причине нарушения правил устройства и эксплуатации электрооборудования. При этом максимальное количество пожаров по данной причине произошло на трех группах объектов: здания, сооружения жилого сектора; транспортные средства; общественные здания, сооружения. Основная часть погибших и травмированных людей, а также наибольший прямой ущерб соответствуют группе объектов “здания, сооружения жилого сектора”. Из всех видов электротехнической продукции первое место по числу пожаров, количеству жертв и величине прямого материального ущерба в действующих ценах, занимают провода и кабели. Известно, что возникающие при несимметричном электропотреблении дополнительные тепловые потери, могут разрушать изоляцию нейтрального и фазного проводников. Это является причиной возникновения коротких замыканий и, как следствие, пожаров. По данным, установлено, что более 40% пожаров связаны с перегревом проводов и кабелей при увеличении токов в нейтральном проводнике в условиях несимметричного электропотребления. Таким образом, при выборе сечения токопроводящих жил проводов и кабелей, следует учитывать величину тока нулевой последовательности в нейтральном проводнике. Для снижения пожарной опасности в жилых зданиях и сооружениях, а также в электроустановках распределительных устройств, предлагается осуществлять выбор сечения кабелей и проводов на основании значения токовой нагрузки нейтрального проводника.

**Ключевые слова:** электрооборудование, возгорание, провод, кабель, несимметрия токов.

**Для цитирования:** Наумов И.В., Федоринова Э.С., Якупова М.А. Влияние несимметрии фазных токов на увеличение пожарной опасности. *Электронный научно-практический журнал “Актуальные вопросы аграрной науки”*. 2023; 2(47):27-35. DOI: 10.51215/2411-6483-2023-(2)47-27-35.

## THE EFFECT OF PHASE CURRENT ASYMMETRY ON THE INCREASE IN FIRE DANGER

Igor' V. Naumov, El'vira S. Fedorinova, Marina A. Yakupova

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

**Abstract.** This article presents the conclusions obtained as a result of a statistical analysis of data on fires that occurred on the territory of the Russian Federation in the period from 2017 to 2021. According to the results of the study, it was found that the largest number of fires arose due to violation of the rules for the construction and operation of electrical equipment. At the same time, the maximum number of fires for this reason occurred in three groups of objects: buildings, structures of the residential sector; vehicles; public buildings, structures. The bulk of the dead and injured people, as well as the greatest direct damage, correspond to the group of objects "buildings, structures of the residential sector". Of all types of electrical products, the first place in terms of the number of fires, the number of victims and the amount of direct material damage in current prices is occupied by wires and cables. It is known that additional heat losses that occur during unbalanced power consumption can destroy the insulation of the neutral and phase conductors. This causes short circuits and, as a result, fires. According to the data, it has been established that more than 40% of fires are associated with overheating of wires and cables with an increase in currents in the neutral conductor under conditions of asymmetric power consumption. Thus, when choosing the cross-section of conductors of wires and cables, one should take into account the value of the zero-sequence current in the neutral conductor. To reduce the fire hazard in residential buildings and structures, as well as in electrical installations of switchgear, it is proposed to select the cross-section of cables and wires based on the value of the current load of the neutral conductor.

**Keywords:** electrical equipment, ignition, wire, cable, current unbalance.

**For citation:** Naumov I.V., Fedorinova E.S., Yakupova M.A. The effect of phase current asymmetry on the increase in fire danger. *Electronic scientific-Practical journal "Actual issues of agrarian science"*. 2023; 2(47):27-35. DOI: 10.51215/2411-6483-2023-(2)47-27-35.

**Введение.** Несимметричные режимы работы систем электроснабжения характеризуются протеканием трех токов нулевой последовательности по нейтральному проводнику трехфазной четырехпроводной электрической сети. В таком случае, ток нулевой последовательности, который проходит через жилу с недостаточным сечением, может вызвать ее перегрев. Это часто приводит к однофазным коротким замыканиям (КЗ) и может быть причиной возгорания [4, 6]. При этом возникают не только токи нулевой последовательности, но и токи обратной последовательностей, которые приводят к нарушению баланса напряжений и перегрузке элементов компонентов системы. Кроме того, несимметричные режимы могут вызвать перенапряжения в сети и повреждение оборудования. Причиной несимметрии фазных токов могут быть различные факторы, например, неисправности в электрических цепях, неравномерное распределение нагрузок по фазам, неправильно подобранные проводники и

элементы системы электроснабжения, а также ошибки при проектировании и монтаже электрооборудования.

**Целью** статьи является анализ воздействия несимметрии токов в фазах на увеличение пожарной опасности.

Согласно указанной цели были поставлены следующие **задачи**:

– провести анализ пожаров и их последствий в России за долгосрочный период, обратив особое внимание на причину нарушения правил устройств и эксплуатации электрического оборудования (НПУЭ ЭО);

– разработать рекомендации по возможному снижению части таких нарушений и соответствующей минимизации условий для возникновения пожаров, возникающих вследствие несимметричного электропотребления.

**Материал и методы.** Теоретическую и методологическую базу исследования представляют научные труды российских ученых и специалистов, посвященных исследованию несимметричных режимов работы электрических сетей. Информационную базу исследования составили аналитические материалы Министерства чрезвычайных ситуаций, опубликованные в открытой печати. В работе и использовались общенаучные методы аналитической оценки, численного анализа и визуализации.

**Основные результаты.** В соответствии с [9, 10] доля пожаров, возникающих по причине несимметрии фазных токов, в общем количестве пожаров по причине НПУЭ ЭО составляет более 30%.

На основании рисунка 1 можно сделать вывод о тенденции изменения количества пожаров, связанных с данной причиной, в динамике за долгосрочный период.

Из рисунка 1 видно, что в период с 2017 по 2020 годы произошло значительное увеличение числа пожаров (с 41051 до 52835). В 2021 году количество пожаров увеличилось почти на 29% (58739) по этой же причине [5-10].



Рисунок 1 – Динамика количества пожаров в целом по России по причине НПУЭ ЭО за 2017-2021 гг.

Figure 1 – Dynamics of the number of fires in Russia as a whole due to NEPU EE for 2017-2021

Рисунок 2 отображает изменение прямого материального ущерба от пожаров в России в целом, а также от пожаров, вызванных НПУЭ ЭО в

период с 2017 по 2021 годы. Как видно из рисунка 2 прямой материальный ущерб составил: в 2017 г. – 13 767 378; а в 2021 г. – 16 248 694 тыс. руб. (увеличение на 15%).



Рисунок 2 – Динамика изменения прямого материального ущерба в действующих ценах от пожаров в целом по России и от пожаров, возникших по причине НПУЭ ЭО за период 2017-2021 гг.

Figure 2 – Dynamics of changes in direct material damage in current prices from fires in Russia as a whole and from fires that occurred due to the NEPU EE for the period 2017-2021

При этом количество погибших и травмированных людей на этих пожарах увеличивается следующим образом (рисунок 3): погибших - с 1461 (2017 г.) до 1924 чел. (2021 г.) (24%); травмированных - с 1817 (2017 г.) до 1945 чел. (2021 г.) (7%).

Сведения, представленные в [9, 10], позволяют сделать вывод о том, что количество пожаров по причине НПУЭ ЭО занимает второе место (более 25%) из общего количества пожаров. Таким образом, один из четырех пожаров возникает по причине НПУЭ ЭО. Более 40% пожаров, вызванных НПУЭ ЭО, происходят из-за перегрева элементов электрической сети, при воздействии увеличенных токов в нейтральном проводнике, причиной которых являлось несимметричное электропотребление [4, 5-8] (рисунок 4).



Рисунок 3 – Динамика числа погибших и число травмированных людей на пожарах в целом по России и по причине НПУЭ ЭО за 2017–2021 гг.

Figure 3 – Dynamics of the number of deaths and the number of injured people in fires in general in Russia and due to NEPU EE or 2017-2021



Рисунок 4 – Динамика распределения пожаров в городах России по основным причинам их возникновения за 2017-2021 гг.

Figure 4 – Dynamics of the distribution of fires in Russian cities by the main causes of their occurrence in 2017-2021

Провода и кабели занимают первое место среди всех видов электротехнической продукции, которые подвергаются повреждениям из-за дополнительной тепловой нагрузки при несимметричном электропотреблении [1 - 3]. Это приводит к большому числу пожаров, жертв и материальному ущербу. Сведения, представленные в [9, 10] позволяют сделать вывод о том, что количество пожаров, причиной которых стали провода и кабели имеют тенденцию к росту в среднем на 8% ежегодно за рассматриваемый период.

Известно, что основной причиной воспламенения проводов и кабелей является перегрев токоведущей жилы, вызванный КЗ или перегрузкой. Сосредоточение кабелей в ограниченном пространстве, в случае воспламенения, может привести к серьезному ущербу. Поэтому важно следить за токовой нагрузкой на линии.

Согласно статистическим данным, от КЗ в системах электроснабжения, происходит в среднем 56% пожаров, при токовых перегрузках в линиях – 32.8%; от теплового воздействия мест соединения токоведущих частей в результате образования больших переходных сопротивлений – 4.6%; от других аварийных режимов – 6.6% [6, 9, 10].

При выборе сечения проводов и кабелей для токопроводящих жил необходимо учитывать величину тока нулевой последовательности, который протекает по нейтральному проводнику.

На кафедре электроснабжения и электротехники Иркутского ГАУ разработан метод и программное обеспечение расчетов при определении допустимых температурных перегрузок проводов линий электропередачи

при несимметричном режиме работы системы электроснабжения, которые позволяют получить предельные значения токов в нейтральном проводнике (таблица) [11].

Таблица – Максимально-допустимое значение тока в нейтральном проводе трёхфазного четырехпроводной электрической сети для внутренних электрических проводок жилых зданий

Table – The maximum permissible value of the current in the neutral wire of a three-phase four-wire electrical network for internal electrical wiring of residential buildings

Сечение, мм <sup>2</sup>	Значение максимального тока в нейтральном проводнике с алюминиевой жилой в ПВХ изоляции, А	Значение максимального тока в нейтральном проводнике с медной жилой в ПВХ изоляции, А
2,5	2.62	3.41
4	3.74	5.23
6	5.07	6.56
10	7.46	9.80
16	10.44	13.48
25	14.49	19.20
35	18.95	24.70
50	24.86	32.31
70	31.97	41.52
95	40.22	52.25
120	47.87	62.32

Выбор сечения кабелей и проводов воздушных линий на основании значений допустимых токов таблицы позволит существенно снизить пожарную опасность в жилых зданиях и сооружениях, а также в электроустановках распределительных устройств.

**Выводы.** На основе выполненного анализа статистических данных было установлено, что наиболее пожароопасный вид электротехнических изделий – провода и кабели, а самые опасные виды аварийных режимов электрических сетей, создающие наибольшую вероятность возникновения пожаров, являются КЗ, возникшие вследствие несимметричного электропотребления.

На основании произведенных исследований получены допустимые значения сечений проводникового материала при несбалансированном электропотреблении, что позволяет снизить риски возникновения пожаров на объектах промышленного производства и жилого сектора агропромышленного комплекса.

#### Список литературы

1. Аушев, И.Ю. Влияние времятоковой характеристики аппаратов защиты на пожарную безопасность кабельных изделий / И.Ю. Аушев // Наука и техника. 2010. – №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-vremyatokovoy-harakteristiki-apparatov-zaschity-na-pozharnuyu-bezopasnost-kabelnyh-izdeliy> (дата обращения: 23.01.2022).

2. Григорьева, М.М. Оценка пожарной опасности режимов электрической перегрузки кабельных линий / М.М. Григорьева, Г.В. Кузнецов, П.А. Стрижак // Пожаровзрывобезопасность. – 2010. – Т. 19. – № 9. – С. 9-14.

3. Монаков, В.К. Исследование процесса воспламенения полихлорвиниловой изоляции кабеля (пум) / В.К. Монаков, С.А. Бушманов // Пожаровзрывобезопасность. – 2009. – Т. 18. – № 4. – С. 29-32.

4. Наумов, И.В. Влияние несимметрии фазных токов в электрических сетях напряжением 0,38 кВ на пожарную опасность в жилых и производственных помещениях Амурской области / И.В. Наумов, М.В. Шевченко, П.П. Кожушко // Тенденции развития науки и образования. – 2017. – № 30-2. – С. 24-27. – Текст: электронный // eLIBRARY.RU: научная электронная библиотека. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30095743> (дата обращения: 20.12.2022). – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.

5. Наумов, И.В. Влияние несимметрии фазных токов в сельских распределительных электрических сетях 0.38 кВ на пожарную опасность в Иркутской области / И.В. Наумов, Е.Б. Селиванов. – (Механизация. Электрификация). – Текст: непосредственный // Вестник ИрГСХА. – 2015. – Вып. 66. – С. 111-116.

6. Наумов, И.В. К вопросу о возникновении пожароопасных ситуаций при несимметричном электропотреблении / И.В. Наумов, Д.Н. Карамов. – DOI: 10.24223/1999-5555-2021-14-1-69-76 // Надежность и безопасность энергетики. – 2021. – Т. 14, № 1. – С. 69-76. – Текст: электронный // eLIBRARY.RU: научная электронная библиотека. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46349337> (дата обращения: 14.01.2022).

7. Наумов, И.В. К вопросу о пожарной безопасности при строительстве индивидуальных жилых домов / И.В. Наумов. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. – 2022. – Том 12, № 3. – С. 350-361.

8. Наумов, И.В. Симметрирование режимов работы внутренних электрических трехфазных сетей как средство снижения пожарной опасности / И.В. Наумов. – Текст : электронный // Актуальные вопросы аграрной науки : электронный научно-практический журнал. – 2021. – Вып. 38, март. – С. 19-26. – URL: <http://agronauka-irsau.ru/files/v38.pdf> (дата обращения: 21.12.2022).

9. Обстановка с пожарами, возникшими в Российской Федерации в 2011-2020 гг. от электрических изделий и устройств на различных объектах / В.И. Сибирко, Е.Н. Малёмина, В.С. Гончаренко, В.А. Мартынов. – DOI: 10.37657/vniipro.avpb.2021.62.74.009 // Актуальные вопросы пожарной безопасности. – 2021. – № 4 (10). – С. 65-74. – Текст : электронный // eLIBRARY.RU: научная электронная библиотека. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47311617> (дата обращения: 25.12.2022). – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.

10. Пожары и пожарная безопасность в 2021 году. Статистика пожаров и их последствий : статистический сборник / В.С. Гончаренко, Т.А. Чечетина, В.И. Сибирко [и др.]. – Балашиха: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2022. – 114 с. – Текст: непосредственный.

11. Methodological Bases of the Fire Hazard Reduction in Internal and External 0.38 kV Electrical Networks with Unbalancing Power Consumption / I.V. Naumov, S.V. Podyachikh, M.A. Yakupova, E.S. Fedorinova. – DOI: 10.1088/1755-1315/1045/1/012145 // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: II International scientific and practical conference "Ensuring sustainable development in the context of agriculture, green energy, ecology and earth science", Smolensk, Russian Federation, 23-27 января 2022 года. Vol. 1045. – Smolensk, Russian Federation: IOP Publishing Ltd, 2022. – P. 012145. – Text: electronic // eLIBRARY.RU: научная электронная библиотека. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49993252> (data accessed: 25.02.2023). – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.

### References

1. Aushev, I.Yu. Vliyanie vremyatokovoj harakteristiki apparatov zashchity na pozharnuyu bezopasnost' kabel'nyh izdelij [Influence of time-current characteristics of protection devices on fire safety of cable products]. Nauka i tekhnika, 2010, no. 1. <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-vremyatokovoy-harakteristiki-apparatov-zaschity-na-pozharnuyu-bezopasnost-kabelnyh-izdeliy> (data obrashcheniya: 23.01.2022).
2. Grigor'eva, M.M. et al. Ocenka pozharnoj opasnosti rezhimov elektricheskoy peregruzki kabel'nyh linij [Fire hazard assessment of electrical overload modes of cable lines]. Pozharovzryvbezopasnost'. 2010, vol. 19, no. 9, pp. 9-14.
3. Monakov, V.K., Bushmanov S.A. Issledovanie processa vosplamneniya polihlorvinilovoj izolyacii kabelya (nym) [Investigation of the ignition process of PVC cable insulation]. Pozharovzryvbezopasnost'. 2009, vol. 18, no. 4, pp. 29-32.
4. Naumov, I.V. et al. Vliyanie nesimmetrii faznyh tokov v elektricheskikh setyah napryazheniem 0,38 kV na pozharnuyu opasnost' v zhilyh i proizvodstvennyh pomeshcheniyah Amurskoj oblasti [The effect of phase current asymmetry in 0.38 kV electrical networks on fire hazard in residential and industrial premises of the Amur Region]. Tendencii razvitiya nauki i obrazovaniya. 2017, no. 30-2, pp. 24-27. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30095743> (data obrashcheniya: 20.12.2022).
5. Naumov, I.V., Selivanov, E.B. Vliyanie nesimmetrii faznyh tokov v sel'skikh raspredelitel'nyh elektricheskikh setyah 0.38 kV na pozharnuyu opasnost' v Irkutskoj oblasti [The effect of phase current asymmetry in rural 0.38 kV distribution electric networks on fire hazard in the Irkutsk region]. Vestnik IrGSHA. 2015, vol. 66, pp. 111-116.
6. Naumov, I.V., Karamov, D.N. K voprosu o vozniknovenii pozharoopasnyh situacij pri nesimmetrichnom elektropotreblenii [On the issue of the occurrence of fire-hazardous situations with asymmetric power consumption]. DOI: 10.24223/1999-5555-2021-14-1-69-76 // Nadezhnost' i bezopasnost' energetiki. 2021, vol. 14, no. 1, pp. 69-76. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46349337> (data obrashcheniya: 14.01.2022).
7. Naumov, I.V. K voprosu o pozharnoj bezopasnosti pri stroitel'stve individual'nyh zhilyh domov [On the issue of fire safety in the construction of individual residential buildings]. Izvestiya vuzov. Investicii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'. 2022, vol. 12, no. 3, pp. 350-361.
8. Naumov, I.V. Simmetrirovaniye rezhimov raboty vnutrennih elektricheskikh trekhfaznyh setej kak sredstvo snizheniya pozharnoj opasnosti [Symmetry of operating modes of internal three-phase electrical networks as a means of reducing fire danger]. Aktual'nye voprosy agrarnoj nauki. 2021, vol. 38, pp. 19-26. <http://agronauka-irsau.ru/files/v38.pdf> (data obrashcheniya: 21.12.2022).
9. Obstanovka s pozharami, voznikshimi v Rossijskoj Federacii v 2011-2020 gg. ot elektricheskikh izdelij i ustrojstv na razlichnyh ob"ektah [The situation with fires that occurred in the Russian Federation in 2011-2020 from electrical products and devices at various facilities]. Aktual'nye voprosy pozharnoj bezopasnosti. 2021, no. 4 (10), pp. 65-74. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47311617> (data obrashcheniya: 25.12.2022).
10. Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2021 godu. Statistika pozharov i ih posledstvij : statisticheskij sbornik [Fires and fire safety in 2021. Statistics of fires and their consequences : statistical collection ]. Balashiha: FGBU VNIPO MCHS Rossii, 2022, 114 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: 19.06. 2023

Поступила после рецензирования и доработки / Received: 25.06. 2023

Дата принятия к печати / Accepted: 29.06. 2023

### **Сведения об авторах**

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

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

Федоринова Эльвира Сергеевна – ассистент кафедры электроснабжения и электротехники Иркутского государственного аграрного университета имени А.А. Ежевского..

**Контактная информация:** ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, 664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, пос. Молодежный, тел. 89041179752, e-mail: fec89834052365@yandex.ru. ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-9774-9015>.

Якупова Марина Андреевна – ассистент кафедры электроснабжения и электротехники Иркутского государственного аграрного университета имени А.А. Ежевского.

**Контактная информация:** ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, 664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, пос. Молодежный, тел. 89086642241, e-mail: yakupovamarina199@yandex.ru; ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-5694-8771>.

### **Information about authors**

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

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

Elvira S. Fedorinova – Assistant of the Department of Power Supply and Electrical Engineering, Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky.

**Contact information:** FSBEI HE Irkutsk SAU, 664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk district, pos. Molodezhny, tel. 89041179752, e-mail: fec89834052365@yandex.ru. ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-9774-9015>.

Marina A. Yakupova – Assistant of the Department of Power Supply and Electrical Engineering, Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky.

**Contact information:** FSBEI HE Irkutsk SAU, 664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk district, pos. Molodezhny, tel. 89086642241, e-mail: yakupovamarina199@yandex.ru; ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-5694-8771>.



DOI 10.51215/2411-6483-2023-(2)47-36-46

УДК 629.114.2.004.54

Научная статья

## РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ УТИЛИЗАЦИИ ОТЛОЖЕНИЙ В ЦЕНТРОБЕЖНЫХ МАСЛООЧИСТИТЕЛЯХ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Н.О. Шелкунова, И.Б. Егоров, В.Н. Хабардин

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

**Аннотация.** В настоящее время многие модели автотракторных двигателей оснащены центробежными маслоочистителями. Они предназначены для очистки масла от продуктов износа двигателя, сгорания топлива, старения масла и пыли, поступающей в цилиндры двигателей с воздухом. В процессе очистки эти продукты накапливаются на стенках ротора центрифуги в виде нефтесодержащих отложений. Их удаляют при техническом обслуживании машин одновременно со сменой масла в двигателе. В результате отложения становятся отходами производства, которые в соответствии с ФККО относятся к III классу опасности (умеренно опасные отходы). Такие отходы представляют опасность для окружающей среды и должны быть утилизированы на специализированном предприятии. Проблема состоит в том, что до настоящего времени в сельскохозяйственных предприятиях, например, Иркутской области еще не отлажено должное обращение с этими отходами. Решению этой проблемы и посвящена настоящая работа. Ее цель – показать необходимость и возможность утилизации отложений центробежных маслоочистителей. В процессе ее выполнения проанализирована конструкция названного маслоочистителя как объекта накопления отложений, систематизированы методы их утилизации и осуществлен выбор наиболее целесообразного метода. Установлено, что в сельскохозяйственных предприятиях Иркутской области при техническом обслуживании центробежных маслоочистителей ДВС ежегодно поступает в отходы до 12.5 т нефтесодержащих отложений, утилизация которых не производится в соответствии с существующими требованиями к охране окружающей среды. К сожалению, этот объем нефтесодержащих отложений поступает в природную среду. Предотвращения ущерба окружающей среде возможно на основе организации сбора, накопления, транспортирования и обезвреживания отложений маслоочистителей термическим методом (в инсинераторах) с последующим захоронением полученных продуктов сгорания или их использованием в других сферах производства.

**Ключевые слова:** двигатели внутреннего сгорания, центробежные маслоочистители, отложения, утилизация.

**Для цитирования:** Шелкунова Н.О., Егоров И.Б., Хабардин В.Н. Решение проблемы утилизации отложений в центробежных маслоочистителях двигателей внутреннего сгорания. *Электронный научно-практический журнал “Актуальные вопросы аграрной науки”*. 2023; 2 (47):36-46. DOI: 10.51215/2411-6483-2023-(2)47-36-46.

## SOLVING THE PROBLEM OF SEDIMENT DISPOSAL IN CENTRIFUGAL OIL CLEANER INTERNAL COMBUSTION ENGINES

Natalia O. Shelkunova, Igor' B. Egorov, Vasilij N. Habardin

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

**Abstract.** Currently, many models of automotive and tractor engines are equipped with centrifugal oil cleaners. They are designed to clean oil from engine wear products, fuel combustion, oil aging and dust entering engine cylinders with air. During the cleaning process, these products accumulate on the walls of the centrifuge rotor in the form of oil-containing deposits. They are removed during the maintenance of machines at the same time as changing the oil in the engine. As a result, deposits become industrial waste, which, in accordance with the FCC, are classified as hazard class III (moderately hazardous waste). Such waste is hazardous to the environment and must be disposed of at a specialized company. The problem is that, to date, agricultural enterprises, for example, in the Irkutsk region, have not yet established proper handling of these wastes. The present work is devoted to the solution of this problem. Its purpose is to show the necessity and possibility of disposal of deposits from centrifugal oil cleaners. In the process of its implementation, the design of the named oil cleaner as an object of accumulation of deposits was analyzed, methods for their disposal were systematized, and the most appropriate method was selected. It has been established that in the agricultural enterprises of the Irkutsk region, during the maintenance of centrifugal oil cleaners of the internal combustion engine, up to 12.5 tons of oil-containing deposits annually go to waste, the disposal of which is not carried out in accordance with the existing requirements for environmental protection. Unfortunately, this volume of oil-bearing deposits enters the natural environment. Prevention of damage to the environment is possible on the basis of organizing the collection, accumulation, transportation and neutralization of deposits of oil cleaners by the thermal method (in incinerators) with subsequent disposal of the resulting combustion products or their use in other areas of production.

**Keywords:** internal combustion engines, centrifugal oil cleaners, deposits, disposal.

**For citation:** *Shelkunova N.O., Egorov I.B., Habardin V.N. Solving the problem of sediment disposal in centrifugal oil cleaner internal combustion engines. Electronic scientific-Practical journal “Actual issues of agrarian science”. 2023; 2 (47):36-46. DOI: 10.51215/2411-6483-2023-(2)47-36-46.*

**Введение.** Масляный фильтр – устройство, являющееся частью системы смазки двигателя внутреннего сгорания (ДВС), главная задача которого – очистка циркулирующего по системе масла от твёрдых частиц, примесей и осадочных отложений [14]. В процессе работы ДВС моторное масло засоряется механическими примесями, образуясь в результате износа деталей, и приобретает абразивные свойства. Такое масло уже не смазывает двигатель, а лишь ускоряет износ его деталей. Поэтому масло в ДВС необходимо очищать.

Целью работы является описание результатов анализа конструкции маслоочистителя двигателей внутреннего сгорания как объекта накопления отложений и выделение метода их утилизации.

**Основные результаты.** В ДВС в качестве элемента, очищающего моторное масло, получили широкое распространение фильтры центробежного типа (рисунок 1) – центробежные масляные фильтры (ЦМФ). Очистка масла в таких фильтрах основана на принципе использования центробежных сил.

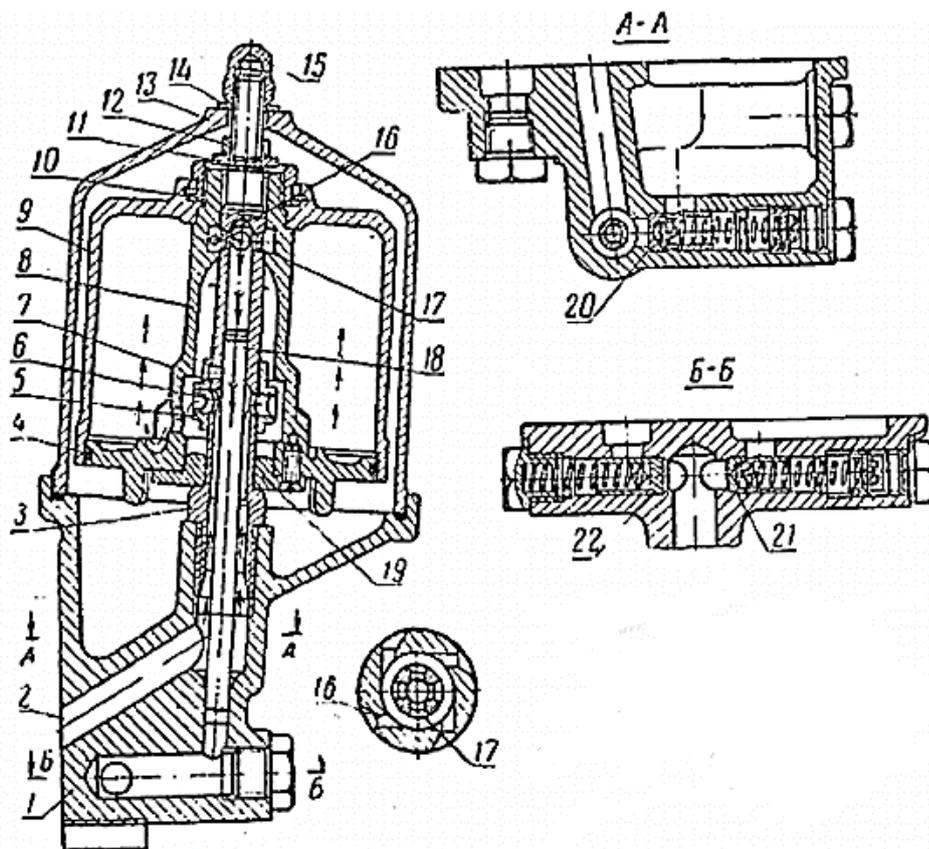


Рисунок 1 – Устройство центробежного масляного фильтра ДВС:  
 1 - корпус; 2 - подводящий канал; 3 - ось ротора; 4 - резиновое кольцо; 5 - насадок;  
 6 - выходные отверстия; 7 - внутренний стакан; 8 - остов ротора; 9 - ротор;  
 10, 12 - гайки; 11, 14 - шайбы; 13 - колпак; 15 - колпачковая гайка;  
 16 - тангенциальные отверстия; 17 - радиальные отверстия; 18 - маслоотводящая  
 трубка; 19 - нижняя крышка ротора; 20 - предохранительный клапан; 21- сливной  
 клапан; 22 - редукционный клапан

Figure 1 – ICE centrifugal oil filter device:  
 1 - body; 2 - supply channel; 3 - axis of the rotor; 4 - rubber ring; 5 - nozzle; 6 - outlet holes; 7  
 - inner glass; 8 - rotor frame; 9 - rotor; 10, 12 - nuts; 11, 14 - washers; 13 - cap; 15 - cap nut;  
 16 - tangential holes; 17 - radial holes; 18 - oil outlet tube; 19 - bottom cover of the rotor; 20 -  
 safety valve; 21 - drain valve; 22 - pressure reducing valve

Нагнетание масла в полость центрифуги осуществляется через отверстия в оси 3. Так как подача масла осуществляется с высокой скоростью, то оно ударяется о внутреннюю часть ротора 9 и провоцирует его вращение под действием реактивных сил. При нормальном давлении масла ротор 9 вращается с частотой вращения около 6000 об/мин. Возникающая в этот момент центробежная сила выталкивает из масла примеси и загрязнения, которые остаются в виде отложений на внутренней поверхности ротора фильтра (рисунок 2 а). После этого очищенное моторное масло подается в основную магистраль системы через маслоотводящую трубку 18 [15].

Отложения на внутренней стенке ротора 9 представляют собой густую (пластичную) субстанцию (рисунок 2 б), состоящую из масла, сажи, нагара и продуктов износа деталей двигателя. В связи с этим отложения могут быть отнесены к III классу опасности отходов. Они нарушают экологическую обстановку, на восстановление которой уходит около 10 лет. Поэтому отложения нужно утилизировать в соответствии с требованиями к отходам производства этого класса [13, 14].



Рисунок 2 – Накопление отложений в роторе центробежного маслоочистителя (а) и их внешний вид на фоне ротора (б)

Figure 2 – Accumulation of deposits in the rotor of a centrifugal oil cleaner (a) and their appearance against the background of the rotor (б)

Средняя суммарная годовая масса отложений в центробежных маслоочистителях ДВС  $m_{от}$  может быть вычислена по формуле

$$m_{от} = \tau n_M i,$$

где  $\tau$  – средняя годовая наработка машины, оснащенной ДВС с центробежным маслоочистителем, мотооч;  $n_M$  – число этих машин;  $i$  – средняя интенсивность накопления массы осадка в роторе центробежного маслоочистителя, г/моточ.

Интенсивность накопления отложений в роторе центрифуги дизельных ДВС находится в пределах от 1 до 4 г на моточас [17]. Тогда  $i$  равно 2.5 г/моточ:  $(1 + 4)/2 = 2.5$ . Следовательно, за 1000 моточасов в роторе маслоочистителя дизельного ДВС в среднем накапливается 2.5 кг отложений. Таким образом, при использовании 5000 тракторов и комбайнов агропромышленного комплекса Иркутской области в их центробежных масляных фильтрах накапливается до 12.5 т отложений, что получено в соответствии с приведенной формулой – при  $\tau = 1000$ ,  $n_M = 5000$ ,  $i = 2.5$ . Такая масса нефтесодержащих продуктов при попадании в окружающую среду наносит огромный ущерб природе и здоровью человека.

Отчистка центробежного масляного фильтра от отложений, как правило, выполняется одновременно с заменой масла в двигателе. Периодичность выполнения этого вида работ устанавливается заводом-изготовителем ДВС. Например, для тракторов марок МТЗ-80, МТЗ-82 замена масла и отчистка ротора центробежного фильтра выполняется каждые 250 моточасов работы двигателя [2].

Следует отметить, что в настоящее время современные бензиновые двигатели не оборудуют центробежными маслоочистителями, поскольку считается, что их конструкция сложнее, чем механических с фильтрующим элементом из пористого материала. Замена механических фильтров при ТО осуществляется быстрее, чем очистка центробежных фильтров от отложений, а процесс их утилизации отлажен [18]. Однако многие модели автотракторных дизельных двигателей сегодня оснащены центробежными маслоочистителями, и эта тенденция сохранится в дальнейшем, так как их применение на двигателях высокой мощности более эффективно, чем бумажных и тканевых фильтроэлементов.

В результате поиска и анализа информации, полученной в сети Интернет и литературных источниках, нами не найдена возможность утилизации отложений на основе рециклинга (их повторного использования в качестве нового сырья), регенерации (их возврата в производственный цикл после соответствующей подготовки), рекуперации (извлечения полезных компонентов). Поэтому утилизация отложений может быть осуществлена только на основе их сжигания с последующим захоронением продуктов сгорания. Проведенные нами наблюдения показали, что сельскохозяйственные предприятия Иркутской области эту работу не проводят, что недопустимо.

Отложения в центробежных маслоочистителях ДВС по своему составу и свойствам больше всего схожи с “отходами очистки смеси нефтепродуктов отработанных от механических примесей, содержащих нефтепродукты 15% и более” (код по ФККО – 74363111333). Это означает, что и методы их утилизации будут аналогичными. По этой причине в дальнейшем приведем и проанализируем основные известные методы утилизации отходов производства и выявим возможность их применения для утилизации отходов по названному коду.

*Термический метод (инсинерация)* – метод обезвреживания и утилизации отходов при очень высоких температурах (более 900°C). Перед началом процесса отходы смешивают с песком. После чего их засыпают в специальные крутящиеся печи, в которых создается отрицательное давление, необходимое для того чтобы продукты сгорания не испарялись в атмосферу [16]. Этот метод широко применяют для обезвреживания нефтесодержащих отходов, например, ветоши.

*Биологический метод* основан на способности микроорганизмов перерабатывать нефтесодержащие отходы в простые соединения, накапливать органическое вещество и включать его в круговорот углерода. Биологический метод обезвреживания является наиболее экологически чистым, но область его применения ограничена конкретными условиями применения: диапазоном активности биопрепаратов, температурой, кислотностью, количеством отходов, аэробными условиями [3]. Этот метод может быть применен при очистке почвы от нефтепродуктов. При глубоких загрязнениях почвы нефтепродуктами его применение становится невозможным. Если считать, что в отложениях более 90% – это нефтепродукты, то биологический метод их утилизации окажется непригодным.

*Механический метод утилизации* – метод, при котором твердые материалы дробят или измельчают путем резания, распиливания, разламывания, раскалывания, истирания, раздавливания. Специальное оборудование – дробилки и барабанные мельницы. Сыпучие и кусковые материалы просеивают, пропуская через грохоты или сепараторы. Из растворов, порошков, расплавов формируют гранулы, брикеты, таблетки [12]. Этот метод не приемлем для утилизации отложений центробежных маслоочистителей, поскольку они представляют собой пластичную субстанцию.

*Химический метод утилизации* отходов основан на использовании методов выщелачивания (экстрагирования), растворения и кристаллизации перерабатываемых материалов, в основе которых лежат физико-химические процессы [20]. Этот метод мало приемлем, так как отложения центробежных маслоочистителей представляют собой сложный химический состав.

*Физико-химический метод утилизации* отходов не обладает универсальностью, однако может быть использован при получении из отходов полезного продукта. Примером этого метода является переработка резины, резинотканевых отходов, автомобильных покрышек, резиновых рукавов и шлангов и другой продукции резинотехнической промышленности [10]. Этот метод может быть применен при переработке отложений в пластмассы и другие аналогичные материалы. Однако пока он еще не нашел широкого практического применения [19].

Таким образом, из проведенного анализа следует, что утилизация отложений в центробежных маслоочистителях, как решение проблемы, может быть осуществлена на основе термического метода. Он может быть реализован

на практике при применении инсинераторов (рисунок 3), которые в настоящее время выпускаются в нашей стране в широком ассортименте [1, 5-8].

Инсинератор – это установка для утилизации различных видов отходов путем высокотемпературного контролируемого обезвреживания с последующей очисткой отходящих газов [9]. Основной функцией инсинератора является безопасное обезвреживание отходов путем сжигания органической составляющей отходов и выпаривании воды. Это позволяет значительно уменьшить начальный объем отходов. Кроме того, отходы подвергаются почти 100-процентному обеззараживанию вследствие высоких температур. Образовавшийся пепел в большинстве случаев является не опасным для окружающей среды и подлежит захоронению на полигонах твёрдых бытовых отходов. Дымовые газы, содержащие значительное количество загрязнителей, проходят многоступенчатую очистку и выбрасываются в атмосферу, когда содержание загрязнителей в них падает до установленных норм.



Рисунок 3 – Инсинератор дизельный ECO-1000

Figure 3 – Diesel incinerator ECO-1000

В устройствах можно утилизировать отходы любого класса опасности. Мусоросжигатель уничтожает нефтяной шлам, осадок, пластмассу и прочие виды жидких и твердых отходов.

К недостаткам термического метода утилизации отходов можно отнести высокую стоимость оборудования (цена на инсинераторы начинается от 500000 руб.) и потребность в большом количестве топлива (дизельной топливо или природный газ).

В настоящее время в Иркутской области утилизацией нефтесодержащих отходов с помощью инсинераторов занимаются компании Эко-Спектрум и ЭкоАрхитектура [4, 11]. Однако эти предприятия не утилизируют отложения центробежных маслоочистителей ДВС, поскольку сельскохозяйственные

предприятия области не осуществляют сбор отходов и их доставку на переработку в названные компании.

**Выводы:** 1. Установлено, что в сельскохозяйственных предприятиях Иркутской области при техническом обслуживании центробежных маслоочистителей ДВС ежегодно поступает в отходы до 12,5 т нефтесодержащих отложений, утилизация которых не производится в соответствии с существующими требованиями к охране окружающей среды.

2. Решение этой проблемы возможно на основе организации сбора, накопления, транспортирования и обезвреживания отложений маслоочистителей термическим методом (в инсинераторах) с последующим захоронением полученных продуктов сгорания или их использованием в других сферах производства.

### Список литературы

1. Балабанов, В.Б. Полимерно-битумные вяжущие, пластифицированные отработанными автомобильными маслами / В.Б. Балабанов, А.В. Романовская, И.М. Климентьева // Вестник ИрГТУ. – 2013. – №6(76). – С.137-143.
2. Беларусь 80.1/82.1/820. Руководство по эксплуатации / Спецтехника ВЕЛИКАН [Электронный ресурс]. – Режим доступа <https://mtz.ru/novosti/48-belarus-80-1-82-1-820-rukovodstvo-po-ekspluatatsii#a5> - 29.03.2023.
3. Биологические методы / StudRef [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://studref.com/403957/ekologiya/biologicheskie\\_metody](https://studref.com/403957/ekologiya/biologicheskie_metody) - 02.05.2023
4. Введен в эксплуатацию инсинератор HURIKAN (УРАГАН) 1000 в Иркутской области на ТБО / Eco-Spectrum [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ecospectrum.ru/news/1538> - 03.04.2023.
5. ГОСТ 12.1.007-1976. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности. – Москва: Изд-во стандартов, 1976. – 7 с.
6. ГОСТ 30772-2001. Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Термины и определения. – Минск: Изд-во стандартов, 2002. – 20 с.
7. ГОСТ 53692-2009. Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Этапы технологического цикла отходов. Продукция органического производства. – Москва: Стандартинформ, 2019. – 20 с.
8. ГОСТ 56828.17-2017. Наилучшие доступные технологии. Ресурсосбережение. Стратегии и методы термической обработки опасных отходов. – Москва: Стандартинформ, 2019. – 21 с.
9. Инсинераторная установка для утилизации отходов / Про мусор и отходы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://promusor.info/machines/utilizacziya-othodov-insinerator> - 04.04.2023.
10. Методы переработки отходов / МегаОбучалка [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://megaobuchalka.ru/8/8420.html> - 27.04.23
11. Отходы нефтепродуктов и отходы содержащие нефтепродукты / Утилизация и переработка промышленных отходов группой компаний ЭкоАрхитектура – Иркутск [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://irkutsk.eko-a.ru/utilizatsiya\\_otkhodov/otkhody\\_nefteproduktov](https://irkutsk.eko-a.ru/utilizatsiya_otkhodov/otkhody_nefteproduktov) - 27.03.2023.
12. Перерабатываемые отходы / GruntEco [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://grunteco.ru/articles/pererabotka-othodov/#:~:text=Механические.%20Твердые%20материалы%20дробят%20или,в%20полезные%20продукты%20органических%20остатков> – 09.05.23.

13. Приказ Росприроднадзора от 22.05.2017 № 242 (ред. от 02.11.2018) "Об утверждении Федерального классификационного каталога отходов" (с изм. и доп., вступ. в силу с 04.10.2021).

14. Прохоров, В.Ю. Утилизация и вторичное использование отработанных смазочных материалов транспортных и транспортно-технологических машин / В.Ю. Прохоров // Труды Международного симпозиума Надёжность и качество. – 2017, том 2. – 235 с.

15. Смазочная система / Тракторы и автомобили [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://bibliotekar.ru/spravochnik-173-traktory-avtomobili/60.htm> - 01.04.2023.

16. Термическая утилизация отходов / Утилитсервис [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://utiltumen.ru/термическая-утилизация-отходов-сжиг/>.

17. Технология диагностирования тракторов / В.И. Бельских [и др.]; под ред. В.И. Бельских. – М.: ГОСНИТИ, 1973. – 280 с.

18. Утилизация масляных фильтров в России / Экспертный журнал о мусоре, отходах производства [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://vseomusore.com/utilizatsiya/utilizatsiya-maslyanyh-filtrov-v-rossii-zabota-ob-ekologii-i-perspektivnyj-biznes/> - 23.04.2023.

19. Утилизация шлама нефтепродуктов / Экология и защита окружающей среды [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://gupecosistem.ru/utilizatsiya-shlama-nefteproduktov/> - 20.04.2023.

20. Химические процессы переработки отходов / Переработка мусора [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ztbo.ru/o-tbo/lit/pererabotka-promishlennix-otxodov/khimicheskie-protsessy-pererabotki-otkhodov> - 04.05.2023.

### References

1. Balabanov, V.B. et all. Polimerno-bitumnyye vyazhushchie, plastificirovannyye otrabotannymi avtomobil'nymi maslami [Polymer-bitumen binders plasticized with used automotive oils]. Vestnik IrGTU, 2013, no. 6(76), pp. 137-143.

2. Belarus 80.1/82.1/820. Rukovodstvo po ekspluatatsii [User Manual ]. <https://mtz.ru/novosti/48-belarus-80-1-82-1-820-rukovodstvo-po-ekspluatatsii#a5> - 29.03.2023.

3. Biologicheskie metody [Biological methods]. [https://studref.com/403957/ekologiya/biologicheskie\\_metody](https://studref.com/403957/ekologiya/biologicheskie_metody) - 02.05.2023

4. Vveden v ekspluatatsiyu insinerator HURIKAN (URAGAN) 1000 v Irkutskoj oblasti na TBO [The HURIKAN incinerator (HURRICANE) 1000 was put into operation in the Irkutsk region on solid waste] <https://ecospectrum.ru/news/1538> - 03.04.2023.

5. GOST 12.1.007-1976. Vrednye veshchestva. Klassifikatsiya i obshchie trebovaniya bezopasnosti [GOST 12.1.007-1976. Harmful substances. Classification and general safety requirements]. Moscow, 1976, 7 p.

6. GOST 30772-2001. Resursoberezhenie. Obrashchenie s othodami. Terminy i opredeleniya [GOST 30772-2001. Resource conservation. Waste management. Terms and definitions]. Minsk, 2002, 20 p.

7. GOST 53692-2009. Resursoberezhenie. Obrashchenie s othodami. Etapy tekhnologicheskogo tsikla othodov. Produkciya organicheskogo proizvodstva [GOST 53692-2009. Resource conservation. Waste management. Stages of the technological cycle of waste. Organic products.]. Moscow, 2019, 20 p.

8. GOST 56828.17-2017. Nailuchshie dostupnye tekhnologii. Resursoberezhenie. Strategii i metody termicheskoy obrabotki opasnyh othodov [GOST 56828.17-2017. The best available technologies. Resource conservation. Strategies and methods of heat treatment of hazardous waste]. Moscow, 2019, 21 p.

9. Insineratornaya ustanovka dlya utilizatsii othodov [Incinerator plant for waste disposal]. <https://promusor.info/machines/utilizatsiya-otkhodov-insinerator> - 04.04.2023.

10. Metody pererabotki othodov [Waste recycling methods]. <https://megaobuchalka.ru/8/8420.html> - 27.04.23.

11. Othody nefteproduktov i othody soderzhashchie nefteprodukty / Utilizaciya i pererabotka promyshlennyh othodov gruppoj kompanij EkoArhitektura – Irkutsk [Waste of petroleum products and waste containing petroleum products / Recycling and recycling of industrial waste by the Ecoarchitecture Group of companies]. [https://irkutsk.eko-a.ru/utilizatsiya\\_otkhodov/otkhody\\_nefteproduktov](https://irkutsk.eko-a.ru/utilizatsiya_otkhodov/otkhody_nefteproduktov) - 27.03.2023.

12. Pererabatyvaemye othody [Recyclable waste]. <https://grunteco.ru/articles/pererabotka-othodov/#:~:text=Mekhanicheskie.%20Tverdye%20materialy%20drobyat%20ili,v%20poleznye%20produkty%20organicheskikh%20ostatkov> – 09.05.23.

13. Prikaz Rosprirodnadzora ot 22.05.2017 № 242 (red. ot 02.11.2018) "Ob utverzhdenii Federal'nogo klassifikacionnogo kataloga othodov" [Order of Rosprirodnadzor dated 22.05.2017 No. 242 (ed. dated 02.11.2018) "On approval of the Federal Classification Catalog of Waste"].

14. Prohorov, V.Yu. Utilizaciya i vtorichnoe ispol'zovanie otrabotannyh smazochnyh materialov transportnyh i transportno-tekhnologicheskikh mashin [Recycling and reuse of used lubricants of transport and transport-technological machines]. Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma Nadyozhnost' i kachestvo, 2017, vol. 2, 235 p.

15. Smazochnaya sistema / Traktory i avtomobili [Lubrication system / Tractors and cars]. <https://bibliotekar.ru/spravochnik-173-traktory-avtomobili/60.htm> - 01.04.2023.

16. Termicheskaya utilizaciya othodov / Utilitservis [Thermal waste disposal / Utilityservice]. <https://utiltumen.ru/termicheskaya-utilizaciya-othodov-szhig/>.

17. Tekhnologiya diagnostirovaniya traktorov [Tractor diagnostics technology]. V.I. Bel'skih et al. Moscow, 1973, 280 p.

18. Utilizaciya maslyanyh fil'trov v Rossii [Disposal of oil filters in Russia]. <https://vseomusore.com/utilizatsiya/utilizatsiya-maslyanyh-filtrov-v-rossii-zabota-ob-ekologii-i-perspektivnyj-biznes/> - 23.04.2023.

19. Utilizaciya shlama nefteproduktov [Disposal of sludge of petroleum products]. <https://gupecosistem.ru/utilizatsiya-shlama-nefteproduktov/> - 20.04.2023.

20. Himicheskie processy pererabotki othodov / Pererabotka musora [Chemical Waste Recycling Processes / Waste Recycling]. <https://ztbo.ru/o-tbo/lit/pererabotka-promishlennix-otxodov/khimicheskie-protsessy-pererabotki-otkhodov> - 04.05.2023.

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

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие конфликта интересов.

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

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

### История статьи / Article history:

Дата поступления в редакцию / Received: 19.06.2023

Поступила после рецензирования и доработки / Revised: 22.06.2023

Дата принятия к печати / Accepted: 29.06.2023

### Сведения об авторах

Шелкунова Наталья Олеговна – аспирант инженерного факультета Иркутского государственного аграрного университета имени А.А. Ежевского.

**Контактная информация:** ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, инженерный факультет, 664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, пос. Молодёжный, тел. 89641028180, e-mail: n.shelkunova@yandex.ru.

Егоров Игорь Борисович – магистрант 1 курса инженерного факультета (направление подготовки: 35.04.06 “Агроинженерия”) Иркутского государственного аграрного университета имени А.А. Ежевского.

**Контактная информация:** ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, инженерный факультет, 664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, пос. Молодёжный, тел. 89041209854, e-mail: igoresha.98@mail.ru.

Хабардин Василий Николаевич – заслуженный изобретатель Российской Федерации, доктор технических наук, профессор кафедры эксплуатации машинно-тракторного парка, безопасности жизнедеятельности и профессионального обучения инженерного факультета Иркутского государственного аграрного университета имени А.А. Ежевского.

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

### **Information about authors**

Natalia O. Shelkunova – is a postgraduate student of the Faculty of Engineering. HE Irkutsk SAU.  
**Contact information:** FSBEI HE Irkutsk SAU, Faculty of Engineering, 664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk district, Molodezhny, tel. 89641028180, e-mail: n.shelkunova@yandex.ru.

Igor B. Egorov – 1st year Master's student of the Faculty of Engineering in the field of training 35.04.06 "Agroengineering", Irkutsk State Agrarian University. A.A. Ezhevsky

**Contact information:** FSBEI HE Irkutsk SAU, Faculty of Engineering, 664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk district, Molodezhny, tel.89041209854, e-mail: igoresha.98@mail.ru.

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

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



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

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

DOI 10.51215/2411-6483-2023-(2)47-47-58

УДК 005.334:63(571.53)

Научная статья

**МОДЕЛИРОВАНИЕ УРОЖАЙНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ  
КУЛЬТУР В ПОДТАЕЖНО-ТАЕЖНОМ АГРОЛАНДШАФТНОМ  
РАЙОНЕ ПРЕДБАЙКАЛЬЯ**

**А.Ю. Белякова, Т.С. Бузина**

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

**Аннотация.** Урожайность сельскохозяйственных культур является основной характеристикой, определяющей объемы производства продукции растениеводства. Она используется при решении управленческих задач, связанных с принятием оперативных мер, прогнозированием и планированием аграрного производства. Результаты, приведенные в статье, являются продолжением ряда работ по прогнозированию производственно-экономических характеристик в разных природно-климатических условиях на примере Иркутской области. Поскольку регион разделен на агроландшафтные районы с разными условиями для деятельности сельскохозяйственных товаропроизводителей, актуальной является задача оценки возможности каждой районированной единицы по получению продукции растениеводства. Поэтому определение адекватных моделей для прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур имеет значения для реализации программ и планов по развитию сельского хозяйства на уровне муниципального района, агроландшафтных районов и региона. В статье описаны результаты построения трендовых моделей биопродуктивности сельскохозяйственных культур для их прогностического применения. Для реализации моделей использованы данные урожайности муниципальных районов северо-западного агроландшафтного района Иркутской области. При выборе качественных трендов применены линейная и нелинейные функции с неограниченным возрастанием и насыщением. Результаты моделирования показали, что для прогнозирования урожайности на среднесрочную перспективу могут быть использованы логистические и асимптотические тренды, а также степенная зависимость. В некоторых случаях не удалось обнаружить значимые регрессионные выражения. Это касается урожайности картофеля, свеклы и моркови по Тайшетскому и Чунскому районам. Особенности применения трендовых моделей является возможность многоуровневого прогнозирования с учетом усредненных, благоприятных и неблагоприятных условий.

**Ключевые слова:** тренд, прогнозирование, агроландшафтный район, урожайность, растениеводство.

**Для цитирования:** Белякова А.Ю., Бузина Т.С. Моделирование урожайности сельскохозяйственных культур в подтаежно-таежном агроландшафтном районе Предбайкалья. *Электронный научно-практический журнал “Актуальные вопросы аграрной науки”*. 2023; 2 (47):47-58. DOI: 10.51215/2411-6483-2023-(2)47-47-58.

Research article

## MODELING OF CROP YIELDS IN THE TAIGA-TAIGA AGRO-LANDSCAPE AREA OF THE PRE-BAIKAL REGION

Anna Yu. Belyakova, Tat'jana S. Buzina

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

**Abstract.** The yield of agricultural crops is the main characteristic that determines the volume of crop production. It is used in solving management problems related to the adoption of operational measures, forecasting and planning of agricultural production. The results presented in the article are a continuation of a number of works on forecasting production and economic characteristics in different natural and climatic conditions on the example of the Irkutsk region. Since the region is divided into aerial landscape areas with different conditions for the activities of agricultural producers, the task of assessing the possibility of each regionalized unit to obtain crop production is relevant. Therefore, the definition of adequate models for predicting crop yields is important for the implementation of programs and plans for the development of agriculture at the level of the municipal district, agrolandscape districts and the region. The article describes the results of building trend models of crop bioproductivity for their predictive use. For the implementation of the models, the yield data of the municipal districts of the northwestern air-landscape region of the Irkutsk region were used. When choosing qualitative trends, linear and non-linear functions with unlimited increase and saturation are applied. The simulation results showed that logistic and asymptotic trends, as well as power dependence, can be used to predict yields in the medium term. In some cases, no significant regression expressions could be found. This applies to the yield of potatoes, beets and carrots in the Taishet and Chun districts. Features of the application of trend models is the possibility of multi-level forecasting, taking into account average, favorable and unfavorable conditions.

**Key words:** trend, forecasting, agrolandscape area, productivity, crop production.

**For citation:** Belyakova A.Yu., Buzina T.S. Modeling of crop yields in the taiga-taiga agrolandscape area of the Pre-baikal region. *Electronic scientific-Practical journal “Actual issues of agrarian science”*. 2023; 2 (47):47-58. DOI: 10.51215/2411-6483-2023-(2)47-47-58.

**Введение.** Ввиду интенсивного развития технологий увеличились разработки по долгосрочному планированию и прогнозированию развития экономики страны, в том числе аграрной сферы. Принимаются различные государственные программы, разрабатываются дорожные карты, определяется механизм достижения результатов. По этой причине создание эффективных методов прогнозирования разных показателей экономического развития регионов и страны имеет большое научно-практическое значение.

В литературе встречается описание разных методов прогнозирования и

их приложения [6, 14, 17 и др.]. В сфере сельского хозяйства сложность прогнозирования связана с большим числом факторов, которые влияют на производство аграрной продукции [1, 4, 5, 13, 16]. Поэтому построение адекватных моделей для оценки будущих ситуаций имеет свои особенности.

В работах [10, 11, 12] использованы многоуровневые тренды для решения задачи прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур. Прогнозы могут иметь не только непосредственное предназначение, но использоваться для других целей, например, планирования аграрного производства [1, 7, 12, 15].

При этом следует иметь в виду, что каждое сельскохозяйственное предприятие, муниципальный район, агроландшафтная территория характеризуются специфическими внешними условиями, влияющими на производственно-экономические характеристики. Однако прогнозирование и планирование аграрной продукции осуществляется в условиях неопределенности многих факторов [2, 3], поэтому необходимо учитывать, что помимо усредненной оценки развития процесса или явления могут возникнуть непредсказуемые ситуации, которые оцениваются с помощью статистических методов. При этом эффективным в этом отношении является метод Монте-Карло [22].

В частности, Иркутская область разделена на 8 агроландшафтных районов, производство сельскохозяйственной продукции в которых отличается по многим факторам: продолжительности вегетационного периода, суммам активных температур выше 10°C, средней продолжительности безморозного периода, количеству осадков, условиям увлажнения, специфике рельефа, наличию лесных массивов, площадям сельскохозяйственных угодий и др. [18-20].

В дополнение к оценке возможностей производства сельскохозяйственной продукции в агроландшафтных районах необходима оценка уровня стабильности деятельности сельскохозяйственных товаропроизводителей, определения вероятных рисков, разработка эффективных методов прогнозирования производственно-экономических, экологических и агрометеорологических характеристик.

Целью работы является разработка трендовых моделей по прогнозированию урожайности зерновых и овощных сельскохозяйственных культур для Подтаежно-таежного агроландшафтного района Предбайкалья, включающего в себя Нижнеудинский, Тайшетский и Чунский муниципальные районы. Выполненная работа продолжает разработки других авторов по оценке возможностей многоуровневых трендовых моделей для прогнозирования производственно-экономических характеристик в разных агроландшафтных районах региона [7, 8, 10, 11].

**Материалы и методы исследования.** В качестве исходных данных при моделировании урожайности сельскохозяйственных культур растениеводческой продукции использованы материалы Иркутскстата и министерства сельского хозяйства Иркутской области. К статистической обработке привлечены временные ряды урожайности сельскохозяйственных культур по

рассматриваемым муниципальным районам за 1996-2022 гг. Проанализированы ряды биопродуктивности зерновых культур, картофеля и овощей по всем категориям хозяйств. Для моделирования характеристики применена методика, описанная в работах [9].

Для анализа закономерностей изменчивости многолетних рядов производственно-экономических показателей были применены методы теории вероятностей и математической статистики. В частности, использовались методы корреляционного и регрессионного анализа.

**Основные результаты.** С целью более эффективного управления ресурсами, зоны сельскохозяйственного производства подвергаются процессу районирования. Это позволяет разработать адаптивные системы земледелия, которые соответствуют особенностям каждого района. Автором работы [21] также описано районирование экономических параметров сельскохозяйственного производства в Иркутской области с анализом деятельности различных категорий хозяйств.

В подтаежно-таежном агроландшафтном районе Предбайкалья средний период вегетации достигает 112-122 суток. Сумма активных температур выше 10°C колеблется от 1400 до 1600°C. В среднем количество осадков за год составляет 350-400 мм, а за период май – сентябрь – 250-350 мм. Территория расположена на высоте 400-600 м над уровнем моря. Лесистость составляет около 48%, а соотношение пашни и сельскохозяйственных угодий соответствует 2.1:1. При этом преобладающими типами почв являются дерново-подзолистые, дерново-лесные, подзолистые и серые лесные [18].

При построении трендов в соответствии с методикой [9] использованы следующие функции:

$$y_t = a_0 + a_1 t, \quad (1)$$

$$y_t = a_0 t^a, \quad (2)$$

$$\ln y_t = a_0 + a_1 \ln t, \quad (3)$$

$$y_t = \frac{y_m}{(1 + e^{-kt})}, \quad (4)$$

$$y_t = y_m - (y_m - y_{\min}) e^{-kt}, \quad (5)$$

где  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a$  – параметры выражений, характеризующие начальное значение характеристики и скорость роста;  $y_m$  и  $y_{\min}$  – уровень насыщения и начальное значение;  $k$  – скорость роста функций с насыщением.

На основе статистической обработки данных по урожайности сельскохозяйственных культур Нижнеудинского, Чунского и Тайшетского районов в таблице 1 приведены наилучшие модели согласно коэффициенту детерминации.  $R^2$ ,  $F$ -критерию Фишера и  $t$ -статистике Стьюдента.

Отметим, что модели, описывающие урожайность сельскохозяйственных культур по данным Нижнеудинского района, заимствованы из работы [11].

Из трех муниципальных образований по значимости регрессионных выражений выделяется Нижнеудинский район. Полученные выражения для всех культур являются значимыми и могут быть использованы для прогнозирования. Что касается Чунского и Тайшетского районов, то здесь критериям точности и значимости удовлетворяют регрессионные уравнения урожайности пшеницы и овса. Кроме того, значимым является регрессионное выражение для урожайности капусты по Тайшетскому району. Остальные тренды согласно критериям не могут быть использованы для прогнозирования или прогнозы с их помощью несут высокие погрешности.

Таблица 1 – Тренды рядов урожайности сельскохозяйственных культур муниципальных районов Подтаежно-таежного агроландшафтного района Предбайкалья по данным 1996-2022 гг.

Table 1 – Trends in crop yield series of municipal districts of the Podtaiga-taiga agrolandscape region of Cisbaikalia according to 1996-2022 data

Культура	Уравнение	$R^2$	F-критерий Фишера	Уровень значимости	t-статистики Стьюдента
<b>Нижнеудинский район</b>					
Пшеница	$y=20.3/(1+e^{-0.0888t})$	0.69	54.5	$1.27 \times 10^{-7}$	-7.38
Ячмень	$y=22.5-(22.5-3.4)e^{-0.0784t}$	0.70	59.2	$6.26 \times 10^{-8}$	-7.69
Овес	$y=19.2-(19.2-1.3)e^{-0.0846t}$	0.76	77.1	$5.82 \times 10^{-9}$	-8.78
Картофель	$y=175.4/(1+e^{-0.0987t})$	0.53	28.6	$1.73 \times 10^{-5}$	-5.35
Капуста	$y=316.5/(1+e^{-0.160t})$	0.82	114.3	$1.31 \times 10^{-10}$	-10.7
Свекла	$y=87.6t^{0.371}$	0.62	39.6	$1.66 \times 10^{-6}$	6.29
Морковь	$y=310.8-(310.8-37.6)e^{-0.116t}$	0.64	43.9	$7.42 \times 10^{-7}$	-6.63
<b>Чунский район</b>					
Пшеница	$y=18.8-(18.8-5.8)e^{-0.0901t}$	0.66	49.8	$2.14 \times 10^{-7}$	-7.06
Ячмень	$y=26-(26-7.1)e^{-0.0379t}$	0.26	9.04	$5.93 \times 10^{-3}$	-3.01
Овес	$y=19.4-(19.4-4.3)e^{-0.5812t}$	0.51	26.6	$2.49 \times 10^{-5}$	-5.16
Картофель	$y=174.1/(1+e^{-0.06714t})$	0.35	13.7	$1.06 \times 10^{-3}$	-3.70
Капуста	$y=275.8-(275.8-77.8)e^{-0.7915t}$	0.45	21.0	$1.08 \times 10^{-4}$	-4.59
Свекла	$y=229.7/(1+e^{-0.08047t})$	0.43	19.2	$2.02 \times 10^{-4}$	-4.38
Морковь	$y=264.9-(264.9-78.7)e^{-0.07096t}$	0.42	18.5	$2.49 \times 10^{-4}$	-4.30
<b>Тайшетский район</b>					
Пшеница	$y=18.0/(1+e^{-0.0963t})$	0.79	99.5	$3.36 \times 10^{-10}$	-10.0
Ячмень	$y=30.5-(30.5-7.8)e^{-0.0386t}$	0.31	11.6	0.376	-3.41
Овес	$y=18.9/(1+e^{-0.07501t})$	0.54	30.3	$2.20 \times 10^{-3}$	-5.50
Картофель	$y=188.1/(1+e^{-0.0798t})$	0.42	18.6	$2.21 \times 10^{-4}$	-4.31
Капуста	$y=305.7-(305.7-26.0)e^{-0.116t}$	0.73	70.0	$1.03 \times 10^{-8}$	-8.37
Свекла	$y=262.5-(262.5-2)e^{-0.0778t}$	0.35	13.8	$1.02 \times 10^{-3}$	-3.72
Морковь	$y=276.1/(1+e^{-0.0786t})$	0.40	16.3	$4.73 \times 10^{-4}$	-4.04

В таблице 2 приведены относительные ( $\delta_c$ ) и максимальные ( $\delta_m$ ) погрешности выражений, приведенных в таблице 2. Согласно полученным результатам наиболее устойчивые тренды имеют место для урожайности сельскохозяйственных культур Нижнеудинского района. Отметим, что при оценке погрешностей в этом районе не учитывался 1998 год, в котором наблюдались аномально низкие уровни урожайности зерновых культур. Невысокая точность трендов биопродуктивности зерновых, овощных культур и картофеля определена для Чунского района. Несколько лучше результаты получены для Тайшетского района.

Таблица 2 – Относительные и максимальные погрешности трендов, приведенных в таблице 2

Table 2 – Relative and maximum errors of the trends given in table 2

Культура	$\delta_c, \%$	$\delta_m, \%$	$\delta_c, \%$	$\delta_m, \%$	$\delta_c, \%$	$\delta_m, \%$
	Нижнеудинский район		Чунский район		Тайшетский район	
Пшеница	14.2	44.6	35.4	115.2	11.2	39.1
Ячмень	18.8	53.9	33.0	63.8	38.0	96.9
Овес	14.8	40.0	28.6	148.8	14.7	50.8
Картофель	12.4	37.2	11.0	40.0	14.2	43.5
Капуста	12.2	41.6	27.8	76.9	14.3	59.4
Свекла	16.2	88.5	19.2	45.5	33.3	162.7
Морковь	18.3	80.1	26.9	82.3	18.8	52.9

Таким образом, можно констатировать, что для прогнозирования на среднесрочную перспективу, учитывая относительно большое число членов ряда (27), применимы полученные выражения по всем культурам Нижнеудинского района, урожайности пшеницы и овса – для Чунского района и биопродуктивности пшеницы, овса и капусты – для Тайшетского района. Необходимо также учитывать наличие трендов с невысокой точностью во временных рядах урожайности других культур Тайшетского и Чунского районов.

Помимо построения трендовых зависимостей осуществлена оценка авторегрессионных выражений, которые можно использовать для прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур. В таблице 3 приведены первые коэффициенты автокорреляции  $r_1$  рядов урожайности сельскохозяйственных культур и их средние квадратические погрешности  $\sigma_{r_1}$  для Чунского, Тайшетского и Нижнеудинского районов. К этому добавим, что автокорреляционные функции являются убывающими.

Таблица 3 – Первые коэффициенты автокорреляции и их средние квадратические погрешности рядов урожайности сельскохозяйственных культур муниципальных районов Подтаежно-таежного агроландшафтного района по данным 1996-2022 гг.

Table 3 – The first autocorrelation coefficients and their root-mean-square errors of crop yield series of municipal districts of the Podtaiga-taiga agrolandscape region according to 1996-2022 data

Культура	Чунский район		Тайшетский		Нижнеудинский	
	$r_1$	$\sigma_{r_1}$	$r_1$	$\sigma_{r_1}$	$r_1$	$\sigma_{r_1}$
Пшеница	0.76	0.083	0.69	0.103	0.61	0.126
Ячмень	0.65	0.113	0.64	0.116	0.68	0.108
Овес	0.45	0.156	0.3	0.178	0.3	0.182
Картофель	0.44	0.158	0.47	0.153	0.6	0.128
Капуста	0.68	0.105	0.75	0.086	0.77	0.081
Свекла	0.45	0.156	-0.44	0.158	0.67	0.110
Морковь	0.78	0.077	0.43	0.160	0.73	0.093

На основе полученных значений первых коэффициентов автокорреляции предлагается использовать авторегрессионное выражение для прогнозирования моркови в Чунском районе:

$$y_t = 40.7 + 0.763y_{t-1}, \quad (6)$$

где  $y_t$  и  $y_{t-1}$  – последующее и предшествующее значения ряда. Коэффициент детерминации выражения равен 0.60,  $F$ -критерий Фишера – 34.8 (уровень значимости ему соответствующий составляет  $5.19 \times 10^{-6}$ ) и  $t$ -статистика Стьюдента – 5.90. При этом средняя относительная погрешность выражения (6) равна 14.6, а максимальная – 105.4%. Другими словами, формула (6) может быть использована для прогнозирования урожайности моркови в усредненных условиях.

Для других двух районов авторегрессионные выражения не соответствуют критериям значимости.

**Выводы.** Проанализированы статистические параметры временных рядов урожайности сельскохозяйственных культур по данным трех муниципальных образований Иркутской области, относящихся к Подтаежно-таежному агроландшафтному району Предбайкалья.

Для трех районов агроландшафтной территории построены трендовые модели с оценкой их точности по коэффициенту детерминации и относительной средней и максимальной погрешности. Для Нижнеудинского района выражения трендов урожайности всех культур оказались значимыми. Применительно к Чунскому и Тайшетскому районам значимыми являются урожайности пшеницы и овса, а также капусты для последнего района.

Из авторегрессионных выражений для прогнозирования предложена модель урожайности моркови в Чунском районе.

На основе полученных трендов показано, что устойчивым является

производство растениеводческой продукции в Нижнеудинском районе. Несколько хуже показатели производства в Тайшетском районе. В свою очередь результаты деятельности сельскохозяйственных товаропроизводителей Чунского района менее стабильны, чем в Тайшетском районе.

### Список литературы

1. Асалханов, П.Г. Модели прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур в задачах параметрического программирования / П.Г. Асалханов, Я.М. Иванько, М.Н. Полковская // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2017. – Т. 21. – № 2 (121). – С. 57-66.
2. Белякова, А.Ю. Модели планирования производства продовольственной продукции в условиях неопределенности / А.Ю. Белякова, Т.С. Бузина // Инженерный вестник Дона. – 2022. – № 4(88). – С. 152-166.
3. Белякова, А.Ю. Особенности рисков производства сельскохозяйственной продукции в разных агроландшафтных районах Иркутской области / А.Ю. Белякова, Я.М. Иванько, С.А. Петрова // Проблемы и перспективы устойчивого развития агропромышленного комплекса: Матер. Всероссийской научно-практ. конф. с международным участием, посвящ. памяти А.А. Ежевского, п. Молодежный, 17-18 ноября 2022 года. – п. Молодежный: Иркутский ГАУ, 2022. – С. 167-177.
4. Бисчоков, Р.М. Прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур методами нечеткой логики / Р.М. Бисчоков, С.Ф. Суханова // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. – 2023. – № 1 (65). – С. 119-125
5. Буховец, А.Г. О новых подходах к прогнозированию урожайности зерновых культур / А.Г. Буховец, Е.А. Семин, А.К. Горностаев // Современная экономика: проблемы и решения. – 2023. – № 2 (158). – С. 8-19.
6. Графеев, О.Е. Прогнозирование землетрясений на основе ионосферных предвестников. обзор / О.Е. Графеев // Грозненский естественнонаучный бюллетень. – 2020. – Т. 5. – № 3 (21). – С. 20-27.
7. Иванько, Я.М. Модели роста с насыщением в задаче параметрического программирования применительно к аграрному производству / Я.М. Иванько, С.А. Петрова, В.В. Цыренжапова // Информационные и математические технологии в науке и управлении. – 2022. – № 2 (26). – С. 42-52.
8. Иванько, Я.М. О трендах изменчивости урожайности сельскохозяйственных культур для некоторых территорий агроландшафтных районов Иркутской области / Я.М. Иванько, Е.С. Тулунова, Д.Р. Чернигова // В сб.: Основные приемы и технологии совершенствования адаптивно-ландшафтных систем земледелия. Матер. междунар. научно-практ. конф., посвящ. 70-летию со дня рождения доктора сельскохозяйственных наук, профессора Солодуна Владимира Ивановича. – Молодёжный, 2022. – С. 88-95.
9. Иванько, Я.М. Об одном алгоритме выделения аномальных уровней временного ряда для оценки рисков / Я.М. Иванько, С.А. Петрова // Актуальные вопросы аграрной науки. – 2022. – № 42. – С. 48-57.
10. Иванько, Я.М. Прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур и оценка рисков получения урожая на примере Заларинского района / Я.М. Иванько, М.Н. Попова // В сб.: Основные приемы и технологии совершенствования адаптивно-ландшафтных систем земледелия. Матер. междунар. научно-практ. конф., посвящ. 70-летию со дня рождения доктора с.-х. наук, профессора Солодуна Владимира Ивановича. – Молодёжный, 2022. – С. 209-216.
11. Иванько, Я.М. Трендовые модели в прогнозировании и оценке потерь урожайности сельскохозяйственных культур / Я.М. Иванько, В.В. Цыренжапова //

Актуальные вопросы аграрной науки. – 2023. – № 46. – С. 53-62

12. Математические и цифровые технологии оптимизации производства продовольственной продукции. Монография / Я.М. Иваньо [и др.]; под ред. Я.М. Иваньо. – Молодежный: Изд-во Иркутский ГАУ, 2021. – 220 с.

13. Найдина, Т.А. Развитие динамико-статистического метода оперативного прогнозирования урожайности озимой ржи / Т.А. Найдина // Гидрометеорология и образование. – 2020. – № 4. – С. 51-64.

14. Обзор современных программных комплексов и концепции цифрового двойника для прогнозирования аварийных ситуаций на объектах нефтегазовой отрасли / К.Н. Абдрахманова и [др.] // Электронный научный журнал Нефтегазовое дело. – 2020. – № 3. – С. 71-91.

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

16. Рогачев, А.Ф. Системный анализ и прогнозирование временных рядов урожайности на основе автокорреляционных функций и нейросетевых технологий / А.Ф. Рогачев // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2018. – № 3 (51). – С. 309-316.

17. Роль искусственного интеллекта в прогнозировании проблем covid-19: аналитический обзор / А.М. Хаджибаев [и др.] // Вестник экстренной медицины. – 2020. – Т. 13. – № 4. – С. 75-85.

18. Система ведения сельского хозяйства Иркутской области. В 2-х частях. Монография / Под ред. Я.М. Иваньо, Н.Н. Дмитриева. Иркутск: ООО “Мегапринт”, 2019. – Ч. 1. – 319 с.

19. Солодун, В.И. Агрономическая оценка структуры использования пашни по агроландшафтным районам Иркутской области / В.И. Солодун // Вестник ИрГСХА. – 2018. – № 88. – С. 30-36.

20. Солодун, В.И. Методология разработки адаптивно-ландшафтных систем земледелия для агроландшафтов Предбайкалья / В.И. Солодун, А.М. Зайцев // Вестник ИрГСХА. – 2015. – № 71. – С. 24-31.

21. Чернигова, Д.Р. Районирование экономических параметров аграрного производства для различных категорий предприятий / Д.Р. Чернигова // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2011. – № 8 (55). – С. 71-76.

22. Buzina, T.S. et all. Method of statistical tests in solving problems of food production management / IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering. Krasnoyarsk, 2021, pp. 32051.

### References

1. Asalkhanov, P.G. et all. Modeli prognozirovaniya urozhaynosti sel'skokhozyaystvennykh kul'tur v zadachakh parametriceskogo programmirovaniya [Models for forecasting crop yields in parametric programming problems]. Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2017, vol. 21, no. 2 (121), pp. 57-66.

2. Belyakova, A.Yu., Buzina T.S. Modeli planirovaniya proizvodstva prodovol'stvennoj produkcii v usloviyah neopredelennosti [Models of food production planning under uncertainty]. Inzhenernyj vestnik Dona, 2022, vol. 2, pp. 152-166.

3. Belyakova, A.Yu. et all. Osobennosti riskov proizvodstva sel'skokhozyaystvennoy produktsii v raznykh agrolanshaftnykh rayonakh Irkutskoy oblasti [Features of the risks of agricultural production in different agrolandscape regions of the Irkutsk region]. Molodezhnyy, 2022, pp. 167-177.

4. Bischokov, R.M., Sukhanova, S.F. Prognozirovaniye urozhaynosti sel'skokhozyaystvennykh kul'tur metodami nechetkoy logiki [Forecasting the yield of agricultural crops using fuzzy logic methods]. Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, 2023, no. 1 (65), pp. 119-125.

5. Bukhovets, A.G. et all. O novykh podkhodakh k prognozirovaniyu urozhaynosti zernovykh kul'tur [On new approaches to predicting the yield of grain crops]. Sovremennaya ekonomika: problemy i resheniya, 2023, no. 2 (158), pp. 8-19.

6. Grafeyev, O.Ye. Prognozirovaniye zemletryaseniy na osnove ionosfernykh predvectnikov. obzor [Earthquake prediction based on ionospheres precursors. Review]. Groznenskiy yestestvennonauchnyy byulleten', 2020, vol. 5, no. 3 (21), pp. 20-27.

7. Ivanyo, Ya.M. et all. Modeli rosta s nasyshcheniyem v zadache parametricheskogo programmirovaniya primenitel'no k agrarnomu proizvodstvu [Models of growth with saturation in the problem of parametric programming in relation to agricultural production]. Informatsionnyye i matematicheskiye tekhnologii v nauke i upravlenii, 2022, no. 2 (26), pp. 42-52.

8. Ivanyo, Ya.M. et all. O trendakh izmenchivosti urozhaynosti sel'skokhozyaystvennykh kul'tur dlya nekotorykh territoriy agrolandshaftnykh rayonov Irkutskoy oblasti [On trends in the variability of crop yields for some territories of agrolandscape regions of the Irkutsk region]. Molodozhnyy, 2022, pp. 88-95.

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

10. Ivanyo, Ya.M., Popova, M.N. Prognozirovaniye urozhaynosti sel'skokhozyaystvennykh kul'tur i otsenka riskov polucheniya urozhaya na primere Zalarinskogo rayona [Forecasting the yield of agricultural crops and assessing the risks of obtaining a crop on the example of the Zalarinsky district]. Molodozhnyy, 2022, pp. 209-216.

11. Ivanyo, Ya.M., Tsyrenzhapova, V.V. Trendovyye modeli v prognozirovanii i otsenke poter' urozhaynosti sel'skokhozyaystvennykh kul'tur [Trend models in forecasting and assessing crop yield losses]. Aktual'nyye voprosy agrarnoy nauki, 2023, no. 46, pp. 53-62.

12. Ivanyo, Ya.M. et all. Matematicheskie i cifrovyye tekhnologii optimizatsii proizvodstva prodovol'stvennoy produktsii [Mathematical and digital technologies for optimizing food production]. Molodezhnyj, 2021, 220 p.

13. Naydina, T.A. Razvitiye dinamiko-statisticheskogo metoda operativnogo prognozirovaniya urozhaynosti ozimoy rzhii [Development of a dynamic-statistical method for operational forecasting of winter rye yields]. Gidrometeorologiya i obrazovaniye, 2020, no. 4, pp. 51-64.

14. Abdrakhmanova, K.N. et all. Obzor sovremennykh programmnykh kompleksov i kontseptsii tsifrovogo dvoynika dlya prognozirovaniya avariynykh situatsiy na ob"yektakh neftegazovoy otrasli. [Review of modern software systems and the concept of a digital twin for predicting emergency situations at oil and gas facilities]. Elektronnyy nauchnyy zhurnal Neftegazovoye delo, 2020, no. 3, pp. 71-91.

15. Barsukova, M.N. et all. Razvitiye modeley planirovaniya polucheniya prodovol'stvennoy produktsii. [Development of planning models for obtaining food products]. Informatsionnyye i matematicheskiye tekhnologii v nauke i upravlenii, 2018, no. 3(11), pp. 96-107.

16. Rogachev, A.F. Sistemnyy analiz i prognozirovaniye vremennykh ryadov urozhaynosti na osnove avtokorrelyatsionnykh funktsiy i neyrosetevykh tekhnologiy [System analysis and forecasting of yield time series based on autocorrelation functions and neural network technologies] Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vyssheye professional'noye obrazovaniye, 2018, no. 3 (51), pp. 309-316.

17. Khadzhibayev, A.M. et al. Rol' iskusstvennogo intellekta v prognozirovani problem covid-19: analiticheskiy obzor. [The role of artificial intelligence in predicting covid-19 problems: an analytical review]. Vestnik ekstrennoy meditsiny, 2020, vol. 13, no. 4, pp. 75-85.

18. Sistema vedeniya sel'skogo khozyaystva Irkutskoy oblasti. Monografiya. Pod red. Ya.M. Ivanyo. [The system of agriculture in the Irkutsk region]. Irkutsk, 2019, part 1, 319 p.

19. Solodun, V.I. Agronomicheskaya otsenka struktury ispol'zovaniya pashni po agrolandshaftnykh rayonam Irkutskoy oblasti [Agronomic assessment of the structure of arable land use in agrolandscape areas of the Irkutsk region]. Vestnik IrGSHA, 2018, no. 88, pp. 30-36.

20. Solodun, V.I. Metodologiya razrabotki adaptivno-landshaftnykh sistem zemledeliya dlya agrolandshaftov Predbaykal'ya [Methodology for the development of adaptive-landscape farming systems for agrolandscapes of Cis-Baikal]. Vestnik IrGSHA, 2015, no. 71, pp. 24-31.

21. Chernigova, D.R. Rayonirovaniye ekonomicheskikh parametrov agrarnogo proizvodstva dlya razlichnykh kategoriy predpriyatiy [Zoning of economic parameters of agricultural production for various categories of enterprises]. Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2011, no. 8 (55), pp. 71-76.

**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: 26.06.2022

Поступила после рецензирования и доработки / Revised: 27.06.2023

Дата принятия к печати / Accepted: 29.06.2023

### Сведения об авторах

Белякова Анна Юрьевна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры информатики и математического моделирования Института экономики управления Иркутского государственного аграрного университета имени А.А. Ежевского.

**Контактная информация:** ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, 664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, пос. Молодёжный, тел. 89025194188, email: belyakova\_irk@mail.ru; ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-1770-232X>.

Бузина Татьяна Сергеевна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры информатики и математического моделирования Института экономики управления Иркутского государственного аграрного университета имени А.А. Ежевского.

**Контактная информация:** ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ. 664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, пос. Молодёжный, тел. 89021737301, email: buzinats@mail.ru; ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-4337-6465>.

### Information about authors

Anna Yu. Belyakova – Cand. of Technical Sciences, Ass. Prof. of 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 district, Molodezhny, tel. 89025194188, e-mail: belyakova\_irk@mail.ru; ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-1770-232X>.

Белякова А.Ю., Бузина Т.С. Моделирование урожайности сельскохозяйственных культур...

2023; 2 (47):47-58 Электронный научно-практический журнал “Актуальные вопросы аграрной науки”  
Electronic scientific-Practical journal “Actual issues of agrarian science”

Tat'jana S. Buzina – Cand. of Technical Sciences, Ass. Prof. of 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 district, Molodezhny, tel. 89021737301, email: buzinats@mail.ru; ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-4337-6465>.



DOI 10.51215/2411-6483-2023-(2)47-59-67

УДК 657.113

Научная статья

## ЦИФРОВИЗАЦИЯ РОССИЙСКОГО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА: РЕГИОНАЛЬНЫЙ АСПЕКТ

Н.З. Гончарова

ФГБОУ ВО Смоленская ГСХА, г. Смоленск, Россия

**Аннотация.** В статье проводится сравнительный анализ уровня цифровизации технологических операций в растениеводстве и животноводстве в регионах России, выделяются регионы-лидеры и регионы-аутсайдеры. Автор отмечает влияние цифровых технологий не только на урожайность сельскохозяйственных культур, но и на экономию материально-денежных затрат, а также выявление неиспользованных земель. Особое внимание уделяется перспективам цифровизации растениеводства на основе отечественных разработок. В работе показано, что внедрение цифровых технологий в региональный агропромышленный комплекс (АПК) позволяет повысить уровень национальной продовольственной безопасности страны. В качестве сдерживающего фактора цифровизации в отдельных регионах автор указывает достаточно высокую стоимость внедрения новых технологий. Отмечаются специфические особенности цифровизации растениеводства и животноводства. Анализ показал, что в большинстве регионов внедрение цифровых технологий идет достаточно активно, особенно в растениеводстве. Вместе с тем возможности регионов неодинаковы, поэтому отмечены весьма существенные различия, связанные с получаемыми финансовыми результатами. В регионах нет единообразной стратегии цифровизации аграрной сферы, есть регионы-лидеры и регионы-аутсайдеры. Особенно сложно цифровизация идет в крестьянских (фермерских) хозяйствах и личных хозяйствах населения (ЛПХ), не располагающих достаточными финансовыми средствами. Поэтому необходимо создать единую информационную систему для фермеров за счет бюджетных средств.

**Ключевые слова:** цифровизация, биотехнологии, цифровые платформы, системы мониторинга, системы управления.

**Для цитирования:** Гончарова Н.З. Цифровизация российского сельского хозяйства: региональный аспект. *Электронный научно-практический журнал “Актуальные вопросы аграрной науки”*. 2023;2 (47):59-67. DOI: 10.51215/2411-6483-2023-(2)47-59-67.

## DIGITALIZATION OF RUSSIAN AGRICULTURE: REGIONAL ASPECT

Nina Z. Goncharova

Smolenskaya State Agricultural Academy, Smolensk, Russia

**Abstract.** The article provides a comparative analysis of the level of digitalization of technological operations in crop and livestock production in the regions of Russia, highlights the leading regions and outsider regions. The author notes the impact of digital technologies not only on crop yields, but also on saving material and monetary costs, as well as identifying unused land. Particular attention is paid to the prospects for digitalization of crop production based on domestic developments. The paper shows that the introduction of digital technologies in the regional agro-industrial complex (AIC) allows to increase the level of the country's national food security. As a deterrent to digitalization in certain regions, the author indicates a rather high cost of introducing new technologies. The specific features of the digitalization of crop and livestock production are noted. The analysis showed that in most regions the introduction of digital technologies is quite active, especially in crop production. At the same time, the possibilities of the regions are not the same, therefore, there are very significant differences associated with the financial results obtained. There is no uniform strategy for the digitalization of the agrarian sector in the regions, there are leading regions and outsider regions. Digitalization is especially difficult in peasant (farm) households and personal subsidiary farms (PSF), which do not have sufficient financial resources. Therefore, it is necessary to create a unified information system for farmers at the expense of budgetary funds.

**Keywords:** digitalization, biotechnologies, digital platforms, monitoring systems, management systems.

**For citation:** Goncharova N.Z. Digitalization of russian agriculture: regional aspect. *Electronic scientific-Practical journal “Actual issues of agrarian science”*. 2023; 2 (47):59-67. DOI: 10.51215/2411-6483-2023-(2)47-59-67.

**Введение.** Цифровизация ворвалась в мировую экономику как предвестник разворачивающейся “третьей промышленной революции”. Ее основная цель в отличие от предыдущих “революций”, связанных с использованием новых энергетических ресурсов, заключается в разработке и внедрении новых ресурсосберегающих технологий, успешное применение которых невозможно без использования современных цифровых технологий. Современный мир захлестнул огромный объем информации, образовавший рынок “больших данных”, т.е. информация стала товаром, потребительная стоимость которого заключается в удовлетворении потребности общества в сборе, хранении, управлении и аналитической обработке этой разрозненной информации.

**Цель работы.** Провести межрегиональные сравнения уровня цифровизации растениеводства и животноводства, выделить и обобщить основные проблемы, предложить основные направления дальнейшего развития цифровых технологий.

**Основные результаты.** В ведущих странах мира развитие цифровых технологий происходит в государственном управлении, финансовой сфере,

промышленности, сельском хозяйстве с 1995 г. В России программные документы по цифровизации экономики были приняты в 2018 г. В этом же году был разработан и принят ведомственный проект “Цифровое сельское хозяйство” с реализацией в 2019-2024 гг. На основе федеральной программы каждый регион России разрабатывает свою программу с учетом местных особенностей, возможностей и проблем. Оценка выполнения отраслевой программы, проведенная Минсельхозом РФ в 2018 г., показала, что почти в 50% регионов достигнут высокий и выше среднего уровень цифровизации сельского хозяйства [1, 4].

Лидирующее положение по освоению цифровых технологий занимают регионы Центрального федерального округа. В растениеводстве оцифровано свыше 3 тыс.га земельных угодий почти в 460 предприятиях, внедрено почти 20 инновационных технологий: Так, в Белгородской области, занимающей третье место в стране по производству сельскохозяйственной продукции в 2019 г., была создана платформа для цифровизации аграрной сферы РФ. Научно-образовательный центр будет заниматься разработкой биотехнологий (биоудобрения, клеточные технологии) с привлечением ученых из ведущих научных учреждений страны. В реализации технологии “Умное поле” первенство принадлежит Брянской области. В Калужской области в 2018 г. действовало 36 “умных ферм”, оснащенных 128 роботизированными установками. При этом цифровизация происходит на базе российских IT-технологий: российский разработчик OMNICOMM занимается внедрением компьютерных программ для экономии топлива на механизированных работах [2].

Для животноводства разработана региональная программа “Создание 100 роботизированных ферм в Калужской области”, которая за счет мер государственной поддержки доступна малому и среднему сельскому бизнесу [5]. В Тамбовской области реализуется проект по созданию в АПК первой в стране цифровой платформы с участием профильных институтов, фонда “Сколково”, корпорации “Ростелеком”, отраслевых ведомств и частных инвесторов, в рамках которого создан IT-Технопарк “Миэлта”, резидентом которого является “Агро-Нова”. Компания разрабатывает и реализует системы автоматизированного управления обработки полей с использованием беспилотной техники. Аграрный наукоград Мичуринск трансформирует и внедряет передовые аграрные технологии, в частности, программы центра “Мичуринская долина”, пилотный проект “Умный сад”. В Ярославской области переводятся на цифровые технологии диагностика состояния сада по фотографии листа; космическая диагностика заболоченности и переувлажнения сельскохозяйственных угодий; алгоритм оптимальной посадки сельхозкультур и обработки полей дронами-опрыскивателями [10].

На юге России лидирует Краснодарский край, занимающий первое место в стране по производству сельскохозяйственной продукции и

входящий в десятку регионов по степени освоения цифровых технологий в АПК. В регионе впервые в стране разработана и внедрена в 189 сельхозпредприятий информационно-аналитическая система “Единый центр дистанционного спутникового мониторинга АПК”, позволяющая проводить инвентаризацию и паспортизацию сельхозпроизводителей, контролировать использование сельскохозяйственных угодий и уровень плодородия пашни, а также соблюдение севооборотов. Система позволяет руководителю предприятия следить в режиме онлайн за работой техники на полях, контролировать расходы ГСМ и удобрений, средств защиты растений и принимать решения по возникшим проблемам. Конечная цель внедрения системы – исключить влияние человеческого фактора на рабочие процессы путем оцифровки практических знаний и опыта агронома [7].

Значимые успехи в цифровизации аграрной сферы достигла и Волгоградская область, где создана и используется последние пять лет система мониторинга сельскохозяйственных угодий “Агропортал”, ставшая лауреатом Всероссийского конкурса региональной информатизации. Агротехнические работы и вложения в сельхозпредприятиях проводятся на основе компьютерного анализа состояния конкретных полей, что позволило получить оцифрованную информацию о 57 тыс. земельных участков площадью 600 тыс. га в 150 хозяйствах области. Кроме этого, с помощью беспилотных летательных аппаратов в области собрана информация о деятельности ЛПХ, обобщенная в электронной похозяйственной книге, на основе которой создаются электронные площадки для реализации, произведенной в ЛПХ продукции. Заключительным этапом цифровизации растениеводства является обобщение данных о проведении полевых работ в “Региональной информационно-аналитической системе Волгоградской области”. В животноводстве цифровые технологии внедрены на молочных фермах и птицеводческих агрофирмах, позволяя учесть реальные потребности животных и птицы и обеспечить оптимальные условия кормления и содержания. Для контроля состояния животных проведено чипирование поголовья и компьютеризированы ветеринарный учет и отчетность. В перспективе – внедрение в сельскохозяйственные предприятия цифровой агрологистики для сопровождения продукции “от поля до порта”.

В Приволжском федеральном округе в 2019 г. на базе 54 пилотных сельхозпредприятий апробирована система мониторинга “Телеагроном”, осуществлявшая оперативную диагностику и прогнозирование болезней пяти основных сельскохозяйственных культур региона – ячменя, ржи, овса, моркови и картофеля. В результате была оцифрована информация о 50-и тысячах эталонов заболеваний растений и разработана стратегия защиты растений и внесения удобрений в зависимости от 15 ключевых факторов, влияющих на прибавку урожая и качественные показатели продукции. Система учитывает индивидуальные особенности каждого растения, что позволило снизить затраты на 30%.

Татарстан, занимающий второе место в стране по производству

сельскохозяйственной продукции, входит в число лидеров по внедрению цифровых технологий в сельском хозяйстве. Республика создала самое продвинутое в стране министерство информатизации и связи, а также построила город IT-технологий – Иннополис, что позволило республике одной из первых начать внедрение цифровых технологий в аграрную сферу. На сегодня в Татарстане оцифровано 96% пашни, что позволяет региональным чиновникам выявить неиспользуемые более трех земли и вернуть их государству. В регионе создана уникальная база данных о сельскохозяйственных угодьях, включающая оцифрованную информацию по 41 тыс. полей с 1987 г. Информация ежегодно автоматически обновляется и дополняется, при этом ход посевных работ отслеживается в режиме онлайн, когда специалисты районного департамента могут определить на электронной карте полей недобросовестных хозяйственников и принять своевременные меры. Специалисты “Телеагронома” обобщают данные космической съемки, паспортизацию полей, лабораторных анализов почвы и образцов семенного материала за последние десять лет. Они разрабатывают рекомендации и еженедельно передают их сельхозпредприятиям перед началом посевных работ и в течение всего летнего сезона в мессенджере WhatsApp и по электронной почте. Это позволяет сельхозпредприятиям производить экологически чистые продукты, рыночная цена которых в регионе в пять раз выше по сравнению с продуктами, полученными традиционными методами производства.

Уральский федеральный округ выделяется среди других регионов тем, что все области региона внедрили цифровые технологии в сельское хозяйство, и на Российской агропромышленной выставке “Золотая осень” региональный проект “Цифровизация управления агротехнологиями” был удостоен золотой медали. Информационные базы данных и компьютерные программы для проектирования агротехнологий, мониторинга техники и контроля состояния сельскохозяйственных угодий создаются в Курганском НИИСХ. Цифровые технологии пришли в сельское хозяйство Урала задолго до принятия федеральной программы. Только за период 2008-2017 гг. количество спутниковых систем навигации увеличилось в 10 раз. В 2015 г. регион подключился к единой федеральной системе мониторинга использования сельскохозяйственных земель. По оценке Минсельхозпрода уровень цифровизации аграрной сферы УФО в настоящее время выше среднего по стране, а Челябинская область, в которой оцифровано 96% сельскохозяйственных угодий, по использованию цифровых агросистем вышла на первое место в стране.

В Сибирском федеральном округе цифровизация сельского хозяйства осуществляется достаточно организованно. Регион располагает самой большой в стране площадью сельскохозяйственных угодий в 6.5 млн. га, 94% которых оцифрована. В 2018 г. Алтайский край был выбран в качестве пилотного региона для разработки единой цифровой системы для фермеров,

которая позволяет через компьютеризированный личный кабинет решать вопросы получения госсубсидий, приобретение запчастей, материалов, техники, сбыта продукции, а также получить консультации экспертов по расчету норм высева и удобрений. В Новосибирской области разработана и внедрена цифровая система “модульных вертикальных теплиц”, позволяющая выращивать овощи на крышах городских домов.

В Дальневосточном федеральном округе перевод сельского хозяйства на “цифру” только начинается, что можно объяснить большой протяженностью региона и достаточными сложными условиями ведения сельского хозяйства, когда все ресурсы направлены в первую очередь на получение продукции. В регионе осуществляется мониторинг сельскохозяйственных угодий, состояния посевов и индекса вегетации растений, установлена система управления сельскохозяйственной техникой, автоматическое составление документов, созданы электронные карты урожайности и база данных о крестьянско-фермерских хозяйствах.

Объем отечественного рынка информационно-цифровых технологий в сельском хозяйстве оценивается в 360 млрд. руб., а через пять лет прогнозируется его пятикратный рост, что позволит внедрить современные IT-системы во все сферы производственно-финансовой деятельности производителей сельскохозяйственной продукции. Следует отметить, что по оценкам Минсельхоза РФ отечественными являются не более 40% применяемых цифровых технологий [8, 9].

**Заключение.** Процесс цифровизации сельского хозяйства в России идет достаточно активно в большинстве регионов. Межрегиональные и внутрирегиональные сравнения этого процесса показали, что возможности регионов неодинаковы, поэтому отмечены весьма существенные различия, связанные, прежде всего, с уровнем производства сельскохозяйственной продукции и, соответственно, получаемыми финансовыми результатами.

Обобщая рассмотренные материалы, можно констатировать, что единообразной стратегии цифровизации аграрной сферы в регионах нет, у каждого свои возможности и масштабы освоения цифровых технологий. Вместе с тем наиболее эффективной в мировой практике признана единая информационная система АПК, позволяющая с помощью телекоммуникационных средств обеспечить взаимосвязь хозяйствующих субъектов между собой [6].

В растениеводстве большей части регионов цифровизация носит разрозненный характер, когда на “цифру” переводятся отдельные рабочие процессы, тогда как в животноводстве оцифровывается весь процесс получения продукции по технологии “Умная ферма”, что связано со спецификой отрасли. Внедрение взаимосвязанной цифровой системы в растениеводстве возможно только на базе современной системы машин для возделывания сельскохозяйственных культур, которой пока нет во многих регионах. Наиболее успешно в регионах используется достаточно эффективная система управления земельными ресурсами на основе

технологии ГЛОНАСС и беспилотной аэрофотосъемки. В России разработана и внедряется информационно-аналитическая система “Единый центр дистанционного спутникового мониторинга АПК”, позволяющая проводить инвентаризацию и паспортизацию сельхозпроизводителей, контролировать использование сельскохозяйственных угодий, выявить неиспользуемые в течение трех лет земли и вернуть их государству. Кроме этого, система позволяет оценить уровень плодородия пашни, а также соблюдение севооборотов, контролировать в режиме онлайн работу техники на полях и при необходимости вносить коррективы, что, в конечном счете, позволит исключить влияние человеческого фактора на эффективность производственного процесса в растениеводстве [3].

Наиболее сложно процесс цифровизации осуществляется в малых формах хозяйствования – крестьянских (фермерских) хозяйствах и личных хозяйствах населения (ЛПХ), что, прежде всего, связано с финансовой стороной вопроса. Поэтому за счет бюджетных средств необходимо создать единую информационную систему для фермеров, которая позволит им решать через автоматизированный личный кабинет вопросы, связанные с получением субсидий, сбытом продукции, приобретением сырья и материалов, основных средств, а также консультации от специалистов по различным направлениям их деятельности. В Волгоградской области уже пять лет успешно применяется Государственная система мониторинга сельхозугодий “Агропортал”, в которую входит электронная похозяйственная книга, аккумулирующая информацию о ЛПХ: учет ресурсов, создание электронной площадки для торговли продукцией и закупок этой продукции на муниципальном уровне.

Завершающим этапом цифровизации агросферы в регионах России будет оцифровка агрологистики, т.е. сопровождение продукции “от поля до порта”, что позволит оптимизировать затраты на транспортировку грузов, нарастить экспортную прибыль. И наконец, в сельскохозяйственных организациях целесообразно внедрять системы управления предприятием (ERP), которые позволят эффективно управлять финансовыми и трудовыми ресурсами, активами, планировать бюджет.

### Список литературы

1. Агибалов, А.В. Цифровое сельское хозяйство: от федерального проекта к региональным решениям / А.В. Агибалов, Л.А. Запорожцева // Политэкономические проблемы развития современных агроэкономических систем: сб. науч. стат. 4-й Междунар. науч.-практ. конф. – Воронеж: ВГАУ, 2019. – С. 87-89.
2. Анищенко, А.Н. “Умное” сельское хозяйство как перспективный вектор роста аграрного сектора экономики России / А.Н. Анищенко // Продовольственная политика и безопасность. – 2019. – Т.6. – №2. – С. 97-108.
3. Астахова, Т.Н. Децентрализованная цифровая платформа сельского хозяйства / Т.Н. Астахова, М.О. Колбанев, А.А. Шамин // Вестник НГИЭИ. – 2018. – №6 (85). – С. 5-17.

4. Афолина, В.Е. Влияние цифровизации на развитие аграрного сектора экономики. В.Е. Афолина // [Электронный ресурс] – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-tsifrovizatsii-na-razvitie-agrarnogo-sektora-ekonomiki/viewer> (дата обращения: 27.04.2020).
5. Белая, А. Конец ручного управления. Какие цифровые технологии внедряются на животноводческих предприятиях [Электронный ресурс] / А. Белая // Агроинвестор. – 2020. – №3. – Режим доступа: <https://clck.ru/QbAix>
6. Бельский, В.И. Преимущества и проблемы цифровизации сельского хозяйства. В.И. Бельский. // Сб. научных трудов “Проблемы экономики” Белорусской ГСХА. – 2019. – С. 12-19.
7. Быков, С.Н. Цифровые платформы для сельского хозяйства / С.Н. Быков, Н.А. Стенина // Современные тенденции сельскохозяйственного производства в мировой экономике: Матер. XVIII Междунар. науч.-практ. конф. – Изд-во Кузбасская ГСХА, 2019. – С. 178-186.
8. Волкова, А.А. Цифровизация как способ активизации инновационной деятельности в сельском хозяйстве / А.А. Волкова. // Молодой ученый. – 2020. – № 2 (292). – С. 244-246. [Электронный ресурс] – URL: <https://moluch.ru/archive/292/66221/> (дата обращения: 20.01.2021).
9. Петерс, И.А. Цифровые технологии и их роль в современной экономике. И.А. Петерс, Е.Е. Смотров. // Матер. Международной научно-практ. конф. Волгоградского ГАУ. – 2019. – С. 232-236.
10. Плотников, А.В. Роль цифровой экономики для агропромышленного комплекса А.В. Плотников // Московский экономический журнал № 7 [Электронный ресурс] – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rol-tsifrovoy-ekonomiki-dlya-agropromyshlennogo-kompleksa/viewer> (дата обращения: 22.04.2020).

#### References

1. Agibalov, A.V. Zaporozhtseva, L.A. Tsifrovoye sel'skoye khozyaystvo: ot federal'nogo proyekta k regional'nym resheniyam [Digital agriculture: from a federal project to regional solutions]. Voronezh: VGPU, 2019, pp. 87-89.
2. Anishchenko, A.N. “Umnoye” sel'skoye khozyaystvo kak perspektivnyy vektor rosta agrarnogo sektora ekonomiki Rossii [“Smart” agriculture as a promising vector for the growth of the agrarian sector of the Russian economy]. Provol'stvennaya politika i bezopasnost', 2019, vol. 6, no. 2, pp. 97-108.
3. Astakhova, T.N. et all. Detsentralizovannaya tsifrovaya platforma sel'skogo khozyaystva [Decentralized digital platform for agriculture]. Vestnik NGIEI, 2018, no.6 (85), pp. 5-17.
4. Afonina, V.Ye. Vliyanie tsifrovizatsii na razvitiye agrarnogo sektora ekonomiki [The impact of digitalization on the development of the agricultural sector of the economy]. <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-tsifrovizatsii-na-razvitie-agrarnogo-sektora-ekonomiki/viewer> (data obrashcheniya: 27.04.2020).
5. Belaya, A. Konets ruchnogo upravleniya. Kakiye tsifrovyye tekhnologii vnedryayutsya na zhivotnovodcheskikh predpriyatiyakh [End of manual control. What digital technologies are being introduced at livestock enterprises]. Agriinvestor, 2020, no. 3, <https://clck.ru/QbAix>.
6. Bel'skiy, V.I. Preimushchestva i problemy tsifrovizatsii sel'skogo khozyaystva. [Advantages and problems of digitalization of agriculture]. Sbornik nauchnykh trudov “Problemy ekonomiki” Belorusskoy GSKHA, 2019, pp. 12-19.
7. Bykov, S.N., Stenina, N.A. Tsifrovyye platformy dlya sel'skogo khozyaystva [Digital platforms for agriculture]. Kemerovo, 2019, pp. 178-186.
8. Volkova, A.A. Tsifrovizatsiya kak sposob aktivizatsii innovatsionnoy deyatel'nosti v sel'skom khozyaystve [Digitalization as a way to enhance innovation in agriculture]. Molodoy ucheny, 2020, no. 2 (292), pp. 244-246. <https://moluch.ru/archive/292/66221/>

9. Peters, I.A., Smotrova, Ye.Ye. Tsifrovyye tekhnologii i ikh rol' v sovremennoy ekonomike [Digital technologies and their role in the modern economy]. Volgograd, 2019, pp. 232–236.

10. Plotnikov, A.V. Rol' tsifrovoy ekonomiki dlya agropromyshlennogo kompleksa [The role of the digital economy for the agro-industrial complex]. Moskovskiy ekonomicheskiy zhurnal, no. 7, <https://cyberleninka.ru/article/n/rol-tsifrovoi-ekonomiki-dlya-agropromyshlennogo-kompleksa/viewer>

**Авторский вклад.** Автор настоящего исследования принимала непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе полученных данных. Автор настоящей статьи ознакомилась и одобрила 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: 27.04.2022

Поступила после рецензирования и доработки / Revised: 22.06.2023

Дата принятия к печати / Accepted: 29.06.2023

### **Сведения об авторе:**

Гончарова Нина Зиновьевна – доктор экономических наук, профессор, ФГБОУ ВО Смоленская государственная сельскохозяйственная академия.

**Контактная информация:** ФГБОУ ВО Смоленская государственная сельскохозяйственная академия, 214038, г. Смоленск, ул. Кловская, 42-17, тел. 89107176742, e-mail: topsi3@mail.ru.

### **Information about author:**

Nina Z. Goncharova – Doctor of Economics Professor, Smolensk State Agricultural Academy.

**Contact information:** Smolensk State Agricultural Academy, 214038, Smolensk, Klovskaaya str., 42-17, tel. 89107176742, E-mail topsi3@mail.ru.



DOI 10.51215/2411-6483-2023-(2)47-68-83

УДК 519.863:63

Научная статья

## ОПТИМИЗАЦИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ ВАЛОВОГО СБОРА В МУНИЦИПАЛЬНЫХ РАЙОНАХ

Иваньо Я.М., Николаев М.Н., Петрова С.А.

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

**Аннотация.** В работе рассмотрены модели планирования производства растениеводческой продукции и заготовки пищевых дикорастущих ресурсов для территорий с развитым сельским хозяйством и богатой лесной продукцией. К подобным территориям относится Иркутская область. Для оптимизации производства растениеводческой продукции предложена модель параметрического программирования с использованием многоуровневых трендов, характеризующих усредненные, благоприятные и неблагоприятные тенденции развития производственных процессов. При моделировании заготовки пищевых дикорастущих ресурсов применена линейная экстремальная задача с интервальными оценками коэффициентов при неизвестных и правых частях ограничений. При использовании задачи параметрического программирования получены планы производства основных сельскохозяйственных культур на среднесрочную перспективу с оценкой возможных потерь продукции. При моделировании объемов заготовки дикоросов из множества оптимальных решений, полученных с использованием метода статистических испытаний, выделены оптимальные планы, соответствующие медиане, верхней и нижней оценкам целевой функции в виде доходов. Это позволяет определять планы для усредненных, благоприятных и неблагоприятных условий заготовки дикоросов. Модели реализованы для двух муниципальных районов Иркутской области. Они показали потенциальные возможности развития сельского хозяйства и заготовки пищевых ресурсов в выделенных районах региона. При этом предложенные модели способствуют определению результатов деятельности сельскохозяйственных товаропроизводителей и заготовителей не только в усредненных условиях, но в неблагоприятных и неблагоприятных случаях. Для конкретных муниципальных районов доходы от сочетания ведения сельского хозяйства и заготовки дикоросов могут возрасти на десятки процентов, что в определенной степени компенсирует возможные потери.

**Ключевые слова:** многоуровневые тренды, задача параметрического программирования, задача линейного программирования, интервальные оценки, аграрное производство, заготовка дикоросов.

**Для цитирования:** Иваньо Я.М., Николаев М.Н., Петрова С.А. Оптимизация получения продовольственной продукции для планирования валового сбора в муниципальных районах. *Электронный научно-практический журнал “Актуальные вопросы аграрной науки”*. 2023; 2 (47):68-83. DOI: 10.51215/2411-6483-2023-(2)47-68-83.

## OPTIMIZATION OF OBTAINING FOOD PRODUCTS FOR PLANNING GROSS HARVEST IN MUNICIPAL DISTRICTS

Yaroslav M. Ivanyo, Matvey N. Nikolaev, Sofya A. Petrova

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

**Abstract.** The paper considers models for planning the production of crop products and harvesting wild food resources for areas with developed agriculture and rich forest products. Irkutsk region belongs to such territories. A parametric programming model using multilevel trends characterizing average, favorable and unfavorable situations in the development of production processes is proposed to optimize the production of crop products. A linear extremal problem with interval estimates of the coefficients for unknown and right parts of the constraints is applied in modeling the harvesting of wild growing food resources. When using the problem of parametric programming, plans for the production of major crops for the medium term with an assessment of possible losses of production were obtained. When modeling the volumes of harvesting wild plants, from the set of optimal solutions obtained using the method of statistical tests, optimal plans were selected that correspond to the median, upper and lower estimates of the objective function in the form of income. This allows you to determine plans for average, favorable and unfavorable conditions for harvesting wild plants. The models were implemented for two municipal districts of the Irkutsk region. They showed the potential for the development of agriculture and the harvesters of food resources in the selected areas of the region. At the same time, the proposed models contribute to determining the results of the activities of agricultural producers and procurers not only in average conditions, but in adverse and unfavorable cases. For specific municipal districts, income from a combination of farming and harvesting wild plants can increase by tens of percent, which to a certain extent compensates for possible losses.

**Keywords** multilevel trends, parametric programming problem, linear programming problem, interval estimates, agricultural production, harvesting of wild plants.

**For citation:** Ivanyo Ya.M., Nikolaev M.N., Petrova S.A. Optimization of obtaining food products for planning gross harvest in municipal districts. *Electronic scientific-Practical journal “Actual issues of agrarian science”*. 2023; 2 (47):68-83. DOI: 10.51215/2411-6483-2023-(2)47-68-83.

**Введение.** Оптимизация производства аграрной продукции необходима для увеличения эффективности и прибыльности сельскохозяйственных предприятий и заготовителей дикоросов на территориях с развитым сельским хозяйством и богатыми пищевыми ресурсами леса, к которым относится и Иркутская область [11, 13, 23]. Оптимальное использование ресурсов позволяет сокращать издержки на производство и заготовку, повышать качество продукции, снижать риски и увеличивать доходы.

Для оптимизации получения продовольственной продукции большое значение имеет оценка характеристик, водящих в математическую модель, и, прежде всего, урожайности сельскохозяйственных культур и дикоросов [1, 4, 6, 11, 13]. Это нужно для того, чтобы оценить возможный урожай на основе различных факторов, что помогает товаропроизводителям, заготовителям и

другим заинтересованным сторонам в планировании своей деятельности. Моделирование урожаев может помочь хозяйствам в адаптации к изменяющимся климатическим условиям и уменьшить риски, связанные с экстремальными погодными условиями и другими неблагоприятными факторами [7, 13].

Между тем для управления сложными системами, к которым относятся объекты сельского хозяйства, с необходимостью их разнообразного ресурсного обеспечения [8], выбора оптимальных вариантов функционирования [10, 16, 20], реализации процессов вертикально-интегрированного производства компаний [21], взаимодействия аграрных субъектов [24], использования разной государственной поддержки на федеральном и региональном уровнях [15, 22], учетом рисков [17] требуется цифровая трансформация аграрной сферы [2, 9, 14].

Большое значение для эффективной деятельности товаропроизводителя и заготовителя дикоросов имеет адаптация к природно-климатическим условиям местности.

Иркутская область разделена на агроландшафтные районы [18, 19]. Каждый агроландшафтный район характеризуется своей спецификой почв, климата, растительности, гидрологии и других факторов, которые влияют на возможности сельского хозяйства. В состав агроландшафтных районов входят муниципальные районы. К этому добавим, что климат Восточной Сибири подвергается изменениям [3, 12].

В работе [13] на территории Иркутской области выделено пять кластеров по заготовке, переработке и реализации пищевой дикорастущей продукции. Во многих муниципальных районах можно производить аграрную продукцию и заготавливать пищевые дикорастущие ресурсы.

Поэтому целью работы является построение двух моделей для оптимизации растениеводческой продукции с использованием однопараметрической экстремальной задачи и моделирования заготовки дикоросов на основе задачи линейного программирования с интервальными оценками. Разработанные модели реализованы для двух муниципальных районов, характеризующихся хорошим уровнем аграрного производства и значительным потенциалом дикоросов.

**Материалы и методы.** В работе использованы материалы по производству растениеводческой продукции в Иркутском и Усольском районах за 1996-2021 гг., а также данные по заготовке пищевых дикорастущих ресурсов в этих районах [11, 13].

Для нахождения оптимальных решений и планирования производства аграрной продукции использованы многоуровневые тренды [7] и методы параметрического программирования [5, 12]. Для моделирования разных вариантов получения объемов заготовки дикоросов использованы методы линейной оптимизации с интервальными оценками [12, 13].

**Основные результаты.** Рассмотрим сначала задачу параметрического программирования применительно к оптимизации производства растениеводческой продукции в усредненных и неблагоприятных условиях, а затем задачу оптимизации заготовки пищевых дикорастущих ресурсов с интервальными оценками.

*Оптимизация производства аграрной продукции.* Для построения прикладных моделей математического программирования необходимо проанализировать их характеристики. Часть из этих характеристик может быть описана в виде многоуровневых трендов, которые отображают многоуровневую структуру ряда. К ним можно отнести урожайность сельскохозяйственных культур, обладающая свойствами роста и случайных колебаний [7, 12].

Общий вид многоуровневого тренда можно записать в следующем виде:

$$y_t^h = f(t)^h + \varepsilon_t^h, \quad (1)$$

где  $f(t)^h$  – некоторые функции, характеризующие последовательности всего ряда, нижних и верхних уровней;  $h$  – номер последовательности уровней;  $\varepsilon_t^h$  – остаток ряда, определяемый как разность между фактическими значениями и значениями трендов последовательностей нижних и верхних уровней.

Функции  $f(t)^h$  могут быть линейными и нелинейными. Согласно [6, 7, 12] для оценки изменчивости производственно-экономических показателей сельского хозяйства очень часто применимы зависимости в виде степенного выражения. Между тем в работах [4, 5, 6] показано, что при затруднительности описания тенденций нелинейными функциями с неограниченностью возрастания (убывания) эффективными являются тренды с насыщением. В качестве таковых можно использовать асимптотическую и логистическую функции:

$$\frac{dy^h}{dt} = k^h (y_m^h - y^h), \quad (2)$$

$$\frac{dy^h}{dt} = \alpha^h y^h (y_m^h - y^h), \quad (3)$$

где  $y_m^h$  – уровень насыщения (верхняя оценка) для разных последовательностей  $h$ ;  $k^h$ ,  $\alpha^h$  – коэффициенты, характеризующие скорость роста функций.

Преимущества этих моделей заключаются в прогностических возможностях с разной заблаговременностью, адекватном описании временных рядов с высокой дисперсией и наличием параметров управления в виде верхних и нижних оценок [12].

Используем формулу (1) для разных функций  $f(t)^h$ , чтобы определить наилучшие зависимости для описания урожайности сельскохозяйственных культур на примере Иркутского и Усольского районов.

В таблице 1 приведены модели, отобранные по критериям точности  $R^2$ , значимости выражения ( $F$ -критерий Фишера) и значимости коэффициентов ( $t$ -статистики Стьюдента) для моделирования урожайности зерновых культур, картофеля и овощных культур по данным Усольского и Иркутского районов.

Таблица 1 – Результаты моделирования средней урожайности зерновых и овощных культур по муниципальным районам Иркутской области по данным 1997-2021 гг.

Table 1 – The results of modeling the average yield of grain and vegetable crops for the municipal districts of the Irkutsk region according to the data of 1997-2021

Зерновая культура	Уравнение регрессии	Коэффициент детерминации, $R^2$	$F$ -критерий Фишера	$ t$ -статистики Стьюдента
<b>Иркутский район</b>				
Пшеница	$y=24.6/(1+e^{-0.06^*t})$	0.53	27.37	5.23
Ячмень	$y=24.9-18.1e^{-0.055t}$	0.37	14.01	3.74
Овес	$y=20.4/(1+e^{-0.098t})$	0.54	27.24	5.22
Картофель	$y=181.3/(1+e^{-0.121t})$	0.45	19.93	4.46
Капуста	$y=414.5/(1+e^{-0.090t})$	0.46	20.72	4.55
Свекла	$y=247.7/(1+e^{-0.999t})$	0.55	28.87	5.37
<b>Усольский район</b>				
Пшеница	$y=28.7/(1+e^{-0.102}t)$	0.69	54.20	7.36
Ячмень	$y=31.4/(1+e^{-0.117t})$	0.59	34.02	5.83
Овес	$y=25.9/(1+e^{-0.116t})$	0.68	51.48	7.17
Картофель	$y=222/(1+e^{-0.123t})$	0.52	25.66	5.07
Капуста	$y=616.9/(1+e^{-0.199t+2.12})$	0.50	23.35	4.83
Свекла	$y=332.9-234.4e^{-0.096t}$	0.55	29.08	5.39

Сравнение результатов выделения трендов во временных рядах зерновых и овощных культур для разных муниципальных образований показывает преимущество выражений, полученных по данным Усольского района.

В Иркутском районе тренды по урожайности ячменя, картофеля и капусты являются неустойчивыми, поскольку коэффициент детерминации ниже 0.50.

В таблице 2 отображены результаты моделирования низкой урожайности зерновых, картофеля и овощных культур. Как и в предыдущем случае, результаты моделирования урожайности для Иркутского района хуже, чем для Усольского муниципального образования.

Таблица 2 – Результаты моделирования низкой урожайности зерновых и овощных культур по двум муниципальным районам Иркутской области по данным 1997-2022 гг.

Table 2 – The results of modeling low yields of grain and vegetable crops for two municipal districts of the Irkutsk region according to 1997-2022 data

Зерновая культура	Уравнение регрессии	Коэффициент детерминации, $R^2$	F-критерий Фишера	t-статистики Стьюдента
Иркутский район				
Пшеница	$y=17.6/(1+e^{-0.160t})$	0.65	11.02	3.32
Ячмень	$y=17-10.2e^{-0.115t}$	0.54	5.80	2.41
Овес	$y=16.8/(1+e^{-0.136t})$	0.53	6.79	2.61
Картофель	$y=175.5/(1+e^{-0.123t})$	0.38	5.00	2.24
Капуста	$y=355.6/(1+e^{-0.136t})$	0.49	0.49	6.81
Свекла	$y=206.1/(1+e^{-0.131t})$	0.41	4.88	2.21
Усольский район				
Пшеница	$y=23.9/(1+e^{-0.180t})$	0.80	24.35	4.93
Ячмень	$y=27.4/(1+e^{-0.141t})$	0.78	21.70	4.66
Овес	$y=22.2/(1+e^{-0.155t})$	0.79	26.85	5.18
Картофель	$y=207.7/(1+e^{-0.170t})$	0.54	8.32	2.89
Капуста	$y=530.6/(1+e^{-0.351t+3.271})$	0.54	5.93	2.44
Свекла	$y=253.7/(1+e^{-0.173t})$	0.67	14.22	3.77

Полученные результаты могут быть использованы в модели параметрического программирования [4, 12]. Приведем пример задачи параметрического программирования, в которой целевая функция характеризует максимум дохода сельскохозяйственного предприятия:

$$\sum_{s \in S} c_s^h x_s \rightarrow \max \quad (4)$$

при условиях:

ограниченности производственных ресурсов

$$\sum_{s \in S} a_{ls}^h x_s \leq A_l^h, \quad l \in L; \quad (5)$$

ограниченности размера растениеводческой отрасли

$$\underline{n}_r \leq \sum_{s \in S} (1 + \beta_s) x_s \leq \bar{n}_r, \quad r \in R; \quad (6)$$

производства конечной продукции заданного объема

$$\sum_{s \in S} v_{qs}^h(t) x_s \geq V_q^h, \quad q \in Q; \quad (7)$$

определенного количества вносимых удобрений и средств защиты растений

$$\sum_{s \in S} b_{ms}^h x_s \leq B_m^h, \quad m \in M; \quad (8)$$

неотрицательности переменных

$$x_s \geq 0; \quad (9)$$

где  $h$  – номер тренда: 1 – усредненные условия, 2 – неблагоприятные условия;  $x_s$  – искомая переменная, площадь культуры  $s$  или вида кормовых угодий;  $c_s^h$  – доход от производства единицы  $s$ -культуры или вида кормовых угодий;  $a_{ls}^h$  – расход ресурса  $l$  на единицу площади культуры  $s$  или вида кормовых угодий;  $A_l^h$  – наличие ресурса  $l$ -вида;  $V_q^h$  – гарантированный (обязательный объем) производства продукции вида  $q$ ;  $\bar{n}_r, \underline{n}_r$  – максимальная и минимальная возможная площадь культур группы  $r$ ;  $v_{qs}^h(t)$  – соответственно выход товарной продукции  $q$ -вида с единицы площади культуры  $s$ ;  $\beta_s$  – коэффициент, учитывающий площадь семенных посевов для культуры  $s$ ;  $b_{ms}^h$  – расход удобрений видов  $m$  и средств защиты на единицу площади культуры  $s$  или вида кормовых угодий;  $B_m^h$  – необходимый объем удобрений вида  $m$ ,  $t[t_\alpha, t_\beta]$  - интервал изменения параметра  $t$ , характеризующего время.

Используя модель (4) – (9) и выражения таблиц 1 и 2, в таблицах 3 и 4 приведены плановые показатели производства растениеводческой продукции для Иркутского и Усольского районов, учитывая благоприятные и неблагоприятные условия производства.

**Таблица 3 – Оптимальные решения получения растениеводческой продукции для Иркутского района с усредненными и низкими значениями урожайности сельскохозяйственных культур по данным 1997-2021 гг.**

**Table 3 – Optimal solutions for obtaining crop products for the Irkutsk region with average and low crop yields according to 1997-2021 data**

Год	Пшеница	Ячмень	Овес	Картофель	Капуста	Свекла	Целевая функция, тыс. руб.
	$x_1, m$	$x_2, m$	$x_3, m$	$x_4, m$	$x_5, m$	$x_6, m$	
Усредненные условия							
2023	10725.3	4979.7	4464.8	1747.2	3815.6	696.2	489411.3
2024	10821.9	5032.6	4492.1	1754.5	3842.1	700.4	493090.0
2025	10913.6	5082.7	4517.2	1761.0	3866.6	704.3	496526.9
Неблагоприятные условия							
2023	8737.1	3972.5	3820.1	1694.6	3468.7	601.1	424503.1
2024	8754.1	3984.3	3833.8	1701.4	3479.6	603.2	425765.4
2025	8768.5	3994.7	3846.0	1707.5	3489.1	605.0	426873.9

Для Иркутского района потери в неблагоприятные годы могут составлять 12.8 - 14.0 % относительно усредненных значений.

Согласно полученным данным производство растениеводческой продукции в Усольском районе опережает аналогичное производство в Иркутском районе на более чем 27%. Потери урожайности в неблагоприятные годы для Усольского района могут составить 10.6 - 11.7%.

В заключении отметим, что производство растениеводческой продукции в Усольском районе развивается более высокими темпами по сравнению с Иркутским районом. При этом потери урожайности в Иркутском районе выше по сравнению с Усольским районом. В редких случаях, например, засуха 2015 года, потери могут достигать значений превышающих 30%.

Таблица 4 – Оптимальные решения получения растениеводческой продукции для Усольского района с усредненными и низкими значениями урожайности сельскохозяйственных культур по данным 1997-2021 гг.

Table 4 – Optimal solutions for obtaining crop products for the Usolsky district with average and low crop yields according to 1997-2021 data

Год	Пшеница	Ячмень	Овес	Картофель	Капуста	Свекла	Целевая функция, тыс. руб.
	$x_1, т$	$x_2, т$	$x_3, т$	$x_4, т$	$x_5, т$	$x_6, т$	
Усредненные условия							
2023	13577	7230	5812	2144	5940	947	672862.0
2024	13656	7262	5838	2153	5980	952	676601.8
2025	13728	7292	5862	2160	6013	956	679875.8
Неблагоприятные условия							
2023	11929.86	6435.66	5117.7	2056.3079	5295.58	754.147	598570.1
2024	11944.91	6453.85	5128.66	2059.52	5298.67	755.25	599395.8
2025	11957.51	6469.73	5138.1	2062.24	5300.84	756.17	600083.9

Следует иметь в виду, что точность прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур для Иркутского ниже, чем для Усольского района.

*Оптимизация заготовки пищевых дикорастущих ресурсов.* Около 90 % территории Иркутской области занимают леса. Обладая такими обширными запасами лесных ресурсов целесообразно развивать заготовку и переработку дикорастущей продукции [11, 13].

Ввиду огромных богатств лесных ресурсов актуальным является определение запасов дикорастущей продукции на территории разных муниципальных районов региона с целью планирования и организации их промысла. При этом следует учитывать изменение урожайности, требуемые трудозатраты, необходимость материального обеспечения процесса,

изменчивость цен (вследствие сезонности, экономической и политической обстановки, способах реализации, более или менее глубокой переработки).

Для планирования заготовки дикоросов можно применять методы математического программирования. При этом большинство подобных задач содержат нелинейные, неопределенные и функционально-зависимые параметры [13, 23].

Что касается темы дикоросов, то задачу математического моделирования с интервальными параметрами можно сформулировать следующим образом [13]. Целевая функция представляет собой максимум доходов от реализации дикоросов и имеет следующий вид:

$$f = \sum_{j \in J} \tilde{c}_j x_j \rightarrow \max, \quad (10)$$

где  $\underline{\tilde{c}}_j$  и  $\overline{\tilde{c}}_j$  - нижние и верхние оценки  $\tilde{c}_j$ , характеризующие минимальную и максимальную стоимости единицы продукции дикоросов (ягоды, грибы, орехи, лекарственные растения)  $j$ -вида.

Первая группа ограничений связана с урожайностью орехов, грибов, ягод и лекарственных растений (кг/га):

$$\sum_{j \in J} \frac{x_j}{\tilde{p}_j} \leq \tilde{S}, \quad (11)$$

где  $\underline{\tilde{p}}_j$  и  $\overline{\tilde{p}}_j$  - нижние и верхние оценки  $\tilde{p}_j$ , характеризующие минимальную и максимальную урожайность ягодоносных растений и грибов  $j$ -вида;  $\tilde{S}$  – потенциальная площадь для осуществления сбора дикорастущей продукции  $j$ -вида одним заготовителем;  $\underline{\tilde{S}}$  и  $\overline{\tilde{S}}$  – нижние и верхние оценки  $\tilde{S}$ , характеризующие минимальную и максимальную площадь сбора дикорастущей продукции  $j$ -вида одним заготовителем.

Вторая группа ограничений связана с трудозатратами на заготовку одним заготовителем дикорастущей продукции:

$$\sum_{j \in J} \tilde{k}_j x_j \leq \tilde{K}, \quad (12)$$

где  $\underline{\tilde{k}}_j$  и  $\overline{\tilde{k}}_j$  – нижние и верхние оценки  $\tilde{k}_j$ , характеризующие минимальное и максимальное количество трудовых ресурсов (измеряются в чел.-днях) для заготовки одного килограмма дикорастущей продукции  $j$ -вида одним заготовителем;  $\underline{\tilde{K}}$  и  $\overline{\tilde{K}}$  – нижние и верхние оценки, характеризующие минимальное и максимальное количество имеющихся трудовых ресурсов  $\tilde{K}$  (измеряются в чел.-днях) для заготовки дикорастущей продукции  $j$ -вида одним заготовителем. Трудовые ресурсы по заготовке  $j$ -вида дикоросов

зависят от ягодоносной и грибоносной площадей, трудоемкости сбора ягод и грибов и занятости населения.

Ограничение на неотрицательность переменных имеет следующий вид:

$$x_j \geq 0. \quad (13)$$

При решении задачи (10)–(13) определяется множество оптимальных планов. Здесь для моделирования характеристик модели эффективно использовать метод Монте-Карло. Из заданного множества полученных решений можно выделить оптимальные планы, соответствующие экстремумам и медианному значению целевой функции. Очевидно, что случаи, характеризующие оптимальный план с минимальным критерием  $f_{\max}^{\min}$  описывают неурожайные годы, а решения, связанные с максимальной оценкой  $f_{\max}^{\max}$  – урожайные и благоприятные годы. При этом  $f_{\max}^{\text{medx}}$  соответствуют планы относительно медианы.

Задача (10)–(13) решена для двух муниципальных районов Иркутской области – Иркутского и Усольского (таблица 5 и 6).

Таблица 5 – Решение задачи линейного программирования с интервальными оценками по определению оптимальных объемов заготовки дикоросов в Иркутском районе

Table 5 – Solving the problem of linear programming with interval estimates to determine the optimal volumes of harvesting wild plants in the Irkutsk region

Решение	Орех кедровый, т	Брусника, т	Черника, т	Голубика, т	Клюква, т	Кипрей узколистный, т	Курильский чай, т	Грибы, т
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$
Максимальное	206.95	163.40	51.30	63.60	16.60	292.90	20.17	128,82
Минимальное	74.40	131.90	33.20	30.20	0.30	251.10	20.17	0,30
Медианное	66.61	163.40	51.30	63.60	6.40	292.90	20.17	35,84
Решение	Папоротник-орляк, т	Черемша, т	Боровая матка, т	Грушанка круглолистная, т	Лист брусники, т	Лист черники, т	Значение целевой функции. тыс. руб.	
	$x_9$	$x_{10}$	$x_{11}$	$x_{12}$	$x_{13}$	$x_{14}$		
Максимальное	187.50	76.60	1.00	1.40	23.40	6.50	<b>755 984.99</b>	
Минимальное	120.40	54.40	0.50	0.30	0.30	0.30	<b>386 397.40</b>	
Медианное	116.70	76.60	0.30	1.00	23.81	0.30	<b>552 329.28</b>	

Иркутский район в свою очередь состоит из трех лесничеств: Ангарского, Голоустненского, Иркутского. Для каждого из них была построена модель и решена задача с интервальными оценками, затем полученные объемы продукции оптимальных планов просуммированы. Количество найденных решений каждой задачи составляет 100.

Согласно полученным результатам (таблица 5) можно заключить, что максимальное значение дохода превышает медианное почти на 37%, а минимальное находится ниже на 30%.

Что касается Усольского района (таблица 6), то здесь отклонение максимального дохода от усредненного составило около 18%, а минимального – около 25%.

При этом наибольшие объемы заготовки в Иркутском районе определены для ореха кедрового, грибов, кипрея узколистного, брусники, папоротника, черемши, черники и голубики. В Усольском районе сосредоточены большие объемы кипрея узколистного, грибов, брусники, папоротника-орляка и черемши. В сумме возможные доходы от заготовки и реализации дикорастущих продуктов в Иркутском и Усольском районах Иркутской области составляют порядка 1 млрд. руб.

**Таблица 6 – Решение задачи линейного программирования с интервальными оценками по определению оптимальных объемов заготовки дикоросов в Усольском районе**

**Table 6 – Solving the problem of linear programming with interval estimates to determine the optimal volumes of harvesting wild plants in the Usolsky district**

Решение	Орех кедровый, т	Брусника, т	Черника, т	Голубика, т	Клюква, т	Др. виды ягод (смородина черная и красная, жимолость, малина), т	Кипрей узколистный, т	Курильский чай, т
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$
Максимальное	0.64	85.00	22.00	29.00	11.00	34.00	95.80	4.56
Минимальное	0.64	53.34	22.00	29.00	11.00	0.10	95.80	4.56
Медианное	0.64	85.00	22.00	29.00	11.00	34.00	95.80	4.56
Решение	Грибы, т	Папоротник-орляк, т	Черемша, т	Боровая матка, т	Грушанка круглолистная, т	Лист брусники, т	Лист черники, т	Значение целевой функции, тыс. руб.
	$x_9$	$x_{10}$	$x_{11}$	$x_{12}$	$x_{13}$	$x_{14}$	$x_{15}$	
Максимальное	93.60	62.20	62.20	0.10	0.93	14.80	3.80	<b>294 999.33</b>
Минимальное	93.60	62.20	62.20	0.10	0.10	14.80	3.80	<b>188 721.30</b>
Медианное	93.60	62.20	62.20	0.60	1.30	14.80	3.80	<b>250 413.28</b>

Согласно решению оптимизационной задачи медианное значение доходов в Иркутском районе с тремя лесничествами находится на уровне 552 млн руб. При этом в благоприятные годы эта цифра может достигать более 750 млн руб., а в неблагоприятные – около 390 млн руб. Таким образом, доходы от производства основных видов растениеводческой продукции совместно с заготовкой дикоросов могут достигать в среднем более 1 млрд. рублей.

Для Усольского района доходы от объемов заготовки дикоросов несколько скромнее, составляя примерно 250 млн руб. При этом колебания для благоприятных и неблагоприятных условий колеблются в меньших пределах – 190-295 млн руб. Суммарный доход от производства растениеводческой продукции и заготовки дикоросов составит около 920 млн руб.

**Выводы.** Для планирования производства и заготовки продовольственной продукции предложены модель параметрического программирования с многоуровневыми трендами и линейная модель с интервальными оценками. При этом модели учитывают усредненные и неблагоприятные условия получения продукции.

На примере Иркутского и Усольского районов получены оптимальные планы производства основных сельскохозяйственных культур до 2025 г. при некоторых усредненных условиях. Оценены возможные потери валовой продукции растениеводства, которые могут достигать 10-14%.

На основе задачи линейного программирования с интервальными оценками получены планы заготовки дикоросов. Для Иркутского района колебания доходов от заготовки дикоросов более значительны по отношению к Усольскому району. При этом в малоурожайные годы потери могут составить 25-30% относительно медианных значений.

Таким образом, в регионах с развитым сельским хозяйством и лесами, богатыми пищевыми дикорастущими ресурсами, можно в значительной степени увеличить объемы производимой продукции за счет сочетания производства аграрной продукции и заготовки дикоросов.

#### Список литературы

1. Барсукова, М.Н. Анализ математического обеспечения программных комплексов управления аграрным производством / М.Н. Барсукова, А.Ю. Белякова, Т.С. Бузина // Актуальные вопросы аграрной науки. – 2022. – № 45. – С. 38-47. – URL: <http://agronauka-irsau.ru/edition.php?eid=45>.
2. Буклагин, Д.С. Цифровые технологии управления сельским хозяйством / Д.С. Буклагин // Международный научно-исследовательский журнал – 2021. – № 2 (104) – Ч. 1 Февраль. – С. 136-144
3. Иванько, Я.М. Изменчивость климатических характеристик Восточной Сибири и аграрное производство / Я.М. Иванько // В сб.: Климат, экология, сельское хозяйство Евразии. Матер. междунар. научно-практ. конф. -Иркутск: НЦ РВХ ВСНЦ СО РАМН, 2009. – С. 31-38.
4. Иванько, Я.М. Модели роста с насыщением в задаче параметрического программирования применительно к аграрному производству / Я.М. Иванько, С.А. Петрова, В.В. Цыренжапова // Информационные и математические технологии в науке и управлении. – 2022. – № 2 (26). – С. 42-52. – URL: <https://www.imt-journal.ru/archive/public/journal?id=30>.
5. Иванько, Я.М. Модели с детерминированными и неопределенными параметрами применительно к оптимизации сельскохозяйственных процессов / Я.М. Иванько, М.Н. Барсукова // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. – 2007. – № 6. – С. 156-160.
6. Иванько, Я.М. О некоторых методах математического моделирования в решении задач прогнозирования и планирования производства аграрной продукции / Я.М. Иванько // Актуальные вопросы аграрной науки. – 2021. – № 38. – С. 49-57.
7. Иванько, Я.М. Об одном алгоритме выделения аномальных уровней временного ряда для оценки рисков / Я.М. Иванько, С.А. Петрова // Актуальные вопросы аграрной науки. – 2022. – Вып. 42. – С. 48-57. – URL: <http://agronauka-irsau.ru/edition.php?eid=42>.

8. Кормаков, Л.Ф. О методологии экономического обоснования проектов и программ ресурсного обеспечения аграрного производства / Л.Ф. Кормаков // Техника и оборудование для села. – 2018. – № 4. – С. 42-47.
9. Кравченко, Н.А. Цифровая трансформация аграрного производства как фактор выравнивания регионального развития / Н.А. Кравченко, П.Б. Акмаров О.П. Князева // Наука Удмуртии. – 2022. – № 2 (97). – С. 154-161.
10. Кретова, Ю.И. Математическое моделирование как эффективный инструмент прогнозирования и управления производственными процессами / Ю.И. Кретова, Л.А. Цирульниченко // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. – 2018. – Т. 6. – № 1. – С. 5-13.
11. Лесной план Иркутской области 2019 г. [Электронный ресурс] // Официальный сайт Министерства лесного комплекса Иркутской области. URL: <http://irkobl.ru/sites/alh/documents/lesplan/> (дата обращения: 09.04.2023).
12. Математические и цифровые технологии оптимизации производства продовольственной продукции / Иваньо Я.М. [и др.]; под ред. Я.М. Иваньо. – Молодежный: Изд-во Иркутский ГАУ, 2021. – 220 с.
13. Региональные модели кластеров заготовки, переработки и реализации пищевой дикорастущей продукции / Я.М. Иваньо [и др.]; под ред. Я.М. Иваньо. – Иркутск : Изд-во Иркутский ГАУ, 2019. – 131 с.
14. Рогачев, А.Ф. Система компьютерного моделирования и интеллектуального управления программируемым аграрным производством на основе ретроспективных данных / А.Ф. Рогачев, Е.В. Мелихова // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2021. – № 2 (62). – С. 390-403.
15. Сатин, М.А. Меры государственной поддержки сельского хозяйства Иркутской области / М.А. Сатин // Global and Regional Research. – 2022. – Т. 4, № 1. – С. 69-76.
16. Смагин, Б.И. Эффективность и оптимизация функционирования аграрной сферы производства / Б.И. Смагин // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2019. – № 4 (59). – С. 141-147.
17. Скульская, Л.В. Риски в сельскохозяйственном производстве и пути нейтрализации их негативного воздействия. / Л.В. Скульская, Т.К. Широкова // Научные труды: Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН. – 2010. Т. 8. – С. 478-501.
18. Солодун, В.И. Сельскохозяйственное районирование и использование агроландшафтов в земледелии Иркутской области Монография. / В.И. Солодун. – Иркутск: Изд-во Иркутского ГАУ. – 2018. – 215 с.
19. Солодун, В.И. Научные основы адаптивно-ландшафтных систем земледелия Предбайкалья / В.И. Солодун, А.М. Зайцев, А.С. Филиппов, Г.О. Такаландзе. – Иркутск: Изд-во ИрГСХА. – 2012. – 448 с.
20. Улезько, А.В. Оптимизация использования продуктивных земель сельского хозяйства / А.В. Улезько, П.В. Демидов // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2019. – № 1 (60). – С. 207-217.
21. Фоменко, А.С. Имитационная модель оптимизации процессов вертикально-интегрированного производства агропромышленных компаний / А.С. Фоменко // Вестник Донецкого национального университета. Серия В. Экономика и право. – 2022. – № 4. – С. 262-275.
22. Щукина, Т.В. Влияние государственной поддержки на развитие сельского хозяйства страны и региона / Т.В. Щукина, Е.И. Щеколкова // Бизнес. Образование. Право. – 2017. – № 3(40). – С. 89-94.

23. Ivanyo, Ya.M. Optimization models of food processing wild-growing products with expert assessments // Critical infrastructures: contingency management, intelligent, agent-based, cloud computing and cyber security (IWCI 2019). / Ya.M. Ivanyo, S.A. Petrova // Proceedings of the VIth International Workshop. Melentiev Energy Systems Institute of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. – 2019. – pp. 108-113.

24. Optimization of interaction of agrarian entities as an imperative of ensuring food security of the state / A.S. Molchan et all // Amazonia Investiga. 2020. – vol. 9. – no. 26. – pp. 242-253.

### References

1. Barsukova, M.N. et all. Analiz matematicheskogo obespecheniya programmnykh kompleksov upravleniya agrarnym proizvodstvom [Analysis of mathematical support of software packages of agricultural production management]. Aktual'nyye voprosy agrarnoy nauki, 2022, no. 45, pp. 38-47. URL: <http://agronauka-irsau.ru/edition.php?eid=45>.

2. Buklagin, D.S. Sifrovyye tekhnologii upravleniya sel'skim khozyaystvom. [Digital technologies for agricultural management]. Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal. 2021, no. 2 (104), vol. 1, pp. 136-144.

3. Ivanyo, Ya.M. Izmenchivost' klimaticheskikh kharakteristik Vostochnoy Sibiri i agrarnoye proizvodstvo [Variability of climatic characteristics of Eastern Siberia and agricultural production]. Irkutsk, 2009, pp. 31-38.

4. Ivanyo, Ya.M. et all. Modeli rosta s насыshcheniem v zadache parametricheskogo programmirovaniya primenitel'no k agrarnomu proizvodstvu [Growth models with saturation in the problem of parametric programming as applied to agricultural production]. Informacionnye i matematicheskie tekhnologii v nauke i upravlenii. 2022, no. 2(26), pp. 42-52. URL: <https://www.imt-journal.ru/archive/public/journal?id=30>.

5. 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 in relation to the optimization of agricultural processes]. Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa, 2007, no. 6, pp. 156-160.

6. Ivanyo, Ya.M. O nekotorykh metodah matematicheskogo modelirovaniya v reshenii zadach prognozirovaniya i planirovaniya proizvodstva agrarnoy produktsii [On some methods of mathematical modeling in solving the problems of forecasting and planning agricultural production]. Aktual'nyye voprosy agrarnoy nauki, 2021, no. 38, pp. 49-57.

7. Ivanyo, Ya.M., Petrova S.A. Ob odnom algoritme vydeleniya anomal'nyh urovnej vremennogo ryada dlya ocenki riskov [About one algorithm for selecting anomal levels of a time series for risk assessment]. Aktual'nyye voprosy agrarnoy nauki, 2022, no. 42, pp. 48-57. URL: <http://agronauka-irsau.ru/edition.php?eid=42>.

8. Kormakov, L.F. O metodologii ekonomicheskogo obosnovaniya proyektov i programm resursnogo obespecheniya agrarnogo proizvodstva [On the methodology of economic justification of projects and programs of resource support for agricultural production]. Tekhnika i oborudovaniye dlya sela, 2018, no. 4, pp. 42-47.

9. Kravchenko, N.A. et all. Tsifrovaya transformatsiya agrarnogo proizvodstva kak faktor vyravnivaniya regional'nogo razvitiya [Digital transformation of agricultural production as a factor in the alignment of regional development]. Nauka Udmurtii, 2022, no. 2 (97), pp. 154-161.

10. Kretova, Yu.I., Tsirolnichenko L.A. Matematicheskoye modelirovaniye kak effektivnyy instrument prognozirovaniya i upravleniya proizvodstvennymi protsessami [Mathematical modeling as an effective tool for forecasting and managing production processes]. Vestnik YUzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. 2018, vol. 6, no. 1, pp. 5-13.

11. Lesnoj plan Irkutskoj oblasti 2019 g. [Forest plan of the Irkutsk region 2019]. URL: <http://irkobl.ru/sites/alh/documents/lesplan> (date of access: 04/09/2023).

12. Ivanyo, Ya.M. et all. Matematicheskie i cifrovye tekhnologii optimizatsii proizvodstva prodovol'stvennoj produkcii [Mathematical and digital technologies of optimization food production]. Molodezhnyy, 2021, 220 p.
13. Ivanyo, Ya.M. et all. Regional'nye modeli klasterov zagotovki, pererabotki i realizatsii pishchevoj dikorastushchej produkcii [Regional models of clusters of procurement, processing and sale of wild food products]. Irkutsk, 2019, 131 p.
14. Rogachev, A.F., Melikhova E.V. Sistema komp'yuternogo modelirovaniya i intellektual'nogo upravleniya programmiruyemym agrarnym proizvodstvom na osnove retrospektivnykh dannykh [System of computer modeling and intelligent control of programmable agricultural production based on retrospective data]. Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa, 2021, no. 2 (62), pp. 390-403.
15. Satin, M.A. Mery gosudarstvennoy podderzhki sel'skogo khozyaystva Irkutskoy oblasti [Measures of state support for agriculture in the Irkutsk region]. Global and Regional Research, 2022, vol. 4, no. 1, pp. 69-76.
16. Smagin, B.I. Effektivnost' i optimizatsiya funktsionirovaniya agrarnoy sfery proizvodstva [Efficiency and optimization of the functioning of the agrarian sphere of production]. Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, 2019, no. 4 (59), pp. 141-147.
17. Skulskaya, L.V., Shirokova T.K. Riski v sel'skokhozyaystvennom proizvodstve i puti neytralizatsii ikh negativnogo vozdeystviya [Risks in agricultural production and ways to neutralize their negative impact]. Institut narodnokhozyaystvennogo prognozirovaniya RAN, 2010, vol. 8, pp. 478-501.
18. Solodun, V.I. Sel'skokhozyaystvennoye rayonirovaniye i ispol'zovaniye agrolandshaftov v zemledelii Irkutskoy oblasti [Agricultural zoning and the use of agrolandscapes in agriculture of the Irkutsk region]. Irkutsk, 2018, 215 p.
19. Solodun, V.I. et all. Nauchnyye osnovy adaptivno-landshaftnykh sistem zemledeliya Predbaykal'ya [Scientific foundations of adaptive-landscape systems of agriculture in the Cis-Baikal region]. Irkutsk, 2012, 448 p.
20. Ulezko, A.V., Demidov P.V. Optimizatsiya ispol'zovaniya produktivnykh zemel' sel'skogo khozyaystva [Optimization of the use of productive agricultural land]. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, 2019, no. 1 (60), pp. 207-217
21. Fomenko, A.S. Imitatsionnaya model' optimizatsii protsessov vertikal'no-integririrovannogo proizvodstva agropromyshlennykh kompaniy [Simulation model for optimizing the processes of vertically integrated production of agro-industrial companies]. Vestnik Donetskogo natsional'nogo universiteta. Seriya B. Ekonomika i pravo, 2022, no. 4, pp. 262-275.
22. Schukina, T.V., Shchekolkova E.I. Vliyaniye gosudarstvennoy podderzhki na razvitiye sel'skogo khozyaystva strany i regiona [The impact of state support on the development of agriculture in the country and the region]. Biznes. Obrazovaniye. Pravo, 2017, no. 3(40), pp. 89-94.

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

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие конфликта интересов.

**Author Contributions.** All authors of this study were directly involved in the planning, execution, and analysis of this study. All authors of this article have read and approved the final version.

**Conflict of Interest.** The authors declare no conflict of interest.

### **История статьи/ Article history:**

Дата поступления в редакцию/ Received: 27.04.2023

Поступила после рецензирования и доработки / Revised: 22.06.2023

Дата принятия к печати / Accepted: 29.06.2023

### **Сведения об авторах**

Иваньо Ярослав Михайлович – доктор технических наук, профессор кафедры информатики и математического моделирования. проректор по цифровой трансформации Иркутского государственного аграрного университета им. А.А. Ежевского.

**Контактная информация:** ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, 664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, пос. Молодежный, тел. 83952237491, e-mail: iasa\_econ@rambler.ru; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4118-7185>.

Николаев Матвей Евгеньевич – бакалавр 4-го курса направления подготовки 09.03.03 Прикладная информатика Иркутского государственного аграрного университета им. А.А. Ежевского.

**Контактная информация** ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, 664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, пос. Молодежный, тел. 879245487437, e-mail: mathewmcangel@gmail.com.

Петрова Софья Андреевна – кандидат технических наук, доцент кафедры информатики и математического моделирования Иркутского государственного аграрного университета им. А.А. Ежевского.

**Контактная информация** ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, 664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, пос. Молодежный, тел. 89149325573, e-mail: sofia.registration@mail.ru; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9586-583X>.

### **Information about authors**

Yaroslav M. Ivanyo – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Informatics and Mathematical Modeling of the Institute of Economics, Management and Applied Informatics, Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky.

**Contact information:** FSBEI HE Irkutsk SAU, 664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk district, Molodezhny, tel. 83952237491; e-mail: iasa\_econ@rambler.ru; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4118-7185>.

Matvey N. Nikolaev – bachelor of the 4th year of learning to 09.03.03 Applied Informatics, Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky.

**Contact information:** FSBEI HE Irkutsk SAU, 664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk district, Molodezhny, tel. 879245487437, e-mail: mathewmcangel@gmail.com.

Sofya A. Petrova – Candidate of Technical Sciences, Ass. Prof. of the Department of Informatics and Mathematical Modeling, Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky..

**Contact information:** FSBEI HE Irkutsk SAU, 664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk district, Molodezhny, tel. 89149325573, e-mail: sofia.registration@mail.ru; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9586-583X>.



DOI 10.51215/2411-6483-2023-(2)47-84-91

УДК 631.173

Научная статья

## ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ СНИЖЕНИЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ СИЛ НА РАБОЧИЕ ЛОПАТКИ ТУРБОМАШИН ПУТЕМ ИЗМЕНЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ЛОПАТОК СТАТОРА

О.В. Репецкий, Нгуен Ван Мань

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

**Аннотация.** В эксплуатации рабочие лопатки вынуждены проходить по следу каждой сопловой лопатки статора и, следовательно, получать серию равномерно распределенных импульсов. Если бы было возможно изменять синхронизацию импульсов по отношению друг к другу, эффекты одних импульсов могли бы подавляться другими, и приводить к снижению уровня возбуждения [3, 8]. Одним из способов изменения синхронизации импульсов от следа статора является использование асимметричной конструкции статора, в том числе: смещение по окружности блоков лопаток, изменение расстояния между лопатками внутри блока, произвольное смещение всех лопаток по сравнению с базовой конфигурацией. В некоторых работах теоретическим и экспериментальным способами показано, что возможно уменьшить силы возбуждения, возникающие в результате прохождения газа через лопатки статора, путем небольшого изменения положения некоторых или всех лопаток сопла по окружности и, в широком смысле, получить эффект подавления силы. При этом аэродинамическая сила на рабочие лопатки может увеличиться, но величина общего уровня возбуждения уменьшится и, следовательно, это способствует улучшению прочностных условий для рабочих лопаток. В данной работе было проведено численное исследование введения преднамеренной расстройки с целью анализа влияния асимметричности статора в двухблочной асимметричной конструкции на снижение аэродинамической силы на рабочие лопатки. Исследование влияния преднамеренной расстройки на уровне статора или ротора – это мировой бренд, позволяющий численно оптимизировать ресурсные характеристики газотурбинных двигателей и установок при существенном сокращении объема дорогостоящих экспериментальных исследований и уменьшении сроков конструирования новых машин по критериям эффективности, надежности, технологии изготовления и ресурсосбережения высоконагруженных агрегатов турбомашин.

**Ключевые слова:** аэродинамическая сила, численное исследование, асимметричная конструкция, статора, рабочие лопатки.

**Для цитирования:** Репецкий О.В., Нгуен Ван Мань. Численный анализ снижения аэродинамических сил на рабочие лопатки турбомашин путем изменения положения лопаток статора. *Электронный научно-практический журнал “Актуальные вопросы аграрной науки”*. 2023;2 (47):84-91. DOI: 10.51215/2411-6483-2023-(2)47-84-91.

## NUMERICAL ANALYSIS OF REDUCTION OF AERODYNAMIC FORCES ON TURBOMACHINE WORKING BLADES BY CHANGING THE POSITION OF STATOR BLADES

Oleg V. Repetckii, Nguyen Van Manh

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

**Abstract.** During operation, the rotor blades are forced to follow the wake of each stator nozzle vane and therefore receive a series of evenly distributed pulses. If it were possible to change the synchronization of pulses with respect to each other, the effects of some pulses could be suppressed by others, and lead to a decrease in the level of excitation [3, 8]. One way to change the timing of pulses from the stator wake is to use an asymmetric stator design, including: shifting around the circumference of the blade blocks, changing the distance between the blades within the block, arbitrary displacement of all blades compared to the basic configuration. In some works, it has been shown theoretically and experimentally that it is possible to reduce the excitation forces resulting from the passage of gas through the stator blades by slightly changing the position of some or all of the nozzle blades around the circumference and, in a broad sense, to obtain the effect of suppressing the force. In this case, the aerodynamic force on the rotor blades may increase, but the magnitude of the overall level of excitation will decrease and, therefore, this helps to improve the strength conditions for the rotor blades. In this work, a numerical study of the introduction of deliberate detuning was carried out in order to analyze the effect of the stator asymmetry in a two-block asymmetric design on the reduction of the aerodynamic force on the rotor blades. The study of the effect of intentional detuning at the stator or rotor level is a global brand that allows numerically optimizing the life characteristics of gas turbine engines and installations while significantly reducing the volume of expensive experimental studies and reducing the design time for new machines in terms of efficiency, reliability, manufacturing technology and resource saving of highly loaded turbomachinery units.

**Keyword:** aerodynamic force, numerical study, asymmetric design, stator, working blades.

**For citation:** Repetckii O.V., Nguyen Van Manh. Numerical analysis of reduction of aerodynamic forces on turbomachine working blades by changing the position of stator blades. *Electronic scientific-Practical journal "Actual issues of agrarian science"*. 2023; 2 (47):84-91. DOI: 10.51215/2411-6483-2023-(2)47-84-91.

**Введение.** В течение многих лет было признано, что усталость от резонансной вибрации одна из основных причин выхода из строя рабочих лопаток турбомашин. Аэродинамические силы от газовой нагрузки, которые испытывают лопатки, не носят статического характера, но значительно изменяются по величине во время вращения и являются периодическими в том смысле, что они обычно повторяются при каждом обороте колеса. Когда частота колебаний силы газа совпадает с собственной частотой вибрации лопатки, возникает резонансная вибрация. Полученный уровень вибрационного напряжения зависит от величины колебаний давления газа и общего демпфирования системы [3, 5].

Колебания давления газа возникают главным образом в результате направления потока через различные каналы, такие как впускные стойки, камеры сгорания, переходные элементы и лопатки статора, а также в результате неравномерного распределения энергии в отдельных зонах горения. Лопатки ротора обычно работают в непосредственной близости от равномерно расположенных лопаток статора, следовательно, в практически нет возможности рассеиваться сопловым следам от лопаток статора. Таким образом, лопатки вынуждены проходить по следу каждой лопатки и, следовательно, получать серию равномерно распределенных импульсов. Если бы было возможно изменять синхронизацию импульсов по отношению друг к другу, эффекты одних импульсов могли бы подавляться другими, и приводить к снижению уровня возбуждения. Было показано, что существенное снижение уровня возбуждения может быть достигнуто путем изменения положения лопаток статора по окружности на величину менее +10 процентов от нормального расстояния [2, 4].

Разработан общий метод анализа сил возбуждения, возникающих при работе лопаток статора, который применим к лопаткам различных типов турбомашин, таких как осевые компрессоры, осевые насосы и осевые турбины. Аналитический метод, включающий использование рядов Фурье, был применен к различным конфигурациям расстояния между лопатками. Проанализированные конфигурации включали те, в которых лопатки были смещены по окружности относительно друг друга (этот тип использовался в военном турбореактивном двигателе), те, в которых расстояние между лопатками изменялось в различных блоках, и те, в которых случайные смещения лопаток были наложены на базовую конфигурацию. Кроме того, были проанализированы различные комбинации вышеуказанных конфигураций. Экспериментальная проверка теоретических результатов была получена, во-первых, с помощью диска воздушного прерывателя с подвижными лопатками для моделирования различных конфигураций и, во-вторых, путем определения вибрационной характеристики двух различных узлов лопаток [1, 6, 7, 9, 10, 11].

Целью работы является описание применения численного анализа снижения аэродинамических сил на рабочие лопатки турбомашин путем изменения положения лопаток статора.

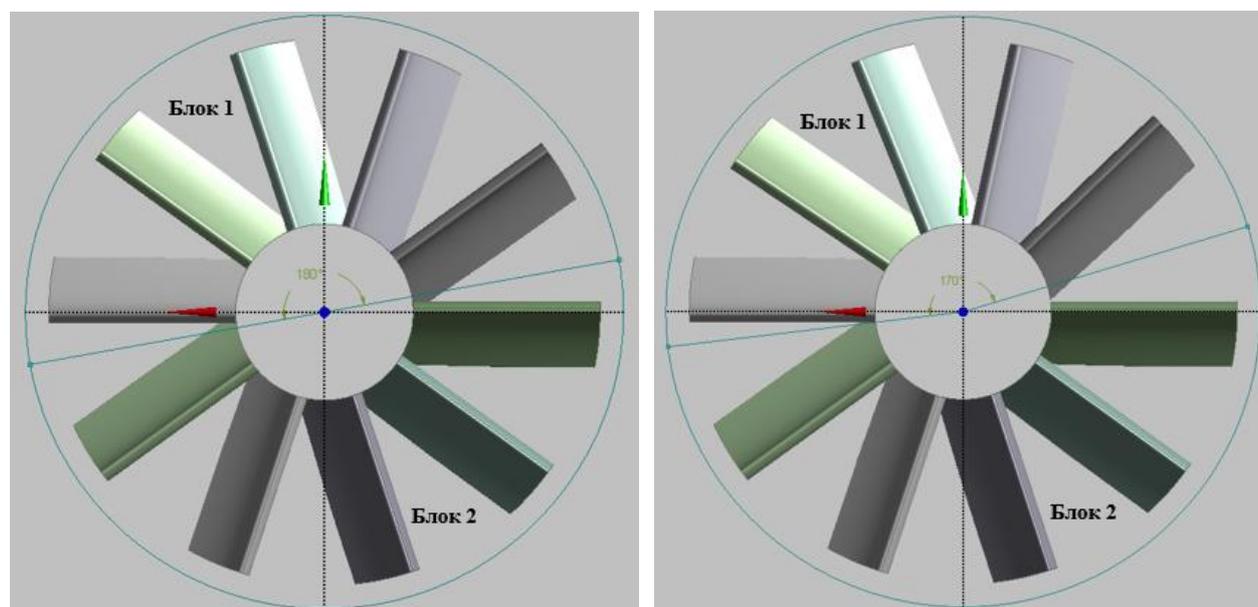
**Численный подход.** В данном анализе было исследовано смещение по окружности относительно друг друга двух блоков при равном расстоянии между лопатками в одном блоке. Узел лопаток с равным расстоянием разделен на 2 блока, каждый блок содержит 5 лопаток (рисунок 1а). В блоке 1 угол наклона блока уменьшился, то есть расстояние между лопатками уменьшилось, в то время как в блоке 2 угол наклона блока и расстояние между лопатками увеличились.

Асимметричный параметр  $ap$  определяется как [9, 12]:

$$ap = 1 - \frac{\alpha / N_1}{2\pi / N}, \quad (1)$$

где  $\alpha$  – угол наклона блока 1,  $N_1$  – количество лопаток в блоке 1,  $N$  – количество лопаток в полном цикле

Здесь значение  $ap$  всегда положительное, поскольку расстояние между лопатками в блоке 1 по определению меньше, чем в осесимметричной ступени. Увеличение  $ap$  иллюстрирует большую разницу в расстоянии между лопатками между двумя блоками. На осесимметричной ступени  $ap$  равно 0.



Вариант А:  $\alpha = 180^\circ$

Вариант Б:  $\alpha = 170^\circ$

Рисунок 1 – Смещение по окружности относительно друг друга

Figure 1 Circular displacement relative to each other

На осесимметричном этапе рабочие лопатки вынуждены проходить по следу каждой лопатки и получать серию равномерно распределенных импульсов с частотой прохождения. На неустойчивость давления газа на ротор также влияют удары. Однако влияние на колебания рабочих лопаток, вызванные ударом, незначительно по сравнению с влиянием следа в наших объектах исследования. Аэродинамическая сила от следа, смоделированная в виде синусоиды на поверхности рабочих лопаток, может быть записана в общем формате [13, 14]:

$$F(t) = A_0 + A_1 \sin(2\pi N\Omega t + \varphi), \quad (2)$$

где  $F$  – аэродинамическая сила, обработанная преобразованием Фурье,  $A_0$  – установившаяся постоянная,  $\Omega$  – частота вращения лопаток ротора,  $N$  – количество лопаток статора,  $A_1$  и  $\varphi$  – амплитуда и фаза переменной

составляющей силы.

Поскольку расстояние между лопатками в каждом блоке одинаковое, остаточную силу полного цикла вращения можно рассматривать как комбинацию двух осесимметричных лопаток в разное время [12, 13]. Аэродинамическая сила на рабочие лопатки при асимметричной конструкции статора равна:

$$F(t) = \left\{ \begin{array}{l} A_{01} + A_{11} \sin(2\pi(1 - ap)N\Omega t + \varphi_1), 0 \leq t < \theta_1 / \Omega \\ A_{02} + A_{12} \sin(2\pi(1 + ap \frac{N_1}{N_2})N\Omega t + \varphi_2), \theta_1 / \Omega \leq t < 2\pi / \Omega \end{array} \right\}, \quad (3)$$

где  $A_{01}$  – установившаяся постоянная в блоке 1 переменной составляющей силы  $A_{11}$  в блоке 1,  $\varphi_1$  – фаза переменной составляющей силы в блоке 1,  $A_{02}$  – установившаяся постоянная в блоке 1 переменной составляющей силы  $A_{12}$  в блоке 1,  $\varphi_2$  – фаза переменной составляющей силы в блоке 1. Эти коэффициенты получены методом нестационарного CFD-моделирования на асимметричной ступене.

**Результаты численного исследования изменения аэродинамической силы.** Колебания давления в контрольной точке, расположенной вблизи передней кромки рабочих лопаток с размахом 50%, извлекаются для изменения аэродинамической силы, действующей на рабочие лопатки. Точка контроля находится в области основного потока, где колебания давления в основном представляют собой аэродинамическую силу, вызванную влиянием следы от статора. Пульсация давления в точке контроля показано на рисунке 2.

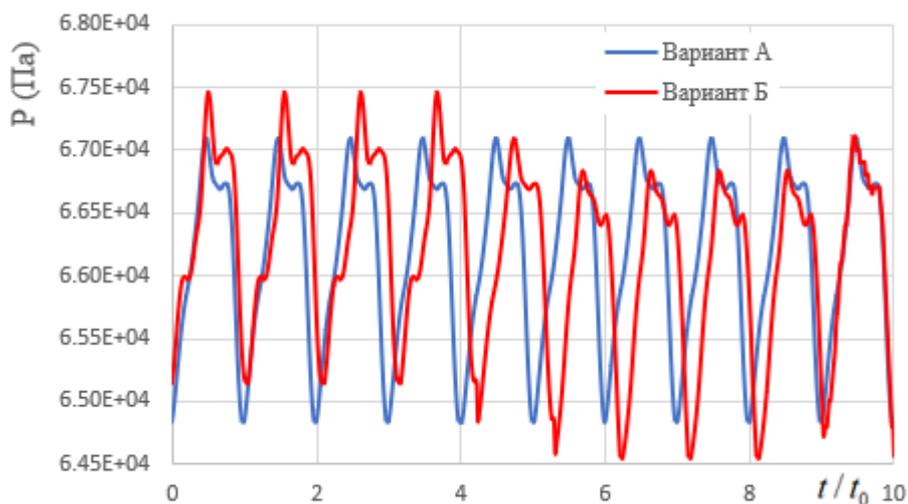


Рисунок 2 – Пульсация давления в точке контроля для двух вариантов

Figure 2 – Pressure pulsation at the control point for two options

Из рисунка 2 следует, что смещение по окружности блоков лопаток статора не только влияет на период гармоник, но вызывает изменение по

значению давления. При уменьшении угла среднее значение аэродинамической силы уменьшается. Когда расстояние между лопатками увеличивается, потери энергии уменьшаются, это приводит к повышению среднего давления. Уменьшенное расстояние между лопастями увеличит потери энергии и приведет к падению среднего давления.

Вследствие изменения пульсации давления при смещении по окружности блоков лопаток статора, аэродинамическая сила, действующая на рабочие лопатки, изменяется. Эпюры пульсации интегральной силы по времени представлены на рисунке 3.

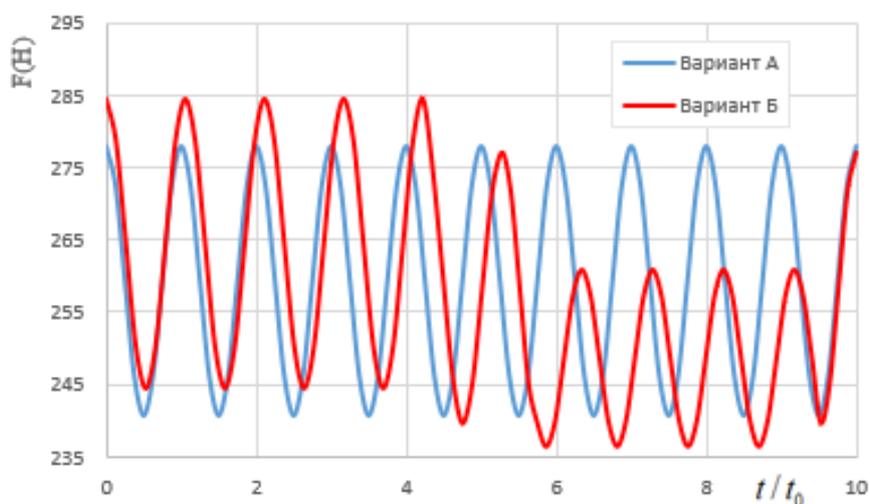


Рисунок 3 – Изменение по времени интегральной силы на рабочие лопатки

Figure 3 – Change in time of the integral force on the rotor blades

Согласно рисунку 3 частота и среднее значение аэродинамической силы определяются расстоянием между лопатками в соответствующем блоке статора. Частота аэродинамической силы пропорциональна числу направляющих лопаток в блоке. Среднее по времени значение аэродинамической силы увеличивается на 1.9% при прохождении через каналы лопаток блока 1, и уменьшается на 4.3% при прохождении через каналы лопаток блока 2.

**Заключение.** Приведены результаты исследования с целью анализа влияния асимметричного параметра в двухблочной асимметричной конструкции на снижение аэродинамической силы на рабочие лопатки. Кратко представлен численный подход для моделирования аэродинамической силы на рабочие лопатки при асимметричной конструкции статора.

Показаны результаты численного расчета для смещения по окружности блоков лопаток статора. Изменение расстояния между лопатками в соответствующем блоке не только влияет на период гармоник, но и вызывает изменение по значению аэродинамической силы. Частота аэродинамической силы пропорциональна числу направляющих лопаток в

блоке. Уменьшение расстояния между лопатками положительно влияло на снижение среднего напряжения на лопатки ротора, и наоборот.

На следующем этапе исследований будет рассматриваться использование других типов асимметричной конструкции лопаток статора для снижения аэродинамической силы на рабочие лопатки.

#### Список литературы

1. Еловенко, Д.А. Экспериментальное исследование модели автоклава для гидротермального синтеза минералов / Д.А. Еловенко, П.Г. Пимштейн, О.В. Репецкий, Д.В. Татаринов // Вестник Байкальского союза стипендиатов DAAD (Байкальский государственный университет экономики и права). – 2010. – № 1. – С. 11-19.
2. Коленько, Г.С. Нестационарные и осредненные аэродинамические нагрузки, действующие на рабочие лопатки разной геометрии / Г.С. Коленько, Ласкин А.С. // Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки. – 2020. – Т. 26 – № 1 – С. 15-28.
3. Костюк, А.Г. Паровые и газовые турбины для электростанций / А.Г. Костюк, В.В. Фролов, А.Е. Булкин, А.Д. Трухний // Учебник для вузов. Издательский дом МЭИ.– Москва, 2016. – С. 452-473.
4. Кухтин, Ю.П. Снижение вибронпряженности попарно бандажированных рабочих лопаток турбины / Ю.П. Кухтин, Р.Ю. Шакало // Авіаційно-космічна техніка і технологія. – 2020 – № 7(167) – 7 с.
5. Репецкий, О.В. Компьютерный анализ динамики и прочности турбомашин / О.В. Репецкий. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 1999. – 301 с.
6. Benini, E. Towards a Reduction of Compressor Blade Dynamic Loading by Means of Rotor-Stator Interaction Optimization / E. Benini, A. Toffolo // ASME–Paper. – 2002. – Vol. 5-8 p.
7. Clark, J.P. Using CFD to Reduce Resonance Stresses on a Single-stage, High-Pressure Turbine Blade / J.P. Clark, A.S. Aggarwala, M.A. Velonis // ASME–Paper. – 2002. – Vol. 4-7 p.
8. Fruth, F. Reduction of Aerodynamic Forcing in Transonic Turbomachinery // Ph.D. Thesis, Royal Institute of Technology Stockholm, Sweden. – 2013. – 193 p.
9. Huang, L. A novel design method of variable geometry turbine nozzles for high expansion ratios / L. Huang, H. Chen // 17th International Symposium on Transport Phenomena and Dynamics of Rotating Machinery – 2017 – 11 p.
10. Kaneko, Y. Study on the Effect of Asymmetric Vane Spacing on Vibratory Stress of Blade[R] / Y. Kaneko, K. Mori, H. Okui // ASME–Paper. – 2004. – Vol. 6-8 p.
11. Kemp, R H. Theoretical and Experimental Analysis of the Reduction of Rotor Blade Vibration in Turbomachinery through the Use of Modified Stator Vane Spacing / R H Kemp, M H. Hirschberg // NACA-tn-4373. – 1958 – 44 p.
12. Panning, L. Optimization of the Contrast Geometry between Turbine Blades and Underplatform Dampers with Respect to Friction Damping / L. Panning, W. Sextro and K. Popp // ASME–Paper. – 2002. – Vol. 4-12 p.
13. Sun, T. Analysis on the Reduction of Rotor Blade Vibration Using Asymmetric Vane Spacing / T. Sun, A. Hou, M. Zhang // ASME–Paper. – 2015. – Vol. 2-10 p.
14. Repetsky, O.V. Investigation of vibration and fatigue life of mistuned bladed disks / O.V. Repetsky, T.Q. Nguyen, I.N. Ryzhikov // Proceedings of the international conference actual issues of mechanical engineering 2017(AIME 2017). – 2017. – С. 702-707

#### References

1. Elovenko, D.A. et all. Eksperimental'noye issledovaniye modeli avtoklava dlya gidrotermal'nogo sinteza mineralov [Experimental study of an autoclave model for hydrothermal

synthesis of minerals]. Vestnik Baykal'skogo soyuza stipendiatov DAAD, 2010, no. 1, pp. 11-19.

2. Kolenko, G.S., Laskin, A.S. Nestatsionarnyye i osrednennyye aerodinamicheskiye nagruzki, deystvuyushchiye na rabochiye lopatki raznoy geometrii [Unsteady and averaged aerodynamic loads acting on working blades of different geometries]. Nauchno-tekhnicheskiye vedomosti SPBPU, 2020, vol. 26, no. 1, pp.15-28.

3. Kostyuk, A.G. Parovyye i gazovyye turbiny dlya elektrostantsiy [Steam and gas turbines for power plants]. Moscow, 2016, pp. 452-473.

4. Kukhtin, Y., Shakalo, Y. Snizheniye vibronapryazhennosti poparno bandazhированныkh rabochikh lopatok turbiny [Reduction of vibration stress of paired banded turbine blades]. Aviatsionno - kosmicheskaya tekhnika i tekhnologiya, 2020, no. 7(167), pp.7.

5. Repetskiy, O.V. Komp'yuternyy analiz dinamiki i prochnosti turbomashin [Computer analysis of the dynamics and strength of turbomachines]. Irkutsk, 1999, pp. 301.

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

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие конфликта интересов.

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

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

#### **История статьи / Article history:**

Дата поступления в редакцию / Received: 21.06.2023

Поступила после рецензирования и доработки / Revised: 26.06.2023

Дата принятия к печати / Accepted: 29.06.2023

#### **Сведения об авторах**

Репецкий Олег Владимирович – доктор технических наук, профессор, проректор по международным связям Иркутского государственного аграрного университета им. А.А. Ежевского.

**Контактная информация:** ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, 664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, пос. Молодежный, e-mail: repetskii@igsha.ru; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2560-2721>.

Нгуен Ван Мань – аспирант кафедры Электрооборудования и физики Иркутского государственного аграрного университета имени А.А. Ежевского.

**Контактная информация:** ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, 664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, пос. Молодежный, e-mail: manhzhuov@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4399-6146>.

#### **Information about authors**

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

**Contact information:** FSBEI HE Irkutsk SAU, 664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk district, Molodezhny, e-mail: repetskii@igsha.ru; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2560-2721>.

Nguyen Van Manh – PhD-student of the Department of Electrical Equipment and Physics of Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky.

**Contact information:** FSBEI HE Irkutsk SAU, 664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk district, Molodezhny, e-mail: manhzhuov@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4399-6146>.

## **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. Соответствовать правилам оформления.
3. 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](http://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: *iyumex@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. Comply with the rules of registration.
3. 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](http://www.elibrary.ru)) and the electronic scientific and practical journal “Actual issues of agrarian science” (<http://agronauka.igsha.ru>).

2. Articles are accepted according to the established schedule:

- in No. 1 (March) - until January 1 of the current year;

- in No. 2 (June) - until April 1 of the current year;

- in No. 3 (September) - until June 1 of the current year;

- in No. 4 (December) - until September 1 of the current year.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**Выпуск 2(47)**

**июнь**

**Технический редактор – Н.В. Спиридонова**

**Перевод – П.Г. Асалханов**

Лицензия на издательскую деятельность

ЛР № 070444 от 11.03.98 г.

Дата выхода: 30.06.2023

Усл. печ. л. 6,12.

Адрес редакции, издателя, типографии:

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