

электронный научно-практический журнал

ELECTRONIC SCIENTIFIC-PRACTICAL JOURNAL

актуальные вопросы аграрной науки

ACTUAL ISSUES
OF AGRARIAN SCIENCE

выпуск 3(48)
сентябрь

VOLUME 3(48)
SEPTEMBER

ISSN: 2411-6483

МОЛОДЁЖНЫЙ 2023



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

2023 Выпуск 3 (48)

Electronic scientific-Practical journal

“Actual issues of agrarian science”

2023 Volume 3 (48)

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 10.51215/2411-6483-2023-48

Электронный научно-практический журнал “Актуальные вопросы аграрной науки”, 2023, выпуск 3 (48), сентябрь.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Статьи проверены с использованием Интернет-сервиса “Антиплагиат”.

Учредитель – ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ.

ISSN 2411-6483

Electronic scientific-Practical journal “Actual issues of agrarian science”, 2023, issue 3 (48), September. It is edited under the decision of the Scientific Council of the Irkutsk State Academy of Agriculture since November, 2011.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

The founder – FSBEI HE Irkutsk SAU.

ISSN 2411-6483

СОДЕРЖАНИЕ

МЕХАНИЗАЦИЯ, ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ, АГРОИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ

- Бураева Г.М., Белоусов И.В., Шистеев А.В., Бураев М.К.* К методике оценки задержек в технологических процессах ремонта машин 8
- Подъячих С.В.* Компенсация реактивной мощности в распределительных сетях предприятий АПК 17
- Поляков Г.Н., Шуханов С.Н., Косарева А.В.* Совершенствование технологии и технических средств возделывания зерновых культур 25

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА, УПРАВЛЕНИЕ, МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

- Асалханов П.Г., Беляков В.О., Калинин Н.В., Петрова С.А.* Компьютерное зрение в оценке параметров сельскохозяйственных и диких животных 34
- Белякова А.Ю., Бузина Т.С., Иваньо Я.М.* Динамико-стохастическая модель оптимизации производства аграрной продукции в условиях засух и ливней 46
- Иваньо Я.М., Колокольцева И.М., Петрова С.А.* Природные риски в сельском хозяйстве: классификация, оценка, управление 57
- Краковский Ю.М., Беляков В.О.* Вычисление показателей надежности остаточного ресурса сложного многокомпонентного оборудования 71
- Репецкий О.В., Хоанг Д.К.* Численный анализ прочности от глубины нарезного канала на основном диске радиального колеса турбомашин 80

CONTENS

MECHANIZATION, ELECTRIFICATION, AGRO-ENGINEERING SYSTEMS

- Buraeva G.M., Belousov I.V., Shisteev A.V., Buraev M.K.* On the methodology for assessing delays in the technological processes of machine repair 8
- Podyachikh S.V.* Compensation of reactive power in distribution networks of agricultural enterprises 17
- Polyakov G.N., Shukhanov S.N., Kosareva A.V.* Improvement of technology and technical means for cultivation of grain crops 25

INFORMATICS, COMPUTER ENGINEERING, MANAGEMENT, MATHEMATICAL MODELING

- Asalkhanov P.G., Belyakov V.O., Kalinin N.V., Petrova S.A.* Computer vision in assessing parameters of agricultural and wild animals 34
- Belyakova A.Yu., Buzina T.S., Ivanyo Ya.M.* Dynamic-stochastic model of optimization of agricultural products production under conditions of droughts and showers 46
- Ivanyo Ya.M., Kolokoltseva I.M., Petrova S.A.* Natural risks in agriculture: classification, assessment, management 57
- Krakovsky Yu.M., Belyakov V.O.* Calculation of reliability indicators of the residual resource of complex multicomponent equipment 71
- Repetckii O.V., Hoang D.C.* Numerical analysis of fatigue life from the depth rifled channels on the main disk of the radial wheel turbomachines 80



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

DOI 10.51215/2411-6483-2023-(3)48-8-16

УДК 631.362

Научная статья

**К МЕТОДИКЕ ОЦЕНКИ ЗАДЕРЖЕК В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССАХ РЕМОНТА МАШИН**

Бураева Г.М., Белоусов И.В., Шистеев А.В., Бураев М.К.

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

Аннотация. Производственный процесс ремонта машин и агрегатов представляет собой сложный алгоритм действий из большого числа операций. Этот процесс необходимо организовать, обеспечив эффективное функционирование каждого подразделения, объединив людей орудия и предметы труда для переработки ресурсов и преобразования объекта ремонта. Для технологически сложных изделий, поступающих в ремонт, характерно неопределенное состояние, вызванное долговременной эксплуатацией и износом составных частей. Ремонт изделия зависит от результатов разборки и дефектации, при которой проверяется состояние деталей и узлов через сравнение фактических показателей с данными технической документации для выяснения, какие детали придется отправить на восстановление или (и) заменить, а какие можно использовать повторно без ремонтных воздействий. При комплектовании технологических операций, не всегда можно достичь точного согласования времени, затрачиваемого на выполнение организационной операции, с установленным тактом на производстве. Поэтому продолжительность организационных операций может иметь отклонения. Технологическая схема основного потока ремонтируемых объектов на ремонтном предприятии составляется на основании последовательности технологических операций, согласно которой производится расстановка постов и загрузка рабочих, расчет общего ремонтного цикла, фронта и такта ремонта. При этом должны соблюдаться производственные требования: максимальная специализация операций, обеспечивающая наилучшее использование рабочей силы и оборудования; комплектование ресурсов на рабочих местах подразделений с соблюдением технологической целесообразности и сокращение приемов работы; однородность операций по разрядам, ремонтируемым объектам, специальностям.

Ключевые слова: ремонтное производство, длительность, задержки, детали, сборка, разборка, простой.

Для цитирования: Бураева Г.М., Белоусов И.В., Шистеев А.В., Бураев М.К. К методике оценки задержек в технологических процессах ремонта машин. Электронный научно-практический журнал “Актуальные вопросы аграрной науки”. 2023; 3 (48):8-16. DOI: 10.51215/2411-6483-2023-(3)48-8-16.

ON THE METHODOLOGY FOR ASSESSING DELAYS IN THE TECHNOLOGICAL PROCESSES OF MACHINE REPAIR

Buraeva G.M., Belousov I.V., Shisteev A.V., Buraev M.K.
Irkutsk state agricultural university named after A.A. Ezhevsky,
Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia

Abstract. The production process of repairing machines and units is a complex algorithm of actions consisting of a large number of operations. This process must be organized, ensuring the effective functioning of each unit, bringing together people, tools and objects of labor to process resources and transform the repair object. Technologically complex products submitted for repair are characterized by an uncertain state caused by long-term operation and wear of components. Product repair depends on the results of disassembly and defect detection, during which the condition of parts and assemblies is checked by comparing actual indicators with technical documentation data to find out which parts will have to be sent for restoration and (or) replaced, and which can be reused without repair work. When completing technological operations, it is not always possible to achieve exact coordination of the time spent on performing an organizational operation with the established production cycle. Therefore, the duration of organizational operations may have deviations. The technological flow diagram of the main flow of repaired objects at a repair enterprise is drawn up on the basis of a sequence of technological operations, according to which posts are arranged and workers are loaded, and the calculation of the overall repair cycle, front and repair cycle is carried out. At the same time, production requirements must be observed: maximum specialization of operations, ensuring the best use of labor and equipment; acquisition of resources at workplaces of departments in compliance with technological feasibility and reduction of work methods; homogeneity of operations across categories, objects being repaired, and specialties.

Keywords: repair production, duration, delays, parts, assembly, disassembly, downtime.

For citation: Buraeva G.M., Belousov I.V., Shisteev A.V., Buraev M.K. On the methodology for assessing delays in the technological processes of machine repair. Electronic scientific-practical journal “Actual issues of agrarian science”. 2023; 3 (48):8-16. DOI: 10.51215/2411-6483-2023-(3)48-8-16.

Введение. Своевременное обеспечение подразделений (участков) ремонтными ресурсами, материалами и информацией может свести к минимуму или устранить длительность переходных процессов между этапами производства, уменьшив инерционность системы [1, 7]. В современных условиях развитие производственной структуры предприятий осуществляется на основе повышения хозяйственной самостоятельности, входящих в их состав подразделений [2]. На иркутском рынке агробизнеса предприятие технического сервиса (ПТС) ООО “Юник-Агро”, как часть многопрофильной группы компаний, является региональным дилером многих заводов-производителей сельскохозяйственной техники. При этом деятельность предприятия охватывает поставки, сбыт технических средств и запасных частей, а также организацию технического обслуживания и ремонта техники.

В структуре предприятия преимущественно выделены производственные

участки, функционирование которых обеспечивается вспомогательными и обслуживающими подразделениями, имеются отделы и службы аппарата управления. Специализация ремонтно-сервисных участков в основном осуществляется по предметному принципу, согласно которому все работы по ремонту изделия сконцентрированы в рамках производственного участка [3]. Здесь создаются условия для стабильности выпуска большого объема ремонтных изделий при сбалансированном оборудовании и рабочей силы, минимуме контрольных операций и незначительном количестве переналадок. Предметная специализация создает предпосылки для организации поточного и автоматизированного производства, повышает ответственность исполнителей за качество продукции и выполнение заданий [3].

Цель исследования. Оценка затрат времени для технологического процесса ремонта машин с учетом длительности и динамики ремонтно-обслуживающих воздействий.

Одной из основных задач ООО Юник-Агро является восстановление работоспособности сельскохозяйственной техники, удовлетворение потребностей товаропроизводителей в ремонте машин и их составных элементов. Выполнение этих задач обеспечивается своевременной поставкой в цеха ремонтного фонда, необходимого количества материалов, запасных частей и других комплектующих нужного ассортимента. Складские операции на этом предприятии по подбору и поставке комплектующих являются частью общего производственного технологического процесса и тесно взаимодействуют с производственными службами материально-технического обеспечения, транспортными организациями, клиентами, площадками готовой продукции. С точки зрения внутривозвратной логистики эти мероприятия должны быть синхронизированы с планом выпуска готовой продукции [4]. Для этого на предприятии выделена функция управления внутривозвратной логистикой и складским хозяйством, на складах установлены компьютеры, кладовщик вносит информацию о поступившем товаре непосредственно на рабочем месте. Несмотря на это потоки незавершенной продукции часто движутся внутри предприятия не самым оптимальным образом. Детали, узлы и агрегаты перемещаются с места на место (с участка на участок) с некоторым запаздыванием, прежде чем окажутся в зоне готовой продукции.

Материалы и методы. Исследования были проведены с использованием материалов об объекте моделирования, полученных с помощью натуральных наблюдений в условиях действующего предприятия технического сервиса. В работе использованы статистические методы анализа информации [8].

Для установления затрат времени на разборочные и сборочные работы при ремонте машин на предприятии технического сервиса (специализированные предприятия) использован метод фотофиксации и хронометражных наблюдений [6]. Технологический процесс выполнения работы был разбит на двенадцать этапов по количеству месяцев в году.

Затем было проведено 15 наблюдений с замерами длительности временных интервалов от начала до конца этапа восстановления, что связано с необходимостью достаточного числа данных, чтобы точность оценки статистических параметров ряда была удовлетворительной (таблица 1).

Таблица 1 – Сводная ведомость фотографий рабочего времени на ремонт КПП трактора К-701 в ООО “Юник-Агро”

Table 1 – Summary sheet of photographs of working hours for the repair of the K-701 tractor gearbox

Ремонтные операции составных частей КПП	Оперативное время по наблюдениям, ч															Средняя продолжительность, ч	Затраты времени с учетом подготовительного заключительного и времени задержек, ч	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15			Сумма, ч
Тросик стояночного тормоза	0.3	0.4	0.3	0.6/0.05	0.5	0.6	0.4	0.3	0.3	0.5	0.5	0.4	0.6/0.05	0.3	0.6	6.6/0.1	0.44	0.97
Амортизаторы КПП	0.5	0.6	0.8	0.6	0.7	0.8	0.7	0.6	1.0/0.1	1.1/0.15	0.7	1.2	0.9	1.2/0.5	1.2	12.6/0.75	0.84/0.05	1.85
Масляный насос КПП	0.3	0.5	0.5	0.5	0.7/0.05	0.3	1.1	0.8/0.1	0.4	0.3	0.6/0.05	0.8/0.15	0.4	0.6/0.05	0.5	8.3/0.4	0.55/0.02	1.21
Масляный фильтр КПП	0.3	0.6	0.8/0.05	0.8	0.7	0.7	0.8/0.05	0.4	0.5	0.6	0.7	0.9/0.15	0.3	0.8/0.05	0.7/0.05	9.6/0.35	0.64/0.02	1.41
Привод управления муфтами грузового вала	0.4	0.6	0.3	0.7/0.03	0.4	0.5	0.5	0.7/0.05	0.6	0.6	0.3	0.6/0.02	0.5	0.5	0.4	7.6/0.1	0.51/0.006	1.12
Механизм переключения передач КПП	0.6	1.1/0.03	0.9	1.1	1.3	1.8/0.1	0.8	0.9	0.7	0.8	0.6	0.9	1.3/0.05	0.9	1.2/0.05	14.9/0.23	0.99/0.015	2.18
Кулиса КПП	0.4	0.4	0.5	0.5	4	0.4	0.4	0.6	0.5	0.5	0.6	0.7	0.4	0.5	0.5	10.9	0.72	1.58
Мостик приводов управления КПП	0.6	0.5	0.6	0.8	0.7	0.5	0.9/0.05	0.6	0.7/0.05	0.6	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	9.4/0.1	0.62/0.006	1.36
Верхняя половина	1.9	2.2/0.1	2.5/0.1	1.5	1.4	1.5	1.6	1.4	1.2	1.5	1.4	1.6	1.8/0.1	1.5	1.7	24.7/0.3	1.65/0.02	3.63
Гидроаккумулятор	0.3	0.3	0.4	0.3	0.5	0.4	0.6/0.05	0.3	0.5	0.4	0.5	0.5	0.3	0.4	0.4	6.1/0.05	0.40/0.001	0.88
Ведущий вал	10.5	14.1	14.5	12.2	12.5	13.4	9.8	10.2	10.3	9.9	11.1	12.2	9.8	9.7	10.0	170.2	11.34	24.95
Регулятор привода масляного насоса	4.2/0.2	3.1	1.5	2.2	2.0	1.6	1.6	1.7	1.7	1.9/0.1	1.5	2.2	2.1	2.3/0.05	2.1	31.7/0.35	2.11/0.023	4.64
Итого	21.3	26.4	26.6	25.8	30.4	28.5	26.2	26.5	27.4	28.7	30	34.6	32	33.3	34.9	312.6/2.73	20.81/0.175	45.78

В качестве средства фиксации временных интервалов работы на

участке по ремонту КПП тракторов К-701 использован тахограф 2.4 “Full HD 1080Н”.

Основные результаты и обсуждение. Результаты наблюдений по затратам оперативного времени представлены в сводной ведомости (таблица 1). Знаменатель дроби представляет собой величину задержки времени от несвоевременной поставки запасных частей в цеха ремонтного фонда и их ассортимента

Согласно полученным результатам доля затрат времени на подготовительные операции составила 45 минут, оперативное устранение отказов 315 минут и другие отрезки времени в сумме общего времени ремонта коробки переменных передач – 466 минут с учетом задержек в обслуживании, перерывов и плановых технических обслуживаний (рисунок 1).

Тип времени	Время наблюдений																								Итого, мин																
	1				2				3				4				5				6					7				8											
Часы	15	30	45	60	15	30	45	60	15	30	45	60	15	30	45	60	15	30	45	60	15	30	45	60	15	30	45	60	15	30	45	60	15	30	45	60					
Подготовительно-заключительное	█																																				45				
Оперативное					█								█								█																				315
Технологический перерыв																																									13
Перерыв на отдых и личные надобности																																									32
Техническое обслуживание																																									30
Задержки (запаздывания) времени																																									31
Итого																													466												

Рисунок 1 – Форма записи хронометража времени разборки КПП К-701

Figure 1 – Form for recording the timing of disassembly of the gearbox

Анализ результатов наблюдений показал, что непроизводительные задержки времени на всех наблюдаемых операциях ремонтного участка в сумме составили 2.73 ч. В среднем на каждой операции рабочий простаивал по 11 минут. Таким образом, если устранить в ремонтном процессе эти задержки времени, уровень согласования операций и непрерывность процесса на участке повысится [6]. Относительный коэффициент простоя сервисного центра за период наблюдений приведен в таблице 2.

Выводы. Увеличение длительности производственного процесса в результате задержек, возникающих из-за недостаточной оперативности планирования и управления ремонтными операциями, а также отсутствия согласованности в работе ремонтных предприятий приводит к рассогласованной и неритмичной работе ремонтного предприятия.

Таблица 2 – Результаты анализа работы участка сервисного центра
ООО “Юник-Агро”

Table 2 – Results of the analysis of the service center's work

Относительный коэффициент простоя	Период наблюдения					
	10.2022	11.2022	12.2022	01.2023	02.2023	03.2023
$H_{o\text{ пр}}$	0.136	0.137	0.137	0.136	0.134	0.133
$H_{л\text{ пр}}$	0.075	0.101	0.093	0.051	0.063	0.082
Примечание: $H_{o\text{ пр}}$ – коэффициент простоя при существующей структуре организации ремонта; $H_{л\text{ пр}}$ – предлагаемый коэффициент простоя для сервисного центра.						

Повышение эффективности и результативности производственного процесса ремонта машин связано с обеспечением надежности функционирования ремонтных предприятий, выявлением и изучением логистических связей в технологических и организационных потоках, поиском условий и возможностей автоматизации и цифровизации ремонтных процессов [5, 9, 10].

Список литературы

1. Аносова, А.И. Совершенствование технического сервиса машин в АПК на основе оценки и анализа технологического уровня ремонтных предприятий / А.И. Аносова, М.К. Бураев // Достижения науки и техники АПК. – 2014. – № 10. – С. 65-69.
2. Бураева, Г.М. Логистика ресурсодвижения в системе агротехнического сервиса / Г.М. Бураева // Инновационно-промышленный салон: Матер. III Всерос. научно-практ. конф. “Ремонт. Восстановление. Реновация”, 28 февраля – 2 марта 2012 г. – Уфа: Изд-во БашГАУ. – 2012. – С. 126-131.
3. Бураева, Г.М. К методике оценки надежности логистических систем на предприятиях технического сервиса / Г.М. Бураева, А.В. Шистеев, М.К. Бураев // Вестник ВСГУТУ. – 2021. – № 4. – С. 66-75.
4. Бураева, Г.М. К формированию структуры ремонтного цикла на предприятии технического сервиса / Г.М. Бураева, А.В. Шистеев // Актуальные вопросы инженерно-технического и технологического обеспечения АПК: Матер. IX Национальной научно-практ. конф. с междунар. участием, Иркутск, 23–24 сентября 2021 года. – Молодёжный: Иркутский ГАУ. – 2021. – С. 45-50.
5. Иваньо, Я.М. О некоторых направлениях цифровой трансформации решения задач образовательной, научной и производственной деятельности / Я.М. Иваньо // Цифровые технологии в науке, образовании и производстве: Матер. Всерос. научно-практ. семинара, Молодежный, 30 ноября 2022 года. – Молодежный: Иркутский ГАУ. – 2022. – С. 30-31.
6. Рахманина, И.А. Специфика оценки и управления надежностью логистических систем / И.А. Рахманина // Известия Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Экономика. Управление. Право. – 2013. Т. 15 – вып. 4(2).
7. Юдин, М.И. Организация ремонтно-обслуживающего производства в сельском хозяйстве: Учебник / М.И. Юдин, Н.И. Стукопин, О.Г. Ширай // КГАУ. – Краснодар, 2007. – 944 с.

8. Юдин, М.И. Планирование эксперимента и обработка его результатов: Монография / М.И. Юдин. – Краснодар: Изд-во Кубанского ГАУ. – 2004. – 240 с.
9. Шеметов, А.С. Влияние уровня производственно-технической эксплуатации на ресурсные параметры машин / А.С. Шеметов, М.К. Буряев, Ц.В. Цэдашиев // Актуальные вопросы аграрной науки. – 2019. – № 32. – С. 5-11.
10. Шистеев, А.В. Обеспечение работоспособности автотракторной техники корректированием расхода запасных частей при техническом сервисе / А.В. Шистеев, М.К. Буряев // Вестник ВСГУТУ. – 2019. – № 3 (74). – С. 69-76.

References

1. Anosova, A.I., Buraev, M.K. Sovershenstvovaniye tekhnicheskogo servisa mashin v APK na osnove otsenki i analiza tekhnologicheskogo urovnya remontnykh predpriyatiy [Improving the technical service of machines in the agro-industrial complex based on assessment and analysis of the technological level of repair enterprises]. Dostizheniya nauki i tekhniki APK, 2014, no. 10, pp. 65-69.
2. Buraeva, G.M. Logistika resursodvizheniya v sisteme agrotekhnicheskogo servisa [Logistics of resource movement in the system of agrotechnical services]. Ufa, 2012, pp. 126-131.
3. Buraeva, G.M., et all. K metodike otsenki nadezhnosti logisticheskikh sistem na predpriyatiyakh tekhnicheskogo servisa [Towards a methodology for assessing the reliability of logistics systems at technical service enterprises]. Vestnik VSGUTU, 2021, no. 4, pp. 66-75.
4. Buraeva, G.M., Shisteev, A.V. K formirovaniyu struktury remontnogo tsikla na predpriyatii tekhnicheskogo servisa [Towards the formation of the structure of the repair cycle at a technical service enterprise]. Molodozhnyy, 2021, pp. 45-50.
5. Ivanyo, Ya.M. O nekotorykh napravleniyakh tsifrovoy transformatsii resheniya zadach obrazovatel'noy, nauchnoy i proizvodstvennoy deyatel'nosti [On some areas of digital transformation in solving problems of educational, scientific and production activities]. Molodezhnyy, 2022, pp. 30-31.
6. Rakhmanina, I.A. Spetsifika otsenki i upravleniya nadezhnost'yu logisticheskikh sistem [Specifics of assessing and managing the reliability of logistics systems]. Izvestiya Sarat. un-ta, 2013, vol. 15, no. 4(2).
7. Yudin, M.I. et all. Organizatsiya remontno-obsluzhivayushchego proizvodstva v sel'skom khozyaystve [Organization of repair and maintenance production in agriculture]. Krasnodar, 2007, 944 p.
8. Yudin, M.I. Planirovaniye eksperimenta i obrabotka yego rezul'tatov [Planning an experiment and processing its results]. Krasnodar, 2004, 240 p.
9. Shemetov, A.S. et all. Vliyaniye urovnya proizvodstvenno-tekhnicheskoy ekspluatatsii na resursnyye parametry mashin [Influence of the level of production and technical operation on the resource parameters of machines]. Aktual'nyye voprosy agrarnoy nauki, 2019, no. 32, pp. 5-11.
10. Shisteev, A.V., Buraev M.K. Obespecheniye rabotosposobnosti avtotraktornoy tekhniki korrektsionirovaniyem raskhoda zapasnykh chastey pri tekhnicheskoy servise [Ensuring the performance of automotive and tractor equipment by adjusting the consumption of spare parts during technical service]. Vestnik VSGUTU, 2019, no. 3 (74), pp. 69-76.

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: 24.09.2023

Поступила после рецензирования и доработки / Received: 02.10.2023

Дата принятия к печати / Accepted: 05.10.2023

Сведения об авторах

Бураева Галина Михайловна – аспирант кафедры “Технический сервис и общепромышленные дисциплины” Иркутского государственного аграрного университета имени А.А. Ежевского.

Контактная информация: ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, 664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодежный, тел. 83952237431, e-mail: lavaki2009@yandex.ru. ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-4829-2052>.

Белоусов Игорь Витальевич – аспирант кафедры “Технический сервис и общепромышленные дисциплины” Иркутского государственного аграрного университета имени А.А. Ежевского.

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

Шистеев Алексей Валерьевич – кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой “Технический сервис и общепромышленные дисциплины” Иркутского государственного аграрного университета имени А.А. Ежевского.

Контактная информация: ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, 664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодежный, тел. 89025608844, e-mail: drive-er@yandex.ru. ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-8117-1263>.

Бураев Михаил Кондратьевич – доктор технических наук, профессор, вед. научный сотрудник кафедры “Технический сервис и общепромышленные дисциплины” Иркутского государственного аграрного университета имени А.А. Ежевского.

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

Information about the authors

Galina M. Buraeva – postgraduate student of the department of Technical service and general engineering disciplines, Irkutsk state agricultural university named after A.A. Ezhevsky.

Contact information: FSBEI HE Irkutsk SAU, 664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk district, Molodezhny, tel. 83952237431, e-mail: lavaki2009@yandex.ru. ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-4829-2052>.

Igor V. Belousov – postgraduate student of the department of Technical service and general engineering disciplines, Irkutsk state agricultural university named after A.A. Ezhevsky.

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

Alexey V. Shisteev – candidate of technical sciences, associate professor, head of the department of Technical service and general engineering disciplines, Irkutsk state agricultural university named after A.A. Ezhevsky.

Contact information: FSBEI HE Irkutsk SAU, 664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk district, Molodezhny, tel. 89025608844, e-mail: drive-er@yandex.ru. ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-8117-1263>.

Mikhail K. Buraev – doctor of technical sciences, professor, professor-consultant of the department of Technical service and general engineering disciplines, Irkutsk state agricultural university named after A.A. Ezhevsky.

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



DOI 10.51215/2411-6483-2023-(3)48-17-24

УДК 621.3.026.5

Научная статья

КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ ПРЕДПРИЯТИЙ АПК

С.В. Подьячих

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

Аннотация. В статье рассматривается влияние потоков реактивной мощности в распределительных электрических сетях напряжением 0.4 кВ, питающих производственные предприятия АПК. Основной причиной повышенного расхода реактивной мощности можно считать электропривод с асинхронными электрическими двигателями и силовые трансформаторы с низким коэффициентом загрузки, который обусловлен технологией производства. Вопрос об установке дополнительных источников реактивной мощности непосредственно у потребителей, позволяющих снизить нефункциональные потоки реактивной мощности, требует большого количества данных о режимах работы используемого электрооборудования. Применение в качестве нормативного показателя коэффициента мощности, характеризующего реактивную мощность, вместо коэффициента реактивной мощности является некорректным, так как не в полной мере отражает реального значения потоков реактивной мощности. Предложен простой метод расчета, позволяющий принять решение о компенсации потоков реактивной мощности в распределительной сети на основе треугольника мощностей в соответствии с теоретическими основами электротехники. Измерение параметров электрической энергии осуществлялось сертифицированным прибором PQM-701 фирмы СОНЕЛ. На основании произведенных измерений, построена диаграмма изменения коэффициента реактивной мощности на шинах распределительного устройства 0.4 кВ трансформаторной подстанции. Установлено, что коэффициент реактивной мощности значительно превышает нормативное значение, что вызывает дополнительную токовую нагрузку на элементы системы электроснабжения, снижает срок их службы. При этом увеличиваются потери электрической энергии и, соответственно, возрастает оплата за потребленную электроэнергию. На основании полученных данных произведен расчет потерь активной мощности, сокращение перетока реактивной энергии с распределительной сети, а также снижение потребления активной и полной мощности.

Ключевые слова: компенсация реактивной мощности, потери электрической энергии, электроснабжение предприятий.

Для цитирования: С.В. Подьячих. Компенсация реактивной мощности в распределительных сетях предприятий АПК. *Электронный научно-практический журнал “Актуальные вопросы аграрной науки”*. 2023;3 (48):17-24. DOI: DOI 10.51215/2411-6483-2023-(3)48-17-24.

COMPENSATION OF REACTIVE POWER IN DISTRIBUTION NETWORKS OF AGRICULTURAL ENTERPRISES

Sergey V. Podyachikh

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

Abstract. The article examines the influence of reactive power flows in 0.4 kV electrical distribution networks supplying agricultural production enterprises. The main reason for the increased consumption of reactive power can be considered an electric drive with asynchronous electric motors and power transformers with a low load factor, which is determined by the production technology. The question of installing additional sources of reactive power directly at consumers, allowing to reduce non-functional flows of reactive power, requires a large amount of data on the operating modes of the electrical equipment used. The use of power factor characterizing reactive power as a standard indicator instead of the reactive power factor is incorrect, since it does not fully reflect the real value of reactive power flows. A simple calculation method is proposed that allows one to make a decision on compensation of reactive power flows in the distribution network based on the power triangle in accordance with the theoretical foundations of electrical engineering. Electrical energy parameters were measured using a certified PQM-701 device from SONEL. Based on the measurements taken, a diagram of changes in the reactive power factor on the busbars of a 0.4 kV switchgear of a transformer substation was constructed. It has been established that the reactive power factor significantly exceeds the standard value, which causes an additional current load on the elements of the power supply system and reduces their service life. At the same time, losses of electrical energy increase and, accordingly, payments for consumed electricity increase. Based on the data obtained, active power losses were calculated, a reduction in the flow of reactive energy from the distribution network, as well as a reduction in active and apparent power consumption.

Keyword: reactive power compensation, electrical energy losses, power supply to enterprises.

For citation: Podyachikh S.V. Compensation of reactive power in distribution networks of agricultural enterprises *Electronic scientific-Practical journal “Actual issues of agrarian science”*. 2023; 2023;3 (48):17-24. DOI: DOI 10.51215/2411-6483-2023-(3)48-17-24.

Введение. Снижение потоков реактивной мощности в распределительной сети предприятия позволяет потребителю электрической энергии уменьшить её потери, увеличить пропускную способность электрической сети и коммутационной аппаратуры, снизить номинальную мощность трансформаторных подстанций, а также дополнительно сократить расходы на оплату потребленной электрической энергии. Снижение потоков реактивной мощности достигается установкой генераторов реактивной мощности непосредственно возле потребителя. Источниками реактивной мощности в системе электроснабжения являются генераторы на электростанциях, воздушные линии электропередач, синхронные двигатели и конденсаторные батареи. Решение об установке устройств компенсации принимается, как на стадии проектирования энергетического объекта, так и в

процессе его эксплуатации. Кроме того, данное решение можно использовать для увеличения установленной мощности потребления без изменения параметров распределительной сети предприятия.

Основной причиной повышенного потребления реактивной мощности в распределительной сети производственных предприятий является использование асинхронных двигателей, а также силовых трансформаторов, работающих с низким коэффициентом загрузки, который обусловлен технологией производства [2].

Цель данного исследования показать техническую и экономическую эффективность компенсации потоков реактивной мощности по результатам анализа измерений активной и реактивной мощности электрической энергии.

Материалы и методы. Во многих эксплуатируемых организациях основным нормативным показателем, характеризующим реактивную мощность, считается коэффициент мощности $\cos\varphi = P/S$, где P – активная мощность, S – полная мощность. В распределительной сети, питающей производственное предприятие, значение коэффициента должно находиться в пределах 0.95. При этом выбор соотношения P/S в качестве нормативного не дает полного представления о количестве реального значения потоков реактивной мощности. Например, при изменении коэффициента мощности от 0.95 до 0.94 реактивная мощность Q изменяется на 10%, а при изменении этого же коэффициента от 0.99 до 0.98 приращение реактивной мощности составляет уже 42%. (таблица 1) [2].

Таблица 1 – Соответствие коэффициентов мощности $\cos\varphi$ коэффициентам реактивной мощности $tg\varphi$ и доля реактивной мощности в полной мощности

Table 1 – Correspondence of power factors $\cos\varphi$ to reactive power factors $tg\varphi$ and the share of reactive power in total power

$\cos\varphi$	0.99	0.97	0.95	0.94	0.92	0.90	0.87	0.85	0.80	0.70
$tg\varphi$	0.14	0.25	0.33	0.36	0.43	0.48	0.55	0.60	0.75	1.02
доля Q в S , %	13.7	23.5	29.7	31.9	36.3	39.2	42.2	44.1	48.0	49.9

При расчетах необходимо использовать соотношение $tg\varphi = Q/P$, которое называют коэффициентом реактивной мощности (таблица 2) (Приказ Минэнерго России от 23.06.2015 №380 “О Порядке расчета значений ...”) [7].

Минимальные значения коэффициента реактивной мощности в часы малых суточных нагрузок электрической сети, за исключением часов малых суточных нагрузок электрической сети, применяемых в периоды участия потребителя в регулировании реактивной мощности, устанавливаются равными нулю [7].

Исследования, проведенные в действующих сетях [1, 3-6, 8] показывают, что коэффициент реактивной мощности в большинстве случаев значительно превышает нормативные значения.

Таблица 2 – Максимальные значения коэффициента реактивной мощности в часы больших суточных нагрузок электрической сети

Table 2 – Maximum values of the reactive power factor during hours of high daily load of the electrical network

Уровень напряжения в точке поставки потребителя электрической энергии	Максимальное значение коэффициента реактивной мощности, потребляемой в часы больших суточных нагрузок электрической сети
110 кВ (154 кВ)	0.5
35 кВ (60 кВ)	0.4
1 - 20 кВ	0.4
ниже 1 кВ	0.35

Основной принцип уравнивания потоков реактивной мощности Q состоит в том, чтобы для её электроприемников, функционирование которых невозможно без создания электромагнитных полей, не брать её из питающей системы, а вырабатывать непосредственно в узлах питания распределительной сети при помощи специальных устройств – компенсаторов. Идеальный случай: угол $\varphi=0$, при этом активная мощность $P=\text{макс}$, т.к. $\cos\varphi=1$, $Q=0$, Q – реактивная мощность обмена между потребителем электроэнергии и источником электроснабжения. Угол φ необходимо уменьшать до 0.

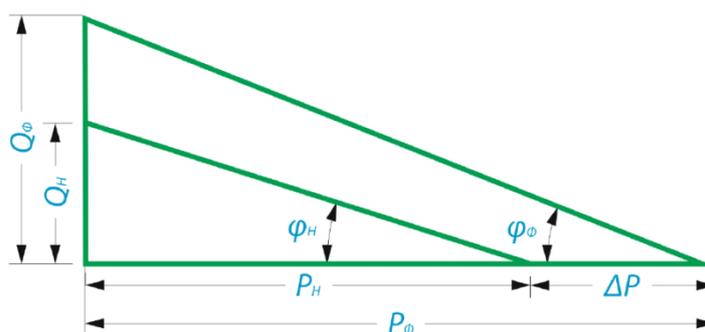


Рисунок 1 – Треугольник полной, активной и реактивной мощностей

Figure 1 – Triangle of apparent, active and reactive power

Из треугольника мощностей (рисунок 1) на основе фактически измеренных значений активной P_ϕ , реактивной Q_ϕ и полной S_ϕ мощностей определяется фактический коэффициент реактивной мощности $tg\varphi_\phi$ и рассчитываются: потери активной мощности ΔP , (кВт), сокращение перетока реактивной энергии с распределительной сети ΔQ , (%), а также снижение потребления активной ΔP , (%) и полной мощности ΔS , (%):

- потери активной мощности:

$$\Delta P = \frac{K_{ин} \cdot Q_\phi \cdot (tg\varphi_\phi - tg\varphi_n)}{tg\varphi_\phi \cdot (1 - K_{ин} \cdot tg\varphi_n)}, \text{ кВт}, \quad (1)$$

где $tg\varphi_n$ – нормируемое значение коэффициента реактивной мощности, $K_{инп}$ – коэффициент изменения потерь активной мощности, его величина задается энергосистемой (для системы электроснабжения предприятий равен 0.07 кВт/квар).

– снижение потребления активной мощности:

$$\Delta P/P_\phi = K_{инп} \cdot \frac{tg\varphi_\phi - tg\varphi_n}{1 - K_{инп} \cdot tg\varphi_n}, \% \quad (2)$$

– сокращение перетока реактивной энергии:

$$\Delta Q/Q_\phi = \frac{tg\varphi_\phi - tg\varphi_n}{tg\varphi_\phi \cdot (1 - K_{инп} \cdot tg\varphi_n)}, \% \quad (3)$$

– снижение потребления полной мощности:

$$\Delta S/S_\phi = 1 - \frac{(1 - K_{инп} \cdot tg\varphi_\phi) \cdot \sqrt{(1 + tg^2\varphi_n)}}{(1 - K_{инп} \cdot tg\varphi_n) \cdot \sqrt{(1 + tg^2\varphi_\phi)}}, \% \quad (4)$$

Основные результаты. Для исследования параметров сети использовался анализатор качества электрической энергии PQM-701. № 960251. Свидетельство о поверке № С-ВВ 0/21-06-2022/164882364. Измерения производились в СХАО “Белореченское” на трансформаторной подстанции, питающей птицеводческие цеха. Основные потребители электрической нагрузки: освещение, вентиляционные установки, транспортеры, насосы, использующие в качестве привода асинхронные двигатели.

На основании данных измерений, проведенных в производственной сети, установлено, что коэффициент реактивной мощности выше нормируемого максимального значения для электрических сетей 0.4 кВ – 0.35. На рисунке 2 показаны график изменения коэффициента реактивной мощности на шинах распределительного устройства 0.4 кВ трансформаторной подстанции в течение 1 недели.

Как видно из диаграммы коэффициент реактивной мощности изменяется от минимального значения 0.28 до максимального 2.0. Среднее значение коэффициента за период измерения составило 0.77, что превышает нормируемое максимальное значение в 2.2 раза.

Вместе с этим, если $tg\varphi_\phi = tg\varphi_n$, то отсутствует экономическая составляющая, при этом компенсация реактивной мощности в сети предприятия даст технический эффект для нормализации параметров сети и улучшит работу электрооборудования. При $tg\varphi_\phi > tg\varphi_n$, компенсация позволит снизить токовые нагрузки на распределительные сети, нормализовать работу электрооборудования, а также появляется возможность снизить объем потребляемой мощности и оплату за

сверхпотребленную электроэнергию. При $tg\varphi_{\phi} < tg\varphi_{н}$ мероприятий по компенсации реактивной энергии не требуется.

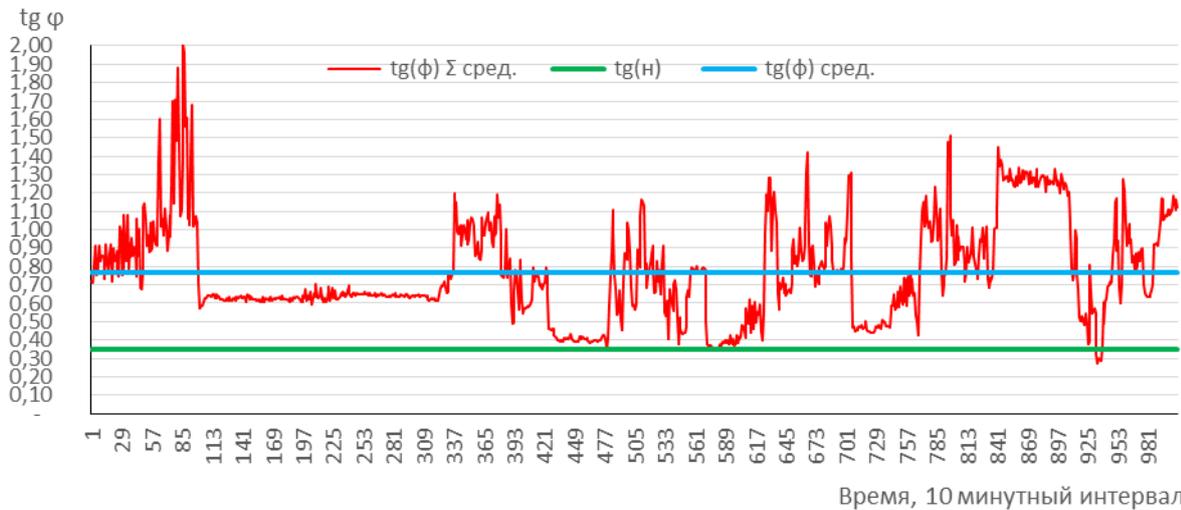


Рисунок 2 – Диаграмма изменения коэффициента реактивной мощности на шинах распределительного устройства 0.4 кВ трансформаторной подстанции

Figure 2 – Diagram of changes in reactive power factor on the busbars of a 0.4 kV switchgear of a transformer substation

На основании среднего значения коэффициента реактивной мощности $tg\varphi_{н}=0.77$ и фактического значения реактивной мощности $Q_{\phi}=83360$ вар произведем расчет потерь активной мощности ΔP , сокращение перетока реактивной энергии с распределительной сети $\Delta Q/Q_{\phi}$, а также снижение потребления активной $\Delta P/P_{\phi}$ и полной мощности $\Delta S/S_{\phi}$, в соответствии с формулами (1) – (4). Задача состоит в том, чтобы выйти за счет компенсации реактивной мощности на $tg\varphi_{н}=0.25$ ($\cos\varphi_{н}=0.97$). Тогда:

$$\Delta P = \frac{0.07 \cdot 83.360 \cdot (0.77 - 0.25)}{0.77 \cdot (1 - 0.07 \cdot 0.25)} = 226 \text{ кВт};$$

$$\Delta P/P_{\phi} = 0.07 \cdot \frac{1.02 - 0.25}{1 - 0.07 \cdot 0.25} = 3,7 \%;$$

$$\Delta Q/Q_{\phi} = \frac{1.02 - 0,25}{1.02 \cdot (1 - 0.07 \cdot 0.25)} = 69.1 \%;$$

$$\Delta S/S_{\phi} = 1 - \frac{(1 - 0.07 \cdot 1.02) \cdot \sqrt{(1 + 0.25^2)}}{(1 - 0.07 \cdot 0.25) \cdot \sqrt{(1 + 1.02^2)}} = 25.2 \%.$$

В результате расчета получаем, что при снижении коэффициента реактивной мощности $tg\varphi$ с 0.77 до 0.25 ($\cos\varphi_{н}=0.97$) сократится переток реактивной энергии из распределительной сети более чем на 69.1%, а потребление полной мощности уменьшится на величину, которая выше 25.2%. Это позволит снизить токовую нагрузку на электрооборудование, а

также потребления активной мощности на 3.7%, за счет минимизации потерь, что соответственно даст экономию по оплате за потребленную электроэнергию.

Выводы. Таким образом, нормализация потоков реактивной мощности в распределенной сети предприятия выгодна в техническом плане, а при наличии большого количества потребителей реактивной мощности - и в коммерческом. На основании данных электрических счетчиков потребления активной и реактивной электроэнергии и простых расчетов можно принять решение о дополнительных исследованиях в данной распределительной сети, а также необходимости установки в них источников реактивной мощности.

Благодарность. Выражаем благодарность компании СОНЭЛ (представительство в г. Иркутск) за предоставленную возможность использовать в научно-исследовательской работе профессиональные электроизмерительные приборы.

Список литературы

1. Иванов, Д.А. Исследование потерь электрической энергии в сети 0.38 кВ / Д.А. Иванов, И.В. Наумов, С.В. Подьячих // Вестник ИрГСХА. – 2017. – № 81-2. – С. 70-77.
2. Компенсация реактивной мощности [Электронный ресурс] // studfile.net: файловый архив. URL: <https://studfile.net/preview/2690071/page:25/> (дата обращения: 24.07.2023).
3. Кудряшев, Г.С. Компенсация реактивной мощности как метод сокращения потерь на предприятиях АПК / Г.С. Кудряшев, А.Н. Третьяков, О.Н. Шпак // Инновации в сельском хозяйстве. – 2017. – № 3(24). – С. 95-98.
4. Наумов, И.В. Исследование и анализ дополнительных потерь мощности и качества электрической энергии в сельских распределительных сетях напряжением 0.38 кВ при несимметричной нагрузке / И.В. Наумов, С.В. Подьячих, Д.А. Иванов, Д.А. Шпак // Отчет о НИР. – 2006. – 56 с.
5. Наумов, И.В. Качество электрической энергии и снижение дополнительных потерь мощности в электрических сетях / И.В. Наумов, С.В. Подьячих, Д.А. Иванов // Вестник ИрГСХА. – 2009. – №37. – С. 83-88.
6. Подьячих, С.В. Нормализация качества электрической энергии в сельских сетях 0,38кв при несимметричной нагрузке для снижения энергетических потерь / С.В. Подьячих // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Иркутск, 2003. – 244 с.
7. Приказ Минэнерго России от 23.06.2015 № 380 "О Порядке расчета значений соотношения потребления активной и реактивной мощности для отдельных энергопринимающих устройств (групп энергопринимающих устройств) потребителей электрической энергии" (Зарегистрировано в Минюсте России 22.07.2015 № 38151).
8. Naumov, I.V. The 0.38 kV "Green Network" Operating Modes Simulation with Multi-Level Unbalanced Power Consumption / I.V. Naumov, S.V. Podyachikh // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 2022, 990 012055 doi:10.1088/1755-1315/990/1/012055.

References

1. Ivanov, D.A. et all. Issledovanie poter' elektricheskoy energii v seti 0.38 kV [Investigation of electric energy losses in the 0.38 kV network]. Vestnik IrGSHA, 2017, no. 81-2, pp. 70-77.
2. Kompensaciya reaktivnoj moshchnosti [Reactive power compensation]. URL: <https://studfile.net/preview/2690071/page:25/> (accessed: 07/24/2023)

3. Kudryashev, G.S. et all. [Reactive power compensation as a method of reducing losses at agricultural enterprises]. *Innovacii v sel'skom hozyajstve*, 2017, no. 3(24), pp. 95-98.

4. Naumov, I.V. et all. Issledovanie i analiz dopolnitel'nyh poter' moshchnosti i kachestva elektricheskoy energii v sel'skih raspredelitel'nyh setyah napryazheniem 0.38 kV pri nesimmetrichnoj nagruzke [Research and analysis of additional losses of power and quality of electric energy in rural distribution networks with a voltage of 0.38 kV at an asymmetric load]. *Otchet o NIR*, 2006, 56 p.

5. Naumov, I.V. et all. [Quality of electric energy and reduction of additional power losses in electric networks]. *Vestnik IrGSHA*, 2009, no. 37, pp. 83-88.

6. Podyachikh, S.V. Normalizaciya kachestva elektricheskoy energii v sel'skih setyah 0,38kv pri nesimmetrichnoj nagruzke dlya snizheniya energeticheskikh poter' [Normalization of the quality of electric energy in rural networks of 0.38 kv with an asymmetric load to reduce energy losses]. *Diss. Sciences Technical*, Irkutsk, 2003, 244 p.

7. Prikaz Minenergo Rossii ot 23.06.2015 № 380 "O Poryadke rascheta znachenij sootnosheniya potrebleniya aktivnoj i reaktivnoj moshchnosti dlya otdel'nykh energoprinimayushchih ustrojstv (grupp energoprinimayushchih ustrojstv) potrebitelej elektricheskoy energii" (Zaregistrovano v Minyuste Rossii 22.07.2015 № 38151) [The Order of the Ministry of Energy of the Russian Federation dated 23.06.2015 N 380 "On the Procedure for calculating the values of the ratio of active and reactive power consumption for individual energy receiving devices (groups of energy receiving devices) of electric energy consumers" (Registered with the Ministry of Justice of the Russian Federation on 22.07.2015 № 38151)].

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

Конфликт интересов. Автор декларирует отсутствие конфликта интересов.

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

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

История статьи / Article history

Дата поступления в редакцию / Received: 26.09. 2023

Поступила после рецензирования и доработки / Received: 04.10.2023

Дата принятия к печати / Accepted: 05.10.2023

Сведения об авторе

Подъячих Сергей Валерьевич – кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой “Электроснабжения и электротехники” Иркутского государственного аграрного университета имени А.А. Ежевского.

Контактная информация: ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, 664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодежный, тел. 83952237431, e-mail: lavaki2009@yandex.ru. ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-4829-2052>.

Information about the author

Sergey V. Podyachikh – candidate of technical sciences, associate professor, head. Department of Electrical Supply and Electrical Engineering, Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Yezhevsky.

Contact information: FSBEI HE Irkutsk SAU, 664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk district, Molodezhny, tel. 83952237431, e-mail: lavaki2009@yandex.ru. ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-4829-2052>.



DOI 10.51215/2411-6483-2023-(3)48-25-33

УДК 631.331

Научная статья

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

Г.Н. Поляков, С.Н. Шуханов, А.В. Косарева

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

Аннотация. Опыт последних десятилетий показал, что одним из важнейших аспектов развития агропромышленного комплекса является технологический, который основывается на принципах ресурсосбережения. Ресурсосбережение можно полно реализовать путем адаптивной интенсификации процессов возделывания сельскохозяйственных культур, целью которой является увеличение выхода конечной продукции на единицу всех применяемых и потребляемых ресурсов – земли, воды, солнечной энергии, техники, удобрений, сырья, с полным соблюдением агротехнологий как адаптивно-ландшафтного земледелия, так и энергосберегающего земледелия. Предложен набор опытных образцов сельхозтехники: почвообрабатывающего комбинированного орудия, оснащенного культиватором для локального внесения удобрения, посевной агрегат для высева семян в гряды и бороны с активными рабочими органами [1]. Рекомендована и обоснована следующая последовательность технологических операций при возделывании зерновых культур: предпосевная обработка почвы с интенсивным крошением верхнего слоя без оставления комков и выравниванием дневной поверхности поля за один проход комбинированным почвообрабатывающим орудием; внесение удобрений в почву локальным способом, перед посевом; подпочвенно-разбросной способ посева; до всходов боронование вершин гряд на небольшую глубину; внесение в междурядья жидких удобрений в фазе кушения. Данная технология уменьшает число проходов машин и орудий по полю, а посев семян в гряды и своевременное внесение удобрений создает благоприятные фазы развития культур. Сравнительные полевые опыты традиционной и предложенной технологий возделывания зерновых показали, что содержание почвенной влаги при посеве семян в гряды в течение всего вегетационного периода было выше, чем при обычной технологии и рядовом посеве. Примененный комплекс машин и орудий обеспечил повышение урожайности овса на 0.11 т/га.

Ключевые слова: ресурсосбережение, технология, конструкция, рабочие органы, полевые операции, обработка, посев.

Для цитирования: Поляков Г.Н., Шуханов С.Н., Косарева А.В. Совершенствование технологии и технических средств возделывания зерновых культур. *Электронный научно-практический журнал “Актуальные вопросы аграрной науки”*. 2023; 3(48):25-33. DOI 10.51215/2411-6483-2023-(3)48-25-33.

IMPROVEMENT OF TECHNOLOGY AND TECHNICAL MEANS FOR CULTIVATION OF GRAIN CROPS

Gennady N. Polyakov, Stanislav N. Shukhanov, Anna V. Kosareva

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

Abstract. The experience of recent decades has shown that one of the most important aspects of the development of the agro-industrial complex is technological, which is based on the principles of resource conservation. Resource conservation can be fully realized through adaptive intensification of crop cultivation processes. The goal of which is to increase the yield of final products per unit of all used and consumed resources – land, water, solar energy, equipment, fertilizers, raw materials, with full compliance with agricultural technologies of both adaptive landscape agriculture and energy-saving agriculture. A set of prototypes of agricultural machinery has been proposed: a combined tillage implement equipped with a cultivator for local application of fertilizer, a sowing unit for sowing seeds into ridges, and harrows with active working parts [1]. The following sequence of technological operations for cultivating grain crops has been proposed and justified: pre-sowing tillage with intensive crumbling of the top layer without leaving lumps and leveling the day surface of the field in one pass using a combined tillage implement; applying fertilizers to the soil locally, before sowing; subsoil-broadcast sowing method; pre-emergence harrowing of ridge tops to a shallow depth; application of liquid fertilizers between rows during the tillering phase. This technology reduces the number of passes of machines and implements across the field, and sowing seeds in ridges and timely application of fertilizers creates favorable phases of crop development. Comparative field experiments of traditional and proposed technologies for cultivating grains showed that the soil moisture content when sowing seeds in ridges throughout the entire growing season was higher than with conventional technology and row sowing. The applied complex of machines and implements ensured an increase in oat yield by 0.11 t/ha.

Keywords: resource saving, technology, design, working parts, field operations, processing, sowing.

For citation: Polyakov G.N., Shukhanov S.N., Kosareva A.V. Improvement of technology and technical means for cultivation of grain crops. *Electronic scientific-Practical journal “Actual issues of agrarian science”*. 2023; 3(48):25-33. DOI 10.51215/2411-6483-2023-(3)48-25-33.

Введение. Установлено, что совершенствование технологии возделывания культур путем интенсификации какой-либо одной операции не приносит заметного позитивного экономического результата и не может компенсировать застой по другим параметрам. Как правило, существенное изменение в технологии, требует и адекватных изменений конструкций сельскохозяйственных машин, орудий и их рабочих органов.

На кафедре “Техническое обеспечение АПК” Иркутского ГАУ проведены опытно-конструкторские работы и полевые исследования усовершенствованного комплекса машин и рабочих органов для

возделывания зерновых культур с элементами сбережения ресурсов и адаптированных приемов посева, и ухода за ними.

Целью работы является повышение эффективности возделывания зерновых культур путем уменьшения проходов машин и орудий по полю, проведения ряда операций за один проход, посева семян в гряды и внесением удобрений в благоприятные фазы развития культур [2, 4, 6, 7, 8].

Материалы и методы. Выбор операций и рабочих органов обосновывался экспериментальным и статистическим анализом многочисленных данных [1, 3]. В качестве зерновой культуры использован овес. Исследования проводились на опытных полях учебного научно-производственного участка “Молодежное”.

Основные результаты. Описание ресурсосберегающих технологий возделывания дано во многих литературных источниках [6]. Особое внимание уделялось региональным исследованиям интенсивных технологий и сельскохозяйственных машин. С учетом лабораторных и экспериментальных исследований [5, 9, 10] рабочих органов комбинированного почвообрабатывающего орудия для предпосевной обработки почвы, бороны с активными зубьями и машины для внесения жидких азотных удобрений в фазе кущения была принята технология, характеризующаяся следующими особенностями:

1) проводится предпосевная обработка почвы с интенсивным крошением верхнего слоя без оставления комков и выравниванием дневной поверхности поля за один проход комбинированного почвообрабатывающего орудия;

2) основная доза удобрений вносится в почву перед посевом, локальным способом;

3) способ посева подпочвенно-разбросной с размещением семян полосой под грядой – 0.08 м, в основании – 0.23 м, высотой – 0.06 м с уплотнением семенного ложа, глубина посева 0.05-0.06 м;

4) до всходов проводят боронование вершин гряд на небольшую глубину – 0.02-0.03 м;

5) в фазе кущения в междурядья вносят жидкие удобрения (локальным способом).

Состав полевых операций и необходимые агрегаты указаны в таблице 1.

Технология предусматривает наличие транспортной колеи с использованием на тракторе средств навигации для последующих проходов агрегатов (элемент точного земледелия).

Из таблицы 1 следует, что для реализации первой операции предлагается агрегат с трактором, имеющим передний механизм навески для навешивания культиватора – растениепитателя, а штатный – задний механизм навески применяется для навешивания комбинированного почвообрабатывающего орудия. Такая компоновка позволяет обеспечить:

а) за один проход выполнить внесение минеральных удобрений с одновременной культивацией;

Таблица 1 – Состав полевых операций и агрегатов усовершенствованной технологии возделывания зерновых культур

Table 1 – Composition of field operations and units of improved technology for cultivating grain crops

№	Наименование операции	Состав агрегата
1	Предпосевная обработка почвы: культивация с локальным внесением основной дозы минеральных удобрений; крошение и выравнивание поверхности почвы	Гусеничный трактор+ культиватор-подкормщик КРН-5.6+ комбинированное почвеннообрабатывающее орудие
2	Подпочвенно- разбросной посев семян полосой в гряды с уплотнением семенного ложа	Гусеничный трактор+сеялка зерновая СЗУ-2.1(три сеялки) со специальными сошниками и катками с коническим ободом
3	Боронование до всходов	Пропашной трактор МТЗ-82+борона с активными пружинными зубьями
4	Локальное внесение в почву жидких азотных удобрений в фазе кушения зерновых с междурядьем 0.23м	Пропашной трактор МТЗ-82+подкормщик жидких удобрений

б) предпосевная обработка осуществляется комбинированным почвообрабатывающим орудием, включающим установленные последовательно батареи сферических дисков, выравнивающий брус, зубовые бороны, рыхлительные стрельчатые лапы и цепной шлейф.

Вторая операция – посев семян, выполняется посевным агрегатом, который включает гусеничный трактор в сцепке с тремя сеялками СЗУ-2.1 (рисунок 1).



Рисунок 1 – Полевая машина

Figure 1 – Field vehicle

Сошники сеялки переоборудованы и имеют ограничители уплотнительные пластины, формирующие полосу семян шириной 0.08 м и уплотненное семенное ложе. Сошники расставлены на поперечных балках рамы сеялки так, чтобы катки с конической формой обода перекатывались по почве между следами сошников и образовывали гряды, шириной 0.23 м, высотой 0.06 - 0.08 м и шириной верхней части гряды 0.15 м (рисунок 2). За счет уплотнения семенного ложа к семенам подтягивается капиллярная влага. Почва в гряде быстро прогревается, что ускоряет прорастание семян [5].

Задача третьей операции – боронование до всходов является поддержание в верхнем слое почвы, в горизонтах расположенных около семян максимально благоприятных воздушных, водных и тепловых условий, экономного использования имеющегося в почве гумуса. При этом создается рыхлый мульчирующий слой, который позволяет сберечь влагу, создает парниковый эффект в нижележащем слое почвы. Мульчирующий слой предупреждает почву от трещин в жаркую погоду. Не менее важной задачей боронования является уничтожение сорняков.

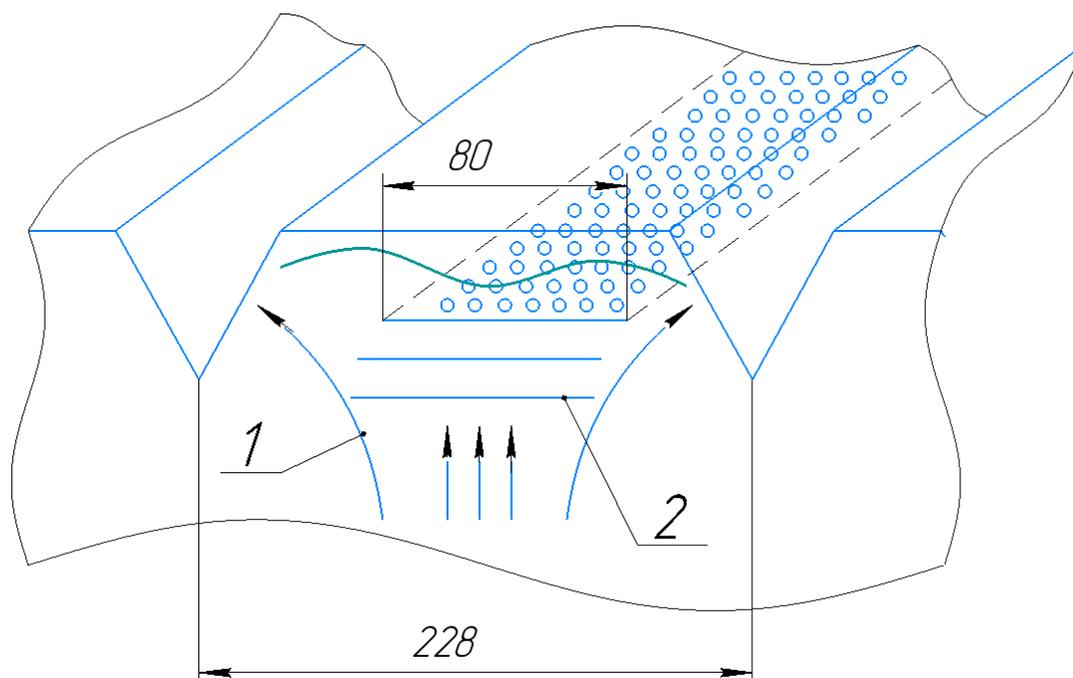


Рисунок 2 – Форма гряды при подпочвенно-разбросном посеве посева в гряды

Figure 2 – The shape of the ridge during subsoil-broadcast sowing of crops in ridges

Использовать легкие бороны типа “Зиг-заг” в грядках до всходов неприемлемо. В ходе опытно-конструкторской работы предложена специальная борона с активными пружинными зубьями, которые совершают возвратно-поступательные движения. Траектория зуба описывает синусоиду. Борона выполнена на базе переоборудования культиватора-растениепитателя. Боронование целесообразно проводить через 3-4 дня после посева. Разработанная борона имеет устройство для точного

регулирования глубины обработки почвы. Синусоидальный характер движения пружинных зубьев бороны, как показали опыты, активно вычесывает проростки сорняков.

Четвертая операция технологии – локальное внесение в почву жидких минеральных удобрений в фазе кущения. Она повышает урожайность зерна и его качество. По данным, при внесении аммиачной воды в середину междурядий получен позитивный результат. Рассмотрен ряд вариантов конструкций подкормщиков. Предложена технология локального внесения в междурядья, специальными ножами – подкормщиками, жидких удобрений, очагами, ограниченными длиной 0.3 м. Составлена схема их расстановки на культиваторе.

Проведены сравнительные полевые опыты традиционной и предложенной технологий возделывания зерновых. Основной оценкой является урожайность зерна. Данные опытов сведены в таблице 2.

Таблица 2 – Урожайность зерна овса, т/га

Table 2 – Oat grain yield, t/ha

№	Вариант опыта	Урожайность, т/га	Прибавка, т/га
1	Традиционная технология (боронование в два следа, культивация, рядовой посев)	0.42	-
2	Усовершенствованная технология (комбинированное орудие, посев в гряды)	0.53	+0.11

Выводы. 1. Обоснованы операции технологии возделывания зерновых культур и рабочие органы комбинированного почвообрабатывающего орудия, посевной машины для посева в гряды и бороны с активными рабочими органами.

2. Установлено, что содержание почвенной влаги при посеве семян в гряды в течение всего вегетационного периода было выше, чем при обычной технологии и рядовом посеве.

3. Комплекс машин и орудий обеспечил существенную прибавку урожая овса – 0.11 т/га.

Список литературы

1. Мартынов, Б.П. Агротехническая тетрадь для механизаторов. Возделывание зерновых культур и рапса по интенсивным технологиям / Б.П. Мартынов. – Москва: Росаропротомиздат. – 1988. – 26 с.

2. Организация мероприятий по обработке почвы от “Джон Дир”. <http://www.JohnDeer.com/Ag>. – 2007. – 96 с.

3. Павлов, И.М. Повышение эффективности дисковых сошников / И.М. Павлов, А.В. Перетяшко, А.Е. Сарсенов // Аграрный научный журнал. – 2016. – №12. – С. 58-60.

4. Поляков, Г.Н. Опыт применения и сравнительные испытания почвообрабатывающе-посевных комплексов в Предбайкалье / Г.Н. Поляков, В.И. Солодун и др. / Техника будущего: Перспективы развития сельскохозяйственной техники // Сб. статей междунар. научно-практ. конф. – Краснодар. – 2013. – С. 154-159.
5. Поляков, Г.Н. Совершенствование технических средств для возделывания яровых зерновых культур с разработкой сеялки для посева в гряды / Г.Н. Поляков, С.Н. Шуханов, А.В. Косарева // Пермский аграрный вестник. – 2022. – № 2(38). – С. 33-41.
6. Сельскохозяйственные машины и орудия для возделывания зерновых культур по ресурсосберегающим технологиям в условиях Иркутской области: Рекомендации / Иркутский ГАУ. – 2012. – 147 с.
7. Система ведения сельского хозяйства Иркутской области: В 2 ч. Монография / Под редакцией Я.М. Иваньо, Н.Н. Дмитриева. - Иркутск: ООО «Мегапринт», 2019. – Ч. 2. – 321 с.
8. Солодун, В.И. Механическая обработка почвы и ее научное обоснование в Предбайкалье: монография / В.И. Солодун. – Иркутск: Изд-во ИрГСХА. – 2009. – 203 с.
9. Яковлев, Д.А. Изменение температурного режима почвы при посеве яровой пшеницы в гряды / Д.А. Яковлев, Г.Н. Поляков // Кормопроизводство. – 2023. – № 1. – С. 31-35.
10. Яковлев, Д.А. Оценка влияния влажности почвы при посеве на глубину заделки семян зерновых культур / Д.А. Яковлев, В.И. Беляев, Г.Н. Поляков // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2023. – Т. 53, № 1. – С. 104-110.

References

1. Marty`nov, B.P. Agronomicheskaya tetrad` dlya mexanizatorov. Vozdely`vanie zernovy`x kul`tur i rapsa po intensivny`m texnologiyam [Agronomic notebook for machine operators. Cultivation of grain crops and rapeseed by intensive technologies]. Moscow, 1988, 26 p.
2. Organizaciya meropriyatij po obrabotke pochvy` ot “Dzhon Dir” [Organization of tillage events from John Deere]. <http://www.JohnDeer.com/Ag>, 2007, 96 p.
3. Pavlov, I.M. et all. Povy`shenie e`ffektivnosti diskovy`x soshnikov [Improving the efficiency of disc coulters]. Agrarny`j nauchny`j zhurnal, 2016, no. 12, pp. 58-60.
4. Polyakov, G.N. et all. Opy`t primeneniya i sravnitel`ny`e ispy`taniya pochvoobrabaty`vayushhe-posevny`x kompleksov v Predbajkal`e [Application experience and comparative tests of tillage and sowing complexes in the Pre-Baikal region]. Krasnodar, 2013, pp. 154-159.
5. Polyakov, G.N. et all. Sovershenstvovanie texnicheskix sredstv dlya vozdely`vaniya yarovy`x zernovy`x kul`tur s razrabotkoj seyalki dlya poseva v gryady` [Improvement of technical means for the cultivation of spring grain crops with the development of a seeder for sowing in ridges]. Permskij agrarny`j vestnik, 2022, no. 2(38), pp. 33-41.
6. Sel`soxozyajstvenny`e mashiny` i orudiya dlya vozdely`vaniya zernovy`x kul`tur po resursosberegayushhim texnologiyam v usloviyax Irkutskoj oblasti [Agricultural machines and implements for cultivating grain crops using resource-saving technologies in the conditions of the Irkutsk region]. Rekomendacii, Irkutskij GAU, 2012, 147 p.
7. Sistema vedeniya sel`skogo xozyajstva Irkutskoj oblasti [The system of agriculture of the Irkutsk region]. Ivanyo, Ya.M. et all. Irkutsk, 2019, no. 2, 321 p.
8. Solodun, V.I. Mexanicheskaya obrabotka pochvy` i ee nauchnoe obosnovanie v Predbajkal`e [Mechanical tillage and its scientific justification in the Pre-Baikal region]. Irkutsk, 2009, 203 p.

9. Yakovlev, D.A., Polyakov G.N. *Izmenenie temperaturnogo rezhima pochvy` pri poseve yarovoj pshenicy v gryady`* [Changes in the temperature regime of the soil when sowing spring wheat in ridges]. *Kormoproizvodstvo*, 2023, no. 1, pp. 31-35.

10. Yakovlev, D.A. et all. *Ocenka vliyaniya vlazhnosti pochvy` pri poseve na glubinu zadelki semyan zernovy`x kul`tur* [Assessment of the effect of soil moisture during sowing on the depth of planting of grain seeds]. *Sibirskij vestnik sel`skoxozyajstvennoj nauki*, 2023, vol. 53, no. 1, pp. 104-110.

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

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие конфликта интересов.

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

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

История статьи / Article history

Дата поступления в редакцию / Received: 21.09. 2023

Поступила после рецензирования и доработки / Received: 02.10. 2023

Дата принятия к печати / Accepted: 05.10. 2023

Сведения об авторах

Поляков Геннадий Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры технического обеспечения АПК инженерного факультета Иркутского государственного аграрного университета имени А.А. Ежевского.

Контактная информация: ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, 664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодежный, тел. 8(902)566-99-65, e-mail: sxm1953@mail.ru. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8628-2541>.

Шуханов Станислав Николаевич – доктор технических наук, профессор кафедры технического обеспечения АПК инженерного факультета Иркутского государственного аграрного университета имени А.А. Ежевского.

Контактная информация: ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, 664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодежный, тел. 8(908)654-60-32, e-mail: shuhanov56@mail.ru. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2134-6871>.

Косарева Анна Викторовна – кандидат технических наук, доцент кафедры технического сервиса и общеинженерных дисциплин инженерного факультета Иркутского государственного аграрного университета имени А.А. Ежевского.

Контактная информация: ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, 664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодежный, тел. 8(914)944-42-28, e-mail: ankosar@mail.ru. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1613-5394>.

Information about authors

Gennady N. Polyakov– candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technical Support of Agro-Industrial Complex of the Engineering Faculty, Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky.

Contact information: FSBEI HE Irkutsk SAU, 664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk district, pos. Molodezhny, tel. 8(902)566-99-65, e-mail: sxm1953@mail.ru. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8628-2541>.

Stanislav N. Shukhanov– doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Technical Support of Agro-Industrial Complex, Faculty of Engineering, Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky.

Contact information: FSBEI HE Irkutsk SAU, 664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk district, pos. Molodezhny, tel. 8(908)654-60-32, e-mail: shuhanov56@mail.ru. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2134-6871>.

Anna Viktorovna Kosareva – candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technical Service and General Engineering Disciplines, Faculty of 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. 8(914)944-42-28, e-mail: ankosar@mail.ru. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1613-5394>.



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

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

DOI 10.51215/2411-6483-2023-(3)48-34-45

УДК 004.932:636|639.111

Научная статья

**КОМПЬЮТЕРНОЕ ЗРЕНИЕ В ОЦЕНКЕ ПАРАМЕТРОВ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ И ДИКИХ ЖИВОТНЫХ**

П.Г. Асалханов, В.О. Беляков, Н.В. Калинин, С.А. Петрова

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

Аннотация. Компьютерное зрение – это актуальное, быстроразвивающееся и находящее применение во многих отраслях человеческой деятельности направление. В свою очередь в сельском хозяйстве, в частности, в отрасли животноводства и в наблюдении за дикими животными имеется большое количество задач, в решении которых полезна данная технология. Таким образом, в работе рассмотрены понятия компьютерного и машинного зрения. Дан краткий экскурс в историю развития этих технологий. Выявлены основные задачи компьютерного зрения и сферы его применения. Предложена классификация задач по определению параметров сельскохозяйственных и диких животных с помощью систем компьютерного зрения. Среди наиболее актуальных задач в сельском хозяйстве можно выделить: определение веса и конституции животных в группе и индивидуально, идентификация животных по внешнему виду (окрасу, отпечатку носа, сетчатке глаза и др.), классификация животных по разным признакам (упитанности, половозрастной группе, породе), выявление аномалий в поведении животного (с целью определения больных особей в стаде, идентификации недостающих составляющих в питании и др.), определение размеров и состояния вымени (для оценки удоев, выявления заболеваний, травм и иных отклонений). При наблюдении за дикими животными актуальными являются решения задач, таких как определение численности популяции, видового и внутривидового состава, половозрастной группы, суточной и сезонной активности, выявление особенностей поведения. Описаны значимые проекты, связанные с решением некоторых из выделенных задач. Выделены перспективные направления развития систем искусственного интеллекта в сельском и лесном хозяйстве.

Ключевые слова: компьютерное зрение, параметры животных, животноводство, дикие животные, искусственный интеллект.

Для цитирования: Асалханов П.Г., Беляков В.О., Калинин Н.В., Петрова С.А. Компьютерное зрение в оценке параметров сельскохозяйственных и диких животных. *Электронный научно-практический журнал “Актуальные вопросы аграрной науки”*. 2023; 3 (48):34-45. DOI 10.51215/2411-6483-2023-(3)48-34-45.

COMPUTER VISION IN ASSESSING PARAMETERS OF AGRICULTURAL AND WILD ANIMALS

Petr G. Asalkhanov, Vyacheslav O. Belyakov, Nikolay V. Kalinin, Sofya A. Petrova

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

Abstract. Computer vision is a relevant, rapidly developing field that is used in many areas of human activity. In turn, in agriculture, in particular in the livestock industry and in monitoring wild animals, there are a large number of tasks in which this technology is useful. Thus, the work discusses the concepts of computer and machine vision. A brief excursion into the history of the development of these technologies is given. The main tasks of computer vision and the scope of its application are identified. A classification of tasks for determining the parameters of farm and wild animals using computer vision systems is proposed. Among the most pressing tasks in agriculture are: determination of the weight and constitution of animals in a group and individually, identification of animals by appearance (color, nose print, retina, etc.), classification of animals according to various characteristics (fatness, sex and age group, breed), identifying anomalies in the behavior of the animal (in order to identify sick individuals in the herd, identifying missing components in the diet, etc.), determining the size and condition of the udder (to assess milk yield, identify diseases, injuries and other abnormalities). When observing wild animals, solving problems such as determining population size, species and intraspecific composition, sex and age group, daily and seasonal activity, and identifying behavioral characteristics are relevant. Significant projects related to solving some of the identified problems are described. Promising directions for the development of artificial intelligence systems in agriculture and forestry have been identified.

Keywords: computer vision, animal parameters, animal husbandry, wild animals, artificial intelligence.

For citation: Asalkhanov P.G., Belyakov V.O., Kalinin N.V., Petrova S.A. Computer vision in assessing parameters of agricultural and wild animals. *Electronic scientific-Practical journal “Actual issues of agrarian science”*. 2023; 3 (48):34-45. DOI 10.51215/2411-6483-2023-(3)48-34-45.

Введение. Анализ изображений и видеопотока при помощи технических и программных средств активно развивается и находит все больше областей применения в задачах классификации, идентификации и определения различных параметров объекта по внешним признакам. В частности, компьютерное зрение используется в автопилотах и вспомогательных системах транспорта, для охранных систем при обнаружении преступников и опасных предметов, системах мониторинга автотранспорта, в пропускных системах и других. В сельском хозяйстве его можно использовать для решения многих задач, например, для определения падежа и индивидуальных параметров сельскохозяйственных животных и птиц, автопилотов для сельскохозяйственной техники, функционирования электронных пастухов, определения фазы развития сельскохозяйственной культуры, заболевания

растения, картирования полей при помощи аэрофотосъемки, охранных систем и т.д. Для изучения природной среды уже существуют системы, позволяющие определять рельеф местности по видеопотоку и аэрофотоснимкам.

Для решения приведенных задач применимы технологии компьютерного и машинного зрения. Эти понятия иногда ошибочно используют как синонимы, но это не так.

Компьютерное зрение – это область искусственного интеллекта (ИИ), позволяющая извлекать информацию из цифровых изображений или видео [8, 16]. *Машинное зрение* – это сфера применения компьютерного зрения в промышленности и производстве, которая использует захват изображения для определения действия после интерпретации и обработки изображений. Сбор визуальных данных системами машинного зрения предполагает получение изображений с помощью цифровых камер, а затем их обработку для принятия определенного решения. В отличие от систем машинного зрения, для которых требуется камера и компьютер, системы компьютерного зрения можно использовать отдельно.

К основным задачам компьютерного зрения относят: 1) распознавание – определение наличия некоторого характерного объекта на изображении; 2) движение – задача, связанная с оценкой движения, в которой последовательность изображений (видеоданные) обрабатываются для нахождения скорости каждой точки изображения или 3D сцены; 3) восстановление сцены – воссоздание трехмерной модели изображения из двух или более изображений сцены или видеоданных; 4) восстановление изображений – удаление шумов (шум датчика, размытость движущегося объекта и т.д.) [19]. Для большинства систем компьютерного зрения можно выделить такие типичные функции: 1) получение изображений; 2) предварительная обработка; 3) выделение деталей; 4) детектирование или сегментация; 5) высокоуровневая обработка [19]. В частности, одной из перспективных отраслей, требующих применения технологий ИИ для повышения производительности и уменьшения трудозатрат является сельское хозяйство.

Первая из известных статей, которую можно отнести к области компьютерного зрения, была опубликована в 1959 году двумя психологами из США, Дэвидом Хубелем и Торстеном Визелем, под названием “Receptive fields of single neurons in the cat’s striate cortex” [21]. В ней описывались основные свойства зрительных корковых нейронов кошек – то, как накопленный зрительный опыт кошки формирует корковую структуру её мозга [21].

История развития анализируемой технологии искусственного зрения и распознавания образов берет начало в 1950-х гг. Так в статье [20] авторы анализируют пользу автоматического распознавания графических образов и звуковой информации компьютерами, описывают технологию, указывают на наличие достаточно высокого коэффициента полезности использования. В

качестве еще одного видного деятеля в области развития искусственного интеллекта, следует упомянуть профессора Массачусетского института технологий Лоуренса Робертса, которому принадлежат одни из первых исследований и разработок в части обучения компьютера “видеть” [26].

Что касается состояния развития отрасли ИИ, то выделяют три группы стран, способствующих развитию ИИ: 1) страны со значительным заделом и результатами разработки в этой области (США, Германия, Китай, Великобритания); 2) обладатели технологии ИИ – страны, которые могут претендовать на глобальные лидирующие позиции в области ИИ (Россия, Франция, Объединенные Арабские Эмираты, Сингапур, Индия); 3) страны, которые могут осуществить технологический скачек, но имеют ограниченный ресурсный потенциал (Мексика, Бразилия, Эстония, Финляндия) [2, 11]. Лидирующие страны в своём развитии делают упор на обеспечение технического суверенитета и ускоренное развитие правовых систем, регулирующих сферу ИИ. Считается, что Россия отстает от лидирующей группы развитых стран в части применения ИИ, что требует решения определенных задач: 1) ускорение технологического развития; 2) увеличение организаций, разрабатывающих и внедряющих технологические инновации; 3) осуществление ускоренного внедрения цифровых технологий в различные сферы; 4) привлечение и обучение талантливой молодежи для работы в области ИИ; 5) обеспечение эффективного управления и регулирования в рассматриваемой области [4, 12].

Что касается определения приоритетной сферы народного хозяйства для внедрения технологий ИИ, то можно заключить, что так или иначе данные технологии могут быть полезны во всех известных отраслях, обеспечивая накопление и производство знаний, способствуя повышению производительности труда и обеспечивая стабильность и безопасность на разных уровнях. Данная работа посвящена рассмотрению задач определения параметров диких и сельскохозяйственных животных, решаемых при помощи компьютерного зрения.

Таким образом, целью статьи является выделение актуальных и перспективных задач, связанных с определением параметров сельскохозяйственных и диких животных при помощи компьютерного зрения.

Материалы и методы. В работе использованы методы классификации, системного анализа. Описательно затронуты некоторые методы искусственного интеллекта, используемые в компьютерном зрении.

Основные результаты. Сельское и лесное хозяйство являются одними из отраслей, где технологии искусственного интеллекта наиболее востребованы ввиду трудоёмкости и сложности управления ими. Так, в животноводстве при помощи систем, компьютерного зрения можно решать следующие задачи: 1) обнаружение животного и его идентификация; 2) подсчет количества животных в стаде или в помещении; 3) оценка

параметров животного по экстерьеру (например, вес, конституция); 4) классификация животных по виду, породе, половозрастной группе; 5) выявление болезней по аномалиям в поведении и мимике животного; 6) идентификация нарушителей и хищников на ферме для защиты животных и проч. При этом следует выделить группу задач определения продуктивности животных по внешним признакам, например, привеса, надоя и др. [3, 14, 15, 18 и др.].

В работе [15] описана система для решения одной из актуальных задач в животноводстве – бесконтактного определения веса животного. В сравнении с традиционным способом взвешивания на классических весах, данный способ позволяет облегчить и ускорить этот процесс, уменьшить стресс, испытываемый животными, а также значительно снизить себестоимость этого процесса [15]. При этом, возможно определение веса, как отдельного животного, так и группы животных сразу. Оценка массы группы животных значительно экономит общее время, затрачиваемое на выполнение этой операции, однако индивидуальный весовой контроль позволяет применять собственный рацион питания для каждого животного в зависимости от его динамики набора веса. Эффективно организовать такой дифференцированный подход к кормлению животных практически невозможно при использовании традиционных методов взвешивания. Кроме того, используя данные по динамике изменения веса животного можно спрогнозировать будущие значения этого параметра для более эффективного планирования производства.

При этом необходимо отметить, что системы компьютерного зрения для своей работы используют нейронные сети, их особенностью является прямая зависимость точности оценки параметров от набора данных для обучения. Поэтому ключевым моментом в эффективном использовании нейросетей является качество, количество и разнообразие фото- и видеоматериалов, на которых запечатлены сельскохозяйственные животные.

На рисунке показана классификация задач по определению параметров сельскохозяйственных и диких животных, в решении которых применимы системы компьютерного зрения.

Среди существующих на сегодняшний день результативных проектов в сфере определения веса сельскохозяйственных животных можно выделить такие как методика прогнозирования продуктивности мясного скота при помощи автоматизированной системы бесконтактного измерения тела с использованием системы захвата изображений [24]; проект компании Neuromation, основанный на технологиях компьютерного зрения и позволяющий оценивать вес свиней по фото- и видеоданным [10].



Рисунок – Классификация задач по определению параметров сельскохозяйственных и диких животных с помощью систем компьютерного зрения

Figure – Classification of tasks for determining the parameters of farm and wild animals using computer vision systems

Одним из ключевых моментов при организации системы бесконтактного индивидуального учета веса животных является их идентификация. При этом применимы различные радиометки и их считыватели, например, RFID. Однако имеются разработки, которые позволяют идентифицировать животное по их внешнему виду. Так, например, отечественный стартап Cattle Care, разработанный для контроля состояния скота, позволяет считывать окрас коров как QR-код. Система позволяет идентифицировать корову с точностью до 98.5% благодаря уникальному окрасу каждого животного [5]. Ижевская компания СТСХ разработала систему SAIC для идентификации коз и коров по “лицу”, а точнее по рисунку носа животного [5].

К системам позволяющим анализировать поведение животных, на основе технологии компьютерного зрения, можно отнести проект компании Napoleon IT, который заключается в разработке системы определения и анализа поведения животных. Система основывается на модели CV, которая сегментирует видео для поиска нужного объекта или животного и отслеживает его перемещения в кадре, а эвристические алгоритмы рассчитывают его активность [17]. Упомянутая выше система Cattle Care

также позволяет оценивать состояние скота по анализу их физической активности. При возникновении каких-то отклонений в поведении животного, система оповещает фермера и позволяет ему своевременно принять необходимый комплекс мер, по лечению или профилактике заболевания [1]

Что касается диких животных, можно выделить работы [6, 7], в которых рассмотрены вопросы систем мониторинга охотничьих промысловых животных, в частности, методики наблюдений с помощью фотоловушек, которые дают информацию по суточной активности зверей и птиц. Эти результаты могут использоваться для отслеживания динамики популяционных параметров, необходимых для оценки современного статуса популяции и долгосрочного прогнозирования её состояния. Кроме того, интерес представляет количественная оценка характеристик участков обитания и перемещений популяций отдельных видов [6].

На сегодняшний день разработаны системы, использующие компьютерное зрение при: анализе данных, полученных с фотоловушек и других источников для мониторинга состояния окружающей среды [8, 9, 13, 16, 22, 23]; распознавании видового состава леса [8, 25]; автономном обследовании полостей в деревьях [22] и другие.

Развитие технологий компьютерного зрения и их применение особо актуально в наблюдении за дикими животными для определения их численности, параметров, ценных для хозяйственной деятельности человека и научных исследований, в частности, особенностей поведения, ввиду масштабности зоны поиска и наблюдения и значительной удаленности от населенных пунктов [6, 7]. При этом следует отметить, что и в этой сфере существуют разработки. Так, авторами [16] создана система для дистанционного мониторинга природных территорий и мониторинга биоразнообразия, относящаяся к средствам поиска, обнаружения и классификации животных, по данным, полученным с помощью фотоловушек, с возможностью дообучения под видовое разнообразие заповедника.

Решение описанных задач по определению параметров сельскохозяйственных и диких животных могут помочь в повышении эффективности деятельности сельскохозяйственного предприятия, накоплению новых знаний, повышению эффективности планирования и управления агропромышленным производством, лесной отраслью, природными заповедниками.

Выводы. 1. Предложена классификация задач по определению параметров сельскохозяйственных и диких животных при помощи компьютерного зрения. 2. Описаны наиболее актуальные задачи в животноводстве, лесном хозяйстве и при изучении диких животных, для решения которых применимо компьютерное зрение. 3. Определены некоторые проблемы и перспективы в части разработки и использования систем компьютерного зрения в рассмотренных областях.

Список литературы

1. “Большой брат” присмотрит за коровами технология компьютерного зрения помогает фермерам. Цифровой океан РФ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://digitalocean.ru/n/bolshoj-brat-prismotrit-za-korovami>.
2. Ахмедова, М.Р. Особенности формирования технологий искусственного интеллекта в России и за рубежом / М.Р. Ахмедова // Региональная и отраслевая экономика. – 2022. – № 3. – С. 27–33. DOI: 10.47576/2782-4578_2022_3_27.
3. Барсукова, М.Н. О задачах и рисках трансформации цифровых технологий в сельском хозяйстве Иркутской области / М.Н. Барсукова, Я.М. Иванько, С.А. Петрова // Цифровые технологии и системы в сельском хозяйстве: Матер. междунар. научно-практ. конф., п. Молодежный, 08-10 октября 2019 года. – п. Молодежный: Иркутский ГАУ, 2019. – С. 10-22.
4. Бикчантаев, М.М. Развитие и регламентация технологий искусственного интеллекта в Российской Федерации и в зарубежных странах / М.М. Бикчантаев // Право, экономика и управление: теория и практика: Сб. матер. II Всерос. научно-практ. конф., Чебоксары, 12 мая 2022 года. – Чебоксары: ООО “Издательский дом “Среда”, 2022. – С. 306-309.
5. В России создали Face ID для коз и коров. Дзен Статьи [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://dzen.ru/a/YL6IT1xw1HODqVw1>.
6. Вашукевич, Е.В. Концептуальная модель информационной системы мониторинга охотничьих промысловых животных / Е.В. Вашукевич, Ю.Е. Вашукевич, Я.М. Иванько // Климат, экология, сельское хозяйство Евразии: матер. междунар. научно-практ. конф., Иркутск, 09-10 июня 2016 года. – Иркутск: Иркутский ГАУ, 2016. – С. 49-56.
7. Вашукевич, Е.В. Моделирование суточной и сезонной активности южносибирского бурого медведя (*Ursus arctos baicalensis*) / Е.В. Вашукевич, Ю.Е. Вашукевич, Я.М. Иванько // Социально-экономические проблемы развития экономики АПК в России и за рубежом: Матер. междунар. научно-практ. конф., посвящ. 50-летию со дня образования экономического факультета, Иркутск, 26 ноября 2015 года. – Иркутск: Иркутский ГАУ, 2015. – С. 331-337.
8. Войтов, Д.Ю. Разработка технологии определения породы деревьев с применением компьютерного зрения / Д.Ю. Войтов, С.Б. Васильев, Д.В. Кормилицын // Лесной вестник. Forestry Bulletin. – 2023. – Т. 27, № 1. – С. 60-66. – DOI: 10.18698/2542-1468-2023-1-60-66.
9. Городнова, Н.В. Применение искусственного интеллекта в проектах "Smart-экология" / Н.В. Городнова // Дискуссия. – 2021. – № 2-3(105-106). – С. 34-48. – DOI: 10.24411/2077-7639-2019-10094.
10. Искусственный интеллект в АПК: роботы, компьютерное зрение и весы для свиней [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://milknews.ru/longridy/Iskusstvennyj-intellekt-v-APK.html>.
11. Камолов, С.Г. Доминанты национальных стратегий развития искусственного интеллекта в России, Германии и США / С.Г. Камолов, А.А. Варос, А. Крибиц, М.Ю. Алашкевич // Вопросы государственного и муниципального управления. – № 2. – С. 85-105. – DOI: 10.17323/1999-5431-2022-0-2-85-105.
12. Конев, С.И. Государственно-правовое регулирование искусственного интеллекта и робототехники в Российской Федерации и зарубежных странах / С.И. Конев, Б.А. Цокова // Государственная служба и кадры. – 2020. – №4. – С. 31-36. – DOI: 10.24411/2312-0444-2020-10176.
13. Леус, А.В. Применение методов компьютерного зрения для анализа изображений, собранных с фотоловушек в рамках программно-аппаратного комплекса мониторинга состояния окружающей среды на особо охраняемых природных территориях / А.В. Леус, В.А.

Ефремов // Труды Мордовского государственного природного заповедника им. П.Г. Смидовича. – 2021. – № 28. – С. 121-129.

14. О создании больших объёмов данных для управления процессом получения продовольственной продукции в регионе / Я.М. Иванько, С.А. Петрова, П.Г. Асалханов [и др.] // Актуальные вопросы инженерно-технического и технологического обеспечения АПК: матер. IX Нац. научно-практ. конф. с междунар. участием, Иркутск, 23-24 сентября 2021 года. – Молодёжный: Иркутский ГАУ, 2021. – С. 167-176.

15. Определение веса свиней на основе анализа видеопотока / П.Г. Асалханов, В.О. Беляков, С.А. Петрова [и др.] // Климат, экология и сельское хозяйство Евразии: матер. XII междунар. научно-практ. конф., п. Молодёжный, 27-28 апреля 2023 года. Том II. – п. Молодёжный: Иркутский ГАУ, 2023. – С. 158-164.

16. Патент № 2799114 С1 Российская Федерация, МПК G06V 10/20, G06V 40/10, G06N 3/067. Система анализа данных, считываемых с помощью фотоловушек, для оперативного дистанционного мониторинга природных территорий: № 2022124306: заявл. 14.09.2022; опубл. 04.07.2023 / А.В. Леус, Д.А. Гаврилов, Д.И. Мангазеев [и др.]; заявитель федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования “Московский физико-технический институт”.

17. Подсчет и анализ поведения животных. Napoleon IT [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cv.napoleonit.ru/recognition/animal-worker>.

18. Применение метода определения биометрических параметров вымени лактирующих животных с использованием сверточной нейронной сети / С.С. Юрочка, А.Р. Хакимов, И.М. Довлатов [и др.] // Вестник НГИЭИ. – 2022. – № 9(136). – С. 30-40. – DOI: 10.24412/2227-9407-2022-9-30-40.

19. Цуканов, М.А. Автоматизированное распознавание нетипичного поведения на основе визуальнооптического мониторинга как одна из проблем компьютерного зрения / М.А. Цуканов, О.П. Ульянова // XII Всерос. совещание по проблемам управления ВСПУ-2014, Москва, 16-19 июля 2014 года / Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН. – Москва: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2014. – С. 4041-4047.

20. David, E.E.Jr., Selfridge, O.G. Eyes and Ears for Computers // Proceedings of the IRE. 1962, vol. 50, Issue 5, pp. 1093-1101, DOI: 10.1109/JRPROC.1962.288011.

21. Hubel, D.H., Wiesel, T.N. Receptive fields of single neurons in the cat's striate cortex. J Physiol. 1959 Oct; 148(3): 574-591. DOI: 10.1113/jphysiol.1959.sp006308. URL: <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1959.sp006308>.

22. Steich, K., Kamel, M., Beardsley, P., Obrist, M.K., Siegwart, R., Lachat, T. "Tree cavity inspection using aerial robots," 2016 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), Daejeon, Korea (South), 2016, pp. 4856-4862, DOI: 10.1109/IROS.2016.7759713. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7759713>.

23. Markku Åkerblom, Pasi Raunonen, Raisa Mäkipää, Mikko Kaasalainen. Automatic tree species recognition with quantitative structure models. Remote Sensing of Environment. Vol. 191, 2017. pp. 1-12, DOI: 10.1016/j.rse.2016.12.002. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425716304746>.

24. On-Barn Forecasting Beef Cattle Production Based on Automated Non-Contact Body Measurement System / S. Gritsenko, A. Ruchay, V. Kolpakov, S. Lebedev, H. Guo, A. Pezzuolo // Animals. 2023, №13: 611. URL: <https://doi.org/10.3390/ani13040611>.

25. Onishi Masanori and Takeshi Ise Automatic classification of trees using a UAV onboard camera and deep learning.10390 (2018). DOI: 10.48550/arXiv.1804.10390. URL: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1804/1804.10390.pdf>.

26. Roberts, Lawrence G. Machine perception of three-dimensional solids. Thesis (Ph. D.)--Massachusetts Institute of Technology, Dept. of Electrical Engineering, 1963, 82 p. URL: <http://hdl.handle.net/1721.1/11589>.

References

1. "Bol'shoj brat" prismotrit za korovami tekhnologiya komp'yuternogo zreniya pomogaet fermeram ["Big brother" will look after the cows computer vision technology helps farmers]. <https://digitalocean.ru/n/bolshoj-brat-prismotrit-za-korovami>.
2. Ahmedova, M.R. Osobennosti formirovaniya tekhnologij iskusstvennogo intellekta v Rossii i za rubezhom [Features of the formation of artificial intelligence technologies in Russia and abroad]. *Regional'naya i otraslevaya ekonomika*, 2022, no. 3, pp. 27–33. DOI: 10.47576/2782-4578_2022_3_27.
3. Barsukova, M.N. et al. O zadachah i riskah transformacii cifrovyyh tekhnologij v sel'skom hozyajstve Irkutskoj oblasti [About the challenges and risks of transformation of digital technologies in agriculture of the Irkutsk region]. *Molodezhnyj*, 2019, pp. 10-22.
4. Bikchantaev, M.M. Razvitie i reglamentaciya tekhnologij iskusstvennogo intellekta v Rossijskoj Federacii i v zarubezhnyh stranah [Development and regulation of artificial intelligence technologies in the Russian Federation and in foreign countries]. *Cheboksary*, 2022, pp. 306-309.
5. V Rossii sozdali Face ID dlya koz i korov [In Russia, they created a Face ID for goats and cows]. <https://dzen.ru/a/YL6IT1xw1HODqVw1>.
6. Vashukevich, E.V. et al. Konceptual'naya model' informacionnoj sistemy monitoringa ohotnich'ih promyslovyh zhivotnyh [Conceptual model of the information system for monitoring hunting commercial animals]. *Irkutsk*, 2016, pp. 49-56.
7. Vashukevich, E.V. et al. Modelirovanie sutochnoj i sezonnoj aktivnosti yuzhnosibirskogo burogo medvedya (*Ursus arctos baicalensis*) [Modeling of the daily and seasonal activity of the South Siberian brown bear (*Ursus arctos baicalensis*)]. *Irkutsk*, 2015, pp. 331-337.
8. Vojtov, D.Yu. et al. Razrabotka tekhnologii opredeleniya porody derev'ev s primeneniem komp'yuternogo zreniya [Development of technology for determining tree species using computer vision]. *Lesnoj vestnik*, 2023, vol. 27, no. 1, pp. 60-66. – DOI: 10.18698/2542-1468-2023-1-60-66.
9. Gorodnova, N.V. Primenenie iskusstvennogo intellekta v proektah "Smart-ekologiya" [Application of artificial intelligence in Smart Ecology projects]. *Diskussiya*, 2021, no. 2-3(105-106), pp. 34-48. – DOI: 10.24411/2077-7639-2019-10094.
10. Iskusstvennyj intellekt v APK: roboty, komp'yuternoe zrenie i vesy dlya svinej [Artificial intelligence in AGRICULTURE: robots, computer vision and scales for pigs]. <https://milknews.ru/longridy/Iskusstvennyj-intellekt-v-APK.html>.
11. Камолов, С.Г. Доминанты национальных стратегий развития искусственного интеллекта в России, Германии и США / С.Г. Камолов, А.А. Варос, А. Крибиц, М.Ю. Алашкевич // Вопросы государственного и муниципального управления. – № 2. – С. 85-105. – DOI: 10.17323/1999-5431-2022-0-2-85-105.
12. Konev, S.I., Cokova, B.A. Gosudarstvenno-pravovoe regulirovanie iskusstvennogo intellekta i robototekhniki v Rossijskoj Federacii i zarubezhnyh stranah [State-legal regulation of artificial intelligence and robotics in the Russian Federation and foreign countries]. *Gosudarstvennaya sluzhba i kadry*, 2020, no. 4, pp. 31-36. – DOI: 10.24411/2312-0444-2020-10176.
13. Leus, A.V., Efremov V.A. Primenenie metodov komp'yuternogo zreniya dlya analiza izobrazhenij, sobrannyh s fotolovushek v ramkah programmno-apparatnogo kompleksa monitoringa sostoyaniya okruzhayushchej sredy na osobo ohranyaemyh prirodnyh territoriyah [Application of computer vision methods for the analysis of images collected from camera traps within the framework of the software and hardware complex for monitoring the state of the environment in specially protected natural areas]. *Trudy Mordovskogo gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika im. P.G. Smidovicha*, 2021, no. 28, pp. 121-129.

14. Ivan'o, Ya.M. et all. O sozdanii bol'shikh ob'yomov dannyh dlya upravleniya processom polucheniya prodovol'stvennoj produkcii v regione [About creating large amounts of data to manage the process of obtaining food products in the region]. *Molodyozhnyj*, 2021, pp. 167-176.

15. Asalhanov, P.G. et all. Opredelenie vesa svinej na osnove analiza videopotoka [Determination of the weight of pigs based on the analysis of the video stream]. *Molodyozhnyj*, 2023, pp. 158-164.

16. Leus, A.V. et all. Patent № 2799114 C1 Rossijskaya Federaciya, MPK G06V 10/20, G06V 40/10, G06N 3/067. Sistema analiza dannyh, schityvaemyh s pomoshch'yu fotolovushek, dlya operativnogo distancionnogo monitoringa prirodnyh territorij: № 2022124306: zayavl. 14.09.2022: opubl. 04.07.2023 / [Patent no. 2799114 C1 Russian Federation, IPC G06V 10/20, G06V 40/10, G06N 3/067. Data analysis system read using camera traps for operational remote monitoring of natural areas: No. 2022124306: application 14.09.2022: publ. 04.07.2023]. Zayavitel' “Moskovskij fiziko-tekhnicheskij institut”.

17. Podschet i analiz povedeniya zhivotnyh. Napoleon IT [Counting and analysis of animal behavior. Napoleon IT]. <https://cv.napoleonit.ru/recognition/animal-worker>.

18. Yurochka, S.S. et all. Primenenie metoda opredeleniya biometricheskikh parametrov vymeni laktiruyushchih zhivotnyh s ispol'zovaniem svertochnoj nejronnoj seti [Application of the method for determining the biometric parameters of the udder of lactating animals using a convolutional neural network]. *Vestnik NGIEI*, 2022, no. 9(136), pp. 30-40. – DOI: 10.24412/2227-9407-2022-9-30-40.

19. Cukanov, M.A., Ul'yanova, O.P. Avtomatizirovannoe raspoznavanie netipichnogo povedeniya na osnove vizual'noopticheskogo monitoringa kak odna iz problem komp'yuternogo zreniya [Automated recognition of atypical behavior based on visual optical monitoring as one of the problems of computer vision]. Moscow, 2014, pp. 4041-4047.

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: 24.09.2023

Поступила после рецензирования и доработки / Revised: 03.10.2023

Дата принятия к печати / Accepted: 05.10.2023

Сведения об авторах

Асалханов Петр Георгиевич – кандидат технических наук, доцент кафедры информатики и математического моделирования Иркутского государственного аграрного университета имени А.А. Ежевского.

Контактная информация: ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, 664038, Россия, Иркутская обл., Иркутский р-н, п. Молодежный, тел. 89500621107, e-mail: asalkhanov@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7328-1323>.

Беляков Вячеслав Олегович – аспирант кафедры информатики и математического моделирования Иркутского государственного аграрного университета имени А.А. Ежевского.

Контактная информация: ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, 664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодежный, тел. +79148791195. e-mail: surelok1@yandex.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0003-3255-450x>.

Калинин Николай Владимирович – кандидат экономических наук, доцент кафедры информатики и математического моделирования Института экономики управления и прикладной информатики Иркутского государственного аграрного университета имени А.А. Ежевского.

Контактная информация: ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, 664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодежный, e-mail: mwwm@list.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0009-5542-1410>.

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

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

Information about authors

Petr G. Asalkhanov – Candidate of Technical Sciences, Ass. Prof. of the Department of informatics and mathematical modeling of Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky.

Contact information: FSBEI HE Irkutsk SAU, 664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk district, Molodezhny, tel. 89500621107, e-mail: asalkhanov@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7328-1323>.

Vyacheslav O. Belyakov – PhD student of the Department of Computer Science and Mathematical Modeling of Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky.

Contact information: FSBEI HE Irkutsk SAU, 664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk district, Molodezhny, tel. +79148791195. e-mail: surelok1@yandex.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0003-3255-450x>.

Nikolay V. Kalinin – Candidate of Economical Sciences, Ass. Prof. of the Department of Informatics and Mathematical Modeling of the Faculty of Economics, Institute of Economics, Management and Applied Informatics 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: mwwm@list.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0009-5542-1410>.

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-(3)48-46-56

УДК 519.85:63:338.14

Научная статья

ДИНАМИКО-СТОХАСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА АГРАРНОЙ ПРОДУКЦИИ В УСЛОВИЯХ ЗАСУХ И ЛИВНЕЙ

А.Ю. Белякова, Т.С. Бузина, Я.М. Иваньо

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

Аннотация. Оптимизационные модели помогают предприятиям агропромышленного комплекса максимизировать свою прибыль и эффективно использовать ресурсы. При этом сельскохозяйственные товаропроизводители работают в условиях рисков, что необходимо учитывать при планировании производства аграрной продукции. В статье рассматриваются модели оптимизации производства сельскохозяйственной продукции в условиях проявления сильного ливня, засухи и их сочетания. Рассмотрены четыре задачи математического программирования с детерминированными и случайными характеристиками, описывающими индивидуальное и совместное воздействие климатических событий на производство сельскохозяйственной продукции. В качестве случайных оценок событий, полученных на основе использования многоуровневых трендов, использовались урожайности сельскохозяйственных культур, связанные с засухой и ливнем. Оценка изменчивости ливней и засух, а также сочетания этих характеристик позволяют адекватно описывать реальные ситуации для успешного управления производственными процессами. Многоуровневые модели характеризуют деятельность товаропроизводителя в разных условиях – усредненных, благоприятных и неблагоприятных. Кроме того, рассматриваются случаи влияния событий или аномальных уровней на получение оптимальных решений. Для оценки экстремальных событий использован закон распределения вероятностей Пирсона III типа, поскольку эмпирические значения, представляющие собой разности фактических значений и уровней трендов последовательностей высоких и низких урожайностей, могут принимать положительные и отрицательные значения и обладать разной асимметрией. Предложенные модели реализованы для сельскохозяйственного предприятия ЗАО «Иркутские семена» Иркутского района. Таким образом, динамико-стохастические модели оптимизации производства аграрной продукции в условиях формирования экстремальных явлений способствуют улучшению планирования для устойчивого развития деятельности сельскохозяйственных товаропроизводителей в условиях изменчивости климата.

Ключевые слова: динамико-стохастическая модель, оптимизация, аграрная продукция, неблагоприятных условия.

Для цитирования: Белякова А.Ю., Бузина Т.С., Иваньо Я.М. Динамико-стохастическая модель оптимизации производства аграрной продукции в условиях засух и ливней. *Электронный научно-практический журнал “Актуальные вопросы аграрной науки”*. 2023; 3 (48):46-56. DOI 10.51215/2411-6483-2023-(3)48-46-56.

DYNAMIC-STOCHASTIC MODEL OF OPTIMIZATION OF AGRICULTURAL PRODUCTS PRODUCTION UNDER CONDITIONS OF DROUGHTS AND SHOWERS

Anna Yu. Belyakova, Tat'jana S. Buzina, Yaroslav M. Ivanyo

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

Abstract. Optimization models help agricultural enterprises maximize their profits and use resources efficiently. At the same time, agricultural producers work under risk conditions, which must be taken into account when planning the production of agricultural products. The article discusses models for optimizing agricultural production in conditions of heavy rainfall, drought and their combination. Four mathematical programming problems with deterministic and random characteristics describing the individual and joint impact of climate events on agricultural production are considered. Drought and rainfall-related crop yields were used as random event estimates derived from the use of multilevel trends. Assessing the variability of rainfall and drought, as well as the combination of these characteristics, allows us to adequately describe real situations for the successful management of production processes. Multilevel models characterize the activities of a commodity producer under different conditions - average, favorable and unfavorable. In addition, cases of the influence of events or anomalous levels on obtaining optimal solutions are considered. To assess extreme events, the Pearson type III probability distribution law was used, since empirical values, which are the differences between the actual values and trend levels of sequences of high and low yields, can take positive and negative values and have different asymmetries. The proposed models were implemented for the agricultural enterprise CJSC “Irkutsk Semena” in the Irkutsk district. Thus, dynamic-stochastic models for optimizing the production of agricultural products in the conditions of the formation of extreme events contribute to improving planning for the sustainable development of the activities of agricultural producers in conditions of climate variability.

Key words: dynamic-stochastic model, optimization, agricultural products, unfavorable conditions.

Key words: dynamic-stochastic model, optimization, agricultural products, unfavorable conditions.

For citation: Belyakova A.Yu., Buzina T.S., Ivano Ya.M. Dynamic-stochastic model of optimization of agricultural production in conditions of droughts and heavy rains. *Electronic scientific-Practical journal “Actual issues of agrarian science”*. 2023; 3 (48):46-56. DOI 10.51215/2411-6483-2023-(3)48-46-56.

Введение. Для оценки эффективности сельскохозяйственного предприятия традиционно используется максимизация прибыли или минимизация затрат. Эти критерии являются основой при анализе и планировании деятельности предприятия. Оптимизационные модели, которые включают целевую функцию, нашли широкое применение при решении задач, связанных с оптимизацией структуры производства в сельском хозяйстве. Эти модели позволяют принимать обоснованные решения и оптимизировать деятельность сельскохозяйственных предприятий, что важно для обеспечения устойчивого и прибыльного развития в сельском хозяйстве.

Создание моделей и анализ воздействия экстремальных природных явлений на производство сельскохозяйственной продукции является неотъемлемой частью моделирования различных процессов, связанных с эффективной работой агропромышленных отраслей [1, 2, 3, 9, 12].

Учет экстремальных природных явлений, таких как засухи, паводки, половодья, заморозки и другие позволяет сельскохозяйственным предприятиям и организациям разрабатывать стратегии и решения для смягчения их негативного воздействия. Это может включать в себя выбор сельскохозяйственных культур, устойчивых к воздействию природных стихий, перераспределение площадей под адаптивные культуры, разработку методов защиты от стихийных бедствий и многое другое. Моделирование воздействия экстремальных природных явлений также позволяет оптимизировать ресурсы и прогнозировать потери урожая, что важно для обеспечения продовольственной безопасности и устойчивого развития сельского хозяйства.

Цель данного исследования заключается в создании динамико-стохастических моделей для оптимизации производства сельскохозяйственной продукции в благоприятных и неблагоприятных внешних условиях.

Материалы и методы. В работе использованы многолетние данные об урожайности сельскохозяйственных культур в Иркутском районе, производственно-экономические характеристики ЗАО “Иркутские семена” и метеорологические данные об осадках и температурах за 2000-2022 годы. При моделировании использованы методы построения и решения задач параметрического и стохастического программирования применительно к производству сельскохозяйственной продукции [1, 2, 9, 12]. Особо следует выделить применения метода статистических испытаний, примеры которого приведены в работе [15].

Основные результаты. Динамико-стохастические модели и модели в условиях неопределенности используются для решения различных прикладных задач: при моделировании сложных систем [5, 10], экономических ситуаций [7], гидрологических объектов [4] и производственных ресурсов [13]. При этом в некоторых случаях используются задачи параметрического программирования [6, 11]. Применение подобных моделей для решения задач оптимизации аграрного производства в условиях влияния на производственные процессы экстремальных климатических явлений нашло отражение в работах [1, 2, 3, 6, 9, 12]. В развитии этих разработок в статье предложено описывать ситуацию оптимизации производства продовольственной продукции в условиях воздействия сочетания природных событий засухи и ливней на примере ООО “Иркутские семена” Иркутского района Иркутской области.

Исходя из влияния экстремальных явлений на производственные процессы, можно рассмотреть три задачи оптимизации производства сельскохозяйственной продукции. В первой задаче учитывается влияние засухи на сельское хозяйство региона, данное явление произошло в 2015 году. Во второй задаче рассматривается влияние ливней на ведение сельского хозяйства

агропромышленного предприятия – наиболее неблагоприятная ситуация соответствовала 2001 году. В третьей задаче проанализировано воздействие сочетания природных событий в виде ливней и засухи на производство продукции. И для сравнения полученных результатов была решена задача с усредненными показателями.

В работе [9] предложена модель оптимизации производства аграрной продукции с учетом редкого природного (климатического) события, которую можно использовать для решения задач планирования в условиях рисков. При этом в качестве таковых предлагается использовать ущербы, наносимые деятельностью сельскохозяйственного производителя засухой, ливнями и ранним снегом. Причем предполагается, что эти экстремальные явления не являются катастрофическими, при которых невозможно ведение сельского хозяйства. Преобразуем эту модель с учетом зависимости некоторых ее коэффициентов и правых частей от параметра, в качестве которого используется время. При этом ряды коэффициентов модели рассматриваются в виде многоуровневых последовательностей [8]. Опишем одну отрасль сельского хозяйства – растениеводство.

В этом случае целевая функция задачи оптимизации производства продовольственной продукции с учетом проявления природного события, связанного с вероятностью, определяется в следующей редакции

$$\sum_{s \in S} c_s^k x_s - \sum_{l \in L} \sum_{s \in S} \varphi_{ls}^{k(p)} \omega_s \rightarrow \max, \quad (1)$$

где c_s^k – выручка с единицы площади s -культуры; k – номер уровня тренда для 1 – усредненных, 2 – низких, 3 – верхних значений); $\varphi_{ls}^{k(p)}$ – материальные потери с единицы площади s -культуры как результат влияния климатического события l ; x_s – искомая переменная площадь s -культуры, ω_s – искомая переменная площадь s -культуры в условиях влияния климатического события; S – множество видов культур; p – вероятность превышения случайных величин, l – вид климатического события количеством L . С помощью функции (1) оценивается выручка с учетом потерь.

В качестве ограничений использованы следующие неравенства.

Во-первых, неравенство по распределению производственных ресурсов, характеризующее увеличение расхода ресурсов на единицу

площади $\left(\sum_{l \in L} \sum_{s \in S} \beta_{lsi}^p \omega_s \right)$:

$$\sum_{s \in S} b_{si}^k x_s + \sum_{l \in L} \sum_{s \in S} \beta_{lsi}^{k(p)} \omega_s \leq B_i \quad (i \in I), \quad (2)$$

где b_{si}^k – расход i -го ресурса на единицу площади s -культуры; $\beta_{lsi}^{k(p)}$ – расход i -го ресурса на единицу площади s -культуры ввиду проявления климатических событий l ; B_i – ограничения по использованию ресурсов с

учетом влияния на них климатического события; I – множество видов ресурсов.

Во-вторых, в модель вводится ограничение по размеру отрасли растениеводства:

$$\psi_r \leq \sum_{s \in S} (1 + \alpha_s) x_s \leq \bar{\Psi}_r \quad (r \in R), \quad (3)$$

где ψ_r ($\bar{\Psi}_r$) – минимальная (максимальная) площадь культур r -вида (группы); α_s – коэффициент, учитывающий площадь посевов семян для s -культур; R – множество агротехнических групп культур;

В-третьих, с учетом влияния разных климатических событий на производство сельскохозяйственной продукции неравенства, характеризующие производство конечной продукции не менее заданного объема имеют следующий вид:

$$\sum_{s \in S} y_{is}^k x_s - \sum_{l \in L} \sum_{s \in S} \gamma_{lsq}^{k(p)} \omega_s \geq V_q - W_q^p \quad (q \in Q), \quad (4)$$

где y_{is}^k – выход продукции с единицы площади s -культуры; $\gamma_{lsq}^{k(p)}$ – потери выхода продукции с единицы площади s -культуры; V_q – заданный объем производства продукции растениеводства, исключая потери в результате влияния климатического события (W_q^p); q – вид товарной продукции; Q – множества товарной продукции.

В-четвертых, искомые переменные должны быть неотрицательными:

$$x_s, \omega_s \geq 0. \quad (5)$$

Модель (1) – (5) можно использовать для моделирования производства аграрной продукции с учетом влияния разных экстремальных климатических явлений, к которым относятся засуха, ливень, ранний снегопад, заморозок, паводок, половодье и другие. Приведенная задача линейного программирования позволяет получать оптимальные планы производства сельскохозяйственной продукции при условии влияния на деятельность сельскохозяйственных производителей перечисленных климатических событий.

Для ее реализации применительно к хозяйству ЗАО “Иркутские семена” Иркутского района выполнялась следующая последовательность операций:

- на основе алгоритма, приведенного в работе [8], определены многоуровневые тренды производственно-экономических характеристик, в конкретном случае урожайности основных сельскохозяйственных культур;

- выделены благоприятные и неблагоприятные события, которые располагаются выше тренда высоких и ниже тренда низких значений характеристики;

- по разностям между фактическими уровнями и значениями трендов нижних уровней сформированы ряды для оценки вероятностей событий (отрицательные значения) с помощью закона распределения Пирсона III типа [14];

– согласно результатам определения коэффициентов модели и правых частей, описывающих производственно-экономические характеристики, построены задачи линейного программирования: 1) с трендами, отражающими усредненные условия деятельности сельскохозяйственного товаропроизводителя; 2) с выделенными вероятностными событиями (засуха, ливень); 3) с совместными событиями (засуха и ливень).

При построении моделей для выбранной сельскохозяйственной организации в качестве индикатора влияния засухи и ливня на производство продукции использовалась урожайность сельскохозяйственных культур.

В таблице приведены результаты моделирования согласно (1) – (5).

В качестве искомых переменных модели использованы площади основных сельскохозяйственных культур (x_1 – пшеница, x_2 – ячмень, x_3 – овес, x_4 – картофель, x_5 – свекла, x_6 – морковь), которые нетрудно преобразовать в объемы продукции.

В первой задаче урожайность сельскохозяйственных культур описывается трендами. В результате получен оптимальный план в виде объемов произведенной продукции, соответствующий максимальному доходу, превысившему 141.5 млн руб.

При влиянии на растениеводство сильной засухи хозяйство понесет значительные потери урожая, доход уменьшится на 11.6%. Подобная ситуация оценивается средней вероятностью $\bar{p} = 0.0856$.

В условиях сильного ливня потери будут не столь большими, как при формировании засухи, составив уменьшение дохода на 9.6%. При этом средняя вероятность такого случая соответствует $\bar{p} = 0.215$.

И, наконец, при сочетании проявления ливня и засухи потери дохода будут равны 11.2%. Средняя вероятность такой ситуации составит $\bar{p} = 0.285$.

Следует отметить, что в условиях засухи все урожайности сельскохозяйственных культур представляют собой события, оцениваемые вероятностью p .

При влиянии на производственные процессы ливня не все урожайности сельскохозяйственных культур являются событиями. В частности, урожайность овса характеризуется значимым трендом, а биопродуктивность картофеля соответствует среднему значению.

В модели с сочетанием двух событий разного происхождения детерминированными являются урожайность картофеля и моркови.

Таким образом, предложенный алгоритм динамико-стохастического программирования позволяет получать решения для различных ситуаций: усредненных, экстремальных и в условиях сочетания событий.

Выводы. Построена модель оптимизации производства растениеводческой продукции в условиях влияния на деятельность сельскохозяйственного товаропроизводителя экстремальных климатических событий и их сочетания с учетом наличия многоуровневых трендов в рядах

производственно-экономических характеристик модели, в частности, урожайности сельскохозяйственных культур.

Таблица – Результаты решения задач оптимизации производства растениеводческой продукции для усредненных условий, проявления засухи, ливня и их сочетания по данным ЗАО “Иркутские семена”

Table – Results of solving problems of optimization of crop production for average conditions, manifestations of drought, rain and their combination for JSC “Irkutsk seeds”

Показатель	Вид продукции					
	Пшеница	Ячмень	Овес	Картофель	Свекла	Морковь
Усредненные условия						
Урожайность, ц/га	21.2	19.8	19	175	232.1	340
Объем производства, т	4452	962.3	380	9800	3226	3060
Значение целевой функции, тыс. руб.	141560.4					
Засуха ($\bar{p} = 0.0856$)						
p	0.00832	0.00212	0.0143	0.101	0.196	0.192
Потери относительно усредненных уровней, ц/га (%)	8.7 (41.0)	13.9 (70.2)	9.7 (51.1)	25.9 (14.8)	97.8 (42.1)	32.8 (9.6)
Урожайность, ц/га	11.1	6.7	8.8	139	182.6	230
Объем производства, т	2331	325,6	176	7784	2538	2069
Значение целевой функции, тыс. руб.	125126.9					
Ливень ($\bar{p} = 0.215$)						
p	0.1	0.273	-	0.5	0.203	0.261
Потери относительно усредненных уровней, ц/га (%)	4.2 (19.8)	1.6 (8.1)	-	-	18.8 (8.1)	14.4 (4.2)
Урожайность, ц/га	10.7	11.6	13.4	164	141	148
Объем производства, т	2247	563.8	334	9184	1959.9	1332
Значение целевой функции, тыс. руб.	127982.5					
Сочетание ($\bar{p} = 0.285$)						
p	0.17	0.562	0.397	-	0.00928	-
Потери относительно усредненных уровней, ц/га (%)	3 (14.1)	1.2 (6.1)	0.8 (4.2)	-	65.2 (28.1)	-
Урожайность, ц/га	15.6	18	16.5	160.3	137.3	234.8
Объем производства, т	3276	874.8	330	9184	1908.5	2113.2
Значение целевой функции, тыс. руб.	125675.762					

Приведен алгоритм решения задачи линейного программирования с учетом проявления климатических событий в виде засухи, ливня и их сочетания. На основе методики выделения событий определены их вероятности с помощью закона распределения Пирсона III типа.

Разработанная модель реализована для ЗАО “Иркутские семена” при усредненных условиях ведения сельского хозяйства, с учетом засухи, сильного ливня и сочетания событий.

Эти модели могут быть полезными инструментами для управления производством продовольственной продукции не только для рассмотренных событий, но и других.

Список литературы

1. Белякова, А.Ю. Задачи оптимизации сельскохозяйственного производства в условиях проявления наводнений и засух / А.Ю. Белякова, Е.В. Вашукевич, Я.М. Иванько // Рациональное природопользование и энергосберегающие технологии в агропромышленном комплексе: Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского. Том Часть 2. – Иркутск: Иркутский ГАУ, 2010. – С. 11-17. – EDN TCIFGI.
2. Белякова, А.Ю. Модели оптимизации производства сельскохозяйственной продукции со статистическими оценками наводнений и засух / А.Ю. Белякова, Е.В. Вашукевич, Е.С. Труфанова // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2008. – № S-4(20). – С. 152-157. – EDN JURTOP.
3. 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. – EDN PPROQI.
4. Гельфан, А.Н. Динамико-стохастические модели со случайными входами в приложении к задачам гидрологии речных бассейнов / А.Н. Гельфан // Избранные труды Института водных проблем РАН: 1967-2017: В 2-х томах / Институт водных проблем РАН. Том 2. – Москва: ООО Изд-во “КУРС”, 2017. – С. 71-100. – EDN ZSEGJH.
5. Гусман, Ю.А. Динамико-стохастический принцип математического моделирования / Ю.А. Гусман, Ю.А. Пичугин // Моделирование и ситуационное управление качеством сложных систем: Вторая Всерос. научная конф., Санкт-Петербург, 14–22 апреля 2021 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2021. – С. 19-23. – DOI 10.31799/978-5-8088-1558-2-2021-2-19-23. – EDN QXUYND.
6. Задача параметрического программирования с моделями прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур / Я.М. Иванько [и др.] // Прикладная информатика. – 2021. – Т. 16. – № 6 (96). – С. 131-143.
7. Зоркальцев, В.И. Как климат влияет на экономику? / В.И. Зоркальцев, И.И. Хажеев // ЭКО. – 2015. – № 7(493). – С. 147-162. – EDN UBSPiR.
8. 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.
9. Иванько, Я.М. Оптимизационные модели аграрного производства в решении задач оценки природных и техногенных рисков: монография / Я.М. Иванько, С.А. Петрова. – Иркутск: Изд-во Иркутского ГАУ, 2015. – 180 с.
10. Клименко, И.С. Общая задача принятия решения и феномен неопределенности / И.С. Клименко, Л.В. Шарапова // Вестник Российского нового университета. Серия:

Сложные системы: модели, анализ и управление. – 2019. – № 3. – С. 44-58. – DOI 10.25586/RNU.V9187.19.03.P.044. – EDN AORVFX.

11. Кондратьев, В.Д. Модель задачи параметрического программирования с двумя параметрами и ее приложения / В.Д. Кондратьев, А.В. Соловьев // Экономика и менеджмент систем управления. – 2014. – № 3-3(13). – С. 324-332. – EDN SYTQKH.

12. Петрова, С.А. О динамико-стохастической модели оптимизации производства аграрной продукции и учета рисков / С.А. Петрова // Перспективы развития фундаментальных наук: Сб. научных трудов XIX Междунар. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 26-29 апреля 2022 года. Том 5. – Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2022. – С. 39-41. – EDN IFVQLY.

13. Поляков, А.Н. Постановка задачи планирования производственных ресурсов в условиях неопределенности / А.Н. Поляков // Наука и образование: проблемы и перспективы: Матер. I Междунар. научно-практ. конф.: сб. научных трудов, Таганрог, 30 ноября 2014 года / Научный редактор: Ю.В. Мамченко. – Таганрог: Изд-во "Перо", 2014. – С. 110-113. – EDN UECGQB.

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

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

References

1. Belyakova, A.Yu. et all. Zadachi optimizacii sel'skohozyajstvennogo proizvodstva v usloviyah proyavleniya navodnenij i zasuh [Tasks of optimization of agricultural production in conditions of floods and droughts]. Irkutsk, 2010, pp. 11-17.

2. Belyakova, A.Yu. et all. Modeli optimizacii proizvodstva sel'skohozyajstvennoj produkcii so statisticheskimi ocenkami navodnenij i zasuh [Models of optimization of agricultural production with statistical estimates of floods and droughts]. Sovremennye tekhnologii. Sistemnyj analiz. Modelirovanie, 2008, no. S-4(20), pp. 152-157.

3. 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.

4. Gelfan, A.N. Dynamic-stochastic models with random inputs in the application to the problems of hydrology of river basins [Dynamic-stochastic models with random inputs in application to problems of hydrology of river basins]. Institut vodnyh problem RAN. Moscow, 2017, pp. 71-100.

5. Gusman, Yu.A., Pichugin, Yu.A. Dinamiko-stohasticheskij princip matematicheskogo modelirovaniya [Dynamic-stochastic principle of mathematical modeling]. Modelirovanie i situacionnoe upravlenie kachestvom slozhnyh system. Sankt-Peterburg, 2021, pp. 19-23.

6. Ivanyo, Ya.M. et all. Zadacha parametricheskogo programmirovaniya s modelyami prognozirovaniya urozhajnosti sel'skohozyajstvennyh kul'tur [The problem of parametric programming with crop yield forecasting models]. Prikladnaya informatika, 2021. vol. 16, no 6 (96), pp. 131-143.

7. Zorkaltsev, V.I., Hajeev, I.I. Kak klimat vliyaet na ekonomiku? [How does climate affect the economy?]. EKO, 2015, vol. 7(493), pp. 147-162.

8. Ivanyo, Ya. M., Petrova, S.A. Ob odnom algoritme vydeleniya anomal'nyh urovnej vremennogo ryada dlya ocenki riskov [On an algorithm for identifying abnormal levels of a time series for risk assessment]. Aktual'nye voprosy agrarnoj nauki, 2022, vol. 42, pp. 48-57.

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

10. Klimenko, I.S., Sharapova, L.V. Obshchaya zadacha prinyatiya resheniya i fenomen neopredelennosti [The general problem of decision-making and the phenomenon of uncertainty]. Vestnik Rossijskogo novogo universiteta. Seriya: Slozhnye sistemy: modeli, analiz i upravlenie, 2019, vol. 3, pp. 44-58.

11. Kondratiev, V.D., Soloviev A.V. Model' zadachi parametriceskogo programmirovaniya s dvumya parametrami i ee prilozheniya [A model of a parametric programming problem with two parameters and its applications]. Ekonomika i menedzhment sistem upravleniya, 2014, vol. 3-3(13), pp. 324-332.

12. Petrova, S.A. O dinamiko-stohasticheskoj modeli optimizacii proizvodstva agrarnoj produkcii i ucheta riskov [On the dynamic-stochastic model of optimization of agricultural production and risk accounting]. Perspektivy razvitiya fundamental'nyh nauk, Tomsk, 2022, pp. 39-41.

13. Polyakov, A.N. Postanovka zadachi planirovaniya proizvodstvennyh resursov v usloviyah neopredelennosti [Statement of the task of planning production resources in conditions of uncertainty]. Nauka i obrazovanie: problemy i perspektivy, Taganrog, 2014, pp. 110-113.

14. Rozhdestvenskij, A.V. Ocenka tochnosti krivyh raspredeleniya gidrologicheskikh harakteristik [Estimation of the accuracy of the distribution curves of hydrological characteristics]. Gidrometeoizdat, 1977, 270 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: 24.09.2023

Поступила после рецензирования и доработки / Revised: 02.10.2023

Дата принятия к печати / Accepted: 05.10.2023

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, п. 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, п. Молодёжный, тел. 89021737301, email: buzinats@mail.ru; ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-4337-6465>.

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

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

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>.

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>.

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>.



DOI 10.51215/2411-6483-2023-(3)48-57-70

УДК 338.054.23:004.413.4

Научная статья

ПРИРОДНЫЕ РИСКИ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ: КЛАССИФИКАЦИЯ, ОЦЕНКА, УПРАВЛЕНИЕ

Я.М. Иваньо, И.М. Колокольцева, С.А. Петрова

Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского
п. Молодежный, Иркутский р-он, Иркутская обл., Россия

Аннотация. В работе приведена классификация природных рисков по сфере возникновения. В ней рассмотрены события, влияющие в наибольшей степени на сельское хозяйство Иркутской области и способные причинить отрасли значительные ущербы в условиях сильной сезонной и многолетней изменчивости окружающей среды. Выделены климатические, биологические и экологические риски. Кроме того, приведены сведения о причиненных сельскому хозяйству ущербах от сильных экстремальных природных явлений, наблюдавшихся в XXI веке, и примеры вероятностной оценки некоторых событий. В частности, выделен паводок 2019 г. в бассейне р. Ия, засуха 2015 года на территории Предбайкалья и эпидемия чумы свиней в одном из районов Иркутской области. Классификация рисков учитывает особенности формирования событий на разных природно-климатических территориях региона. Обобщены результаты моделирования по оценке вероятностей появления природных событий. Для управления рисками предложены модели математического программирования в условиях неопределенности. Они характеризуются влиянием событий разного происхождения на производственные процессы, воздействием совместных экстремальных явлений неодинаковой природы на сельское хозяйство, статистическими особенностями изменчивости внешних факторов. В отдельную группу выделены модели, учитывающие влияние на сельское хозяйство неблагоприятных редких явлений. Описаны также модели, которые содержат не только измеренные характеристики, но и экспертные оценки. Предложенные модели математического программирования применимы для оптимизации аграрного производства в условиях потерь растениеводческой и животноводческой продукции при формировании климатических, биологических и экологических событий. Приведенная классификация рисков и разработанные модели оптимизации аграрной продукции способствуют улучшению процесса принятия управленческих решений.

Ключевые слова: классификация, климатические риски, биологические риски, экологические риски, сельское хозяйство, модели математического программирования.

Для цитирования: Иваньо Я.М., Колокольцева И.М., Петрова С.А. Природные риски в сельском хозяйстве: классификация, оценка, управление. *Электронный научно-практический журнал “Актуальные вопросы аграрной науки”*. 2023;3 (48):57-70. DOI 10.51215/2411-6483-2023-(3)48-57-70.

NATURAL RISKS IN AGRICULTURE: CLASSIFICATION, ASSESSMENT, MANAGEMENT

Yaroslav M. Ivanyo, Irina M. Kolokoltseva, Sofia A. Petrova

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

Abstract. The article provides a classification of natural risks by area of occurrence. It presents events that have the greatest impact on agriculture in the Irkutsk region and can cause significant damage to the industry in conditions of strong seasonal and long-term environmental variability. Climatic, biological and environmental risks are highlighted. In addition, information is provided on the damage caused to agriculture from powerful extreme natural phenomena observed in the 21st century, and examples of probabilistic assessment of some events. In particular, the 2019 flood in the Iya River basin, the 2015 drought in the Cis-Baikal region and the swine fever epidemic in one of the districts of the Irkutsk region were highlighted. Risk classification takes into account the peculiarities of the formation of events in different natural and climatic areas of the region. The modeling results for assessing the probabilities of natural events occurring are summarized. To manage risks, mathematical programming models under conditions of uncertainty are proposed. They are characterized by the influence of events of different origins on production processes, the impact of joint extreme events of different nature on agriculture, and the statistical features of the variability of external factors. Models that take into account the impact of adverse rare events on agriculture are included in a separate group. Models that contain not only measured characteristics, but also expert assessments are also considered. The proposed mathematical programming models are applicable to optimize agricultural production in conditions of losses of crop and livestock products due to the formation of climatic, biological and environmental events. The proposed classification of risks and the developed models for optimizing agricultural products help improve the process of making management decisions.

Keywords: classification, climate risks, biological risks, environmental risks, agriculture, mathematical programming models.

For citation: Ivanyo Ya.M., Kolokoltseva I.M., Petrova S.A. Natural risks in agriculture: classification, assessment, management. *Electronic scientific-Practical journal “Actual issues of agrarian science”*. 2023; 3 (48):57-70. DOI 10.51215/2411-6483-2023-(3)48-57-70.

Введение. Сельское хозяйство является одной из самых рискованных отраслей. Так, аграрное производство подвержено влиянию болезней сельскохозяйственных животных и растений, нашествию разного рода вредителей (грызунов, насекомых). В дополнение к этому природные события оказывают сильное влияние на производство растениеводческой продукции, а пагубные редкие явления способны уничтожить налаженную производственную инфраструктуру, привести к гибели растений и животных. Кроме того, свою лепту в существенные потери продукции сельскохозяйственными товаропроизводителями вносят экологические риски, вызванные природными и антропогенными явлениями [19, 28],

которые в свою очередь способствуют деградации земель, гибели посевов и животных, уменьшению биопродуктивности сельскохозяйственных культур.

По определению, данному МЧС России, под риском или степенью риска понимается сочетание частоты (или вероятности) и последствий определенного опасного события [25]. Понятие риска всегда включает два элемента: частоту, с которой осуществляется опасное событие, и последствия этого события [25].

Для оценки рисков используют разные методы [8, 24]: математические и статистические, аналитические, экспертные и другие. Кроме того, применяются нормативные методы оценки рисков [2]. Оценка ущербов от чрезвычайных ситуаций регламентируется документом [4], а определение страховой стоимости и размера утраты урожая сельскохозяйственных культур и посадок многолетних насаждений и размера утраты сельскохозяйственных животных осуществляется методикой согласно Приказу Минсельхоза Российской Федерации от 1 марта 2019 года № 87 [3].

Что касается управления рисками, то для снижения неопределенности необходимы эффективные инструменты оценки рисков и управления ими. В работе [23] выделены следующие шаги по управлению рисками: 1) идентификация; 2) анализ; 3) оценка; 4) управление; 5) мониторинг.

На основе анализа различной литературы и нормативных документов, а также собственных исследований по влиянию экстремальных явлений разного происхождения на сельское хозяйство сформулирована цель статьи – классификация рисков, связанных с экстремальными природными событиями, их оценка и управление с использованием математических моделей для смягчения ущербов.

Материалы и методы. В работе использованы агрометеорологические, гидрологические, биологические и экологические данные за многолетие, в том числе материалы доинструментального периода. Для оценки вероятностей экстремальных событий применялись методы построения законов распределения вероятностей. При оценке ущербов использованы нормативные методики, приведенные в документах [3, 4]. Для решения задач минимизации ущерба в условиях формирования экстремальных явлений использованы методы математического программирования в условиях неопределенности. Оценка потока событий осуществлялась на основе однопараметрических законов распределения вероятностей [10].

Основные результаты. Аграрный сектор подвержен множеству рисков. Риски сельского хозяйства оказывают влияние на общий уровень продовольственной безопасности государства, на уровень жизни населения, поэтому представляют собой предмет научного изучения. В работе [9] приведена классификация рисков сельскохозяйственных предприятий. При этом, по мнению автора, “риски сельскохозяйственных предприятий представляют собой вероятность получения убытка или выгоды

хозяйственным субъектом посредством нарушения нормального течения производственного процесса в результате влияния природно-климатических и антропогенных факторов”. В этой классификации рисков сельскохозяйственных предприятий по сфере возникновения рассматриваются природно-климатические риски.

Авторами [14, 15] проведена работа по оценке ущербов от засух, ливней, и раннего снегопада в агропромышленном секторе для некоторых районов Иркутской области. Исходя из анализа полученных результатов данных исследований, можно сделать вывод, что наиболее вероятными являются ущербы, причиняемые засухами. Согласно официальным данным о размерах ущербов, причинённых сельскому хозяйству Иркутской области экстремальными природными явлениями за период 2001-2018 гг. наибольшая доля – 39.4% относится к засухам, на весенние половодья и дождевые паводки – 18.4 и 16.4% соответственно, доля ущербов от ураганов составляет 13.3%, а от раннего снегопада – 12.4%, на град – около 0.1%. При этом следует отметить, что бывают годы, когда проявляется редкое событие или сопоставимая с ним по тяжести последствий серия событий, причиняющее огромные ущербы хозяйственной деятельности человека [10]. В ближайшем историческом прошлом на территории Иркутской области из подобных событий можно выделить редкий дождевой паводок 2019 г. на р. Ия в Тулуне (вероятность появления 0.00236 согласно трехпараметрическому степенному гамма-распределению и расходом воды по одной из оценок 6330 м³/с), причинивший сельскому хозяйству региона ущерб в размере 420 млн. руб. [26].

Некоторые авторы [19] к природным рискам относят биологические, которые связаны с заразными и незаразными болезнями животных, болезнями и вредителями растений и сорными растениями. В статьях [20, 22 и др.] приведено влияние на сельскохозяйственное производство перечисленных явлений.

Биологические риски можно рассматривать с разных сторон. Так, биологическим риском в профессиональной сфере является риск ущерба здоровью при взаимодействии с растениями, животными, микроорганизмами. Что касается сельского хозяйства, то биологические риски в животноводстве можно разделить на те, которые связаны с заразными и незаразными болезнями, а в растениеводстве – с вредителями, болезнями и сорными растениями. В свою очередь к болезням животных можно отнести инфекционные и инвазионные, которые обусловлены особенностями эпизоотологии и эпидемиологии конкретных болезней и экологией самих возбудителей [22]. Кроме того, интерес для принятия профилактических мер представляют возбудители болезней, общие для человека, растений и животных [7].

Из числа вредителей, причиняющих наибольшие ущербы аграрному производству на территории нашей страны и Иркутской области, в

частности, можно выделить саранчовые [16]. Поэтому одной из актуальных задач агропромышленного сектора является защита культур от этих вредителей.

Экологические риски согласно [19, 28] разделяют по происхождению на природные и антропогенные.

К производственным рискам относятся: ресурсные (базовых и связующих ресурсов, кадрового потенциала), финансовые, информационные, технико-технологические [8].

Что касается энергетических рисков, то к ним относят риски надёжности энергоснабжения, экономические (перерасход энергозатрат на единицу продукции, повышение цен на энергоносители, инвестиционные), снижения качества энергоснабжения [21].

Демографические риски – это глобальная проблема, которую принято рассматривать в рамках населенного пункта, региона или страны [18]. Тем не менее, следует понимать, что то, что значимо на макроуровне, оказывает сильное влияние и в системах более мелкого масштаба. В частности, наличие хорошего кадрового потенциала, необходимого на конкретном производстве невозможно без благоприятной демографической ситуации в стране. Согласно [18] основными демографическими угрозами являются: депопуляция; деградация института семьи; нерегулируемые миграционные процессы; старение населения.

Исходя из сказанного, на рисунке 1 показана классификация рисков по влиянию экстремальных событий на деятельность сельскохозяйственных товаропроизводителей. Приведенная схема отражает воздействие на сельское хозяйство экстремальных явлений, которые наблюдаются в разных природно-климатических районах Иркутской области. К климатическим отнесены агрометеорологические и гидрологические риски. Первые из них связаны с критическими температурами и осадками.

Наибольшие ущербы сельское хозяйство региона испытывает от засух. В частности, в 2015 году 12 районов региона пострадали от этого явления. Потери зерновых культур составили 36%. Как было отмечено выше, большие ущербы аграрному производству наносят катастрофические дождевые паводки и весенние половодья (2019 год – дождевой паводок в бассейне р. Ия, 1971 год – дождевой паводок в бассейне р. Иркут, 2001 год – дождевой паводок в бассейне р. Китой, 2001 год – весеннее половодье на р. Лене и р. Бирюсе и др.) [10].

Отметим также влияния других экстремальных явлений – ливня и раннего снегопада. Так, например, редкие ливневые осадки, наблюдавшиеся в июле 1994 года в Иркутске, имеют вероятность 0.0085, а в Тулуне (зафиксированы в августе 1986 года) – 0.0069. Отметим редкий ранний снегопад 2002 года в Иркутском районе, вероятность которого (при оценке урожайностей некоторых зерновых культур) колеблется от 0.068 до 0.134, а средняя повторяемость составляет примерно 9 лет.

Биологические явления в меньшей степени влияют на ущербы, причиняемые сельскому хозяйству разными событиями. Однако в некоторые годы наблюдаются эпидемии, которые сильно сказываются на численности животных и экономику территорий распространения болезни. Например, эпидемия чумы свиней в 2017 год в Хомутовском муниципальном образовании Иркутского района [12].

Взаимодействие осадков и почвенной структуры влияет на водную эрозию и смыв почвы. Большой вред плодородному слою наносит ветровая эрозия. Приведем расчетные значения смыва слоя почвы для некоторых муниципальных районов Иркутской области: в Иркутске наибольшая величина смыва почвы 14 мм наблюдалась в 1994 году, а в Тулуне в 1986 году. В эти годы в обоих населенных пунктах зарегистрированы наибольшие ливневые осадки за исторический период.

Помимо природных явлений экологические риски возникают от антропогенной деятельности. Потери земельных ресурсов, отключение электроэнергии в результате влияния неблагоприятных гидрометеорологических событий. Все это приводит к значительным ущербам.

В литературе и нормативных документах приведены алгоритмы управления рисками [1-5, 8, 10, 12, 17]. Одним из способов уменьшения ущербов является моделирование различных ситуаций с учетом потерь для выделения оптимальных решений управления. На рисунке 2 приведена классификация математических моделей, разработанных на кафедре информатики и математического моделирования [6, 10, 12 и др.], для уменьшения ущербов за счет повышения эффективности управления.

В работе [13] была предложена классификация задач оптимизации производства сельскохозяйственной продукции с учетом влияния экстремальных природных явлений и техногенных событий, которая впоследствии была расширена и приведена в работе [12]. Основываясь на дальнейших разработках, в частности [11, 16, 20 и др.], эта классификация дополнена (рисунок 2). Здесь выделены следующие модели: 1) с учетом гидрометеорологических событий; 2) с учетом неоднородности территории; 3) с учетом техногенных событий; 4) эколого-математические; 5) с экспертными оценками; 6) многоэтапные; 7) с учетом совместного проявления гидрометеорологических и техногенных событий; 8) с учетом биологических событий. Приведенные в классификации модели разработаны с целью улучшения управления аграрным производством и смягчения рисков от экстремальных природных и техногенных явлений и биологических событий. При этом особый интерес вызывают редкие события (минимальные и максимальные события за исторический период) и редкие совмещения событий.

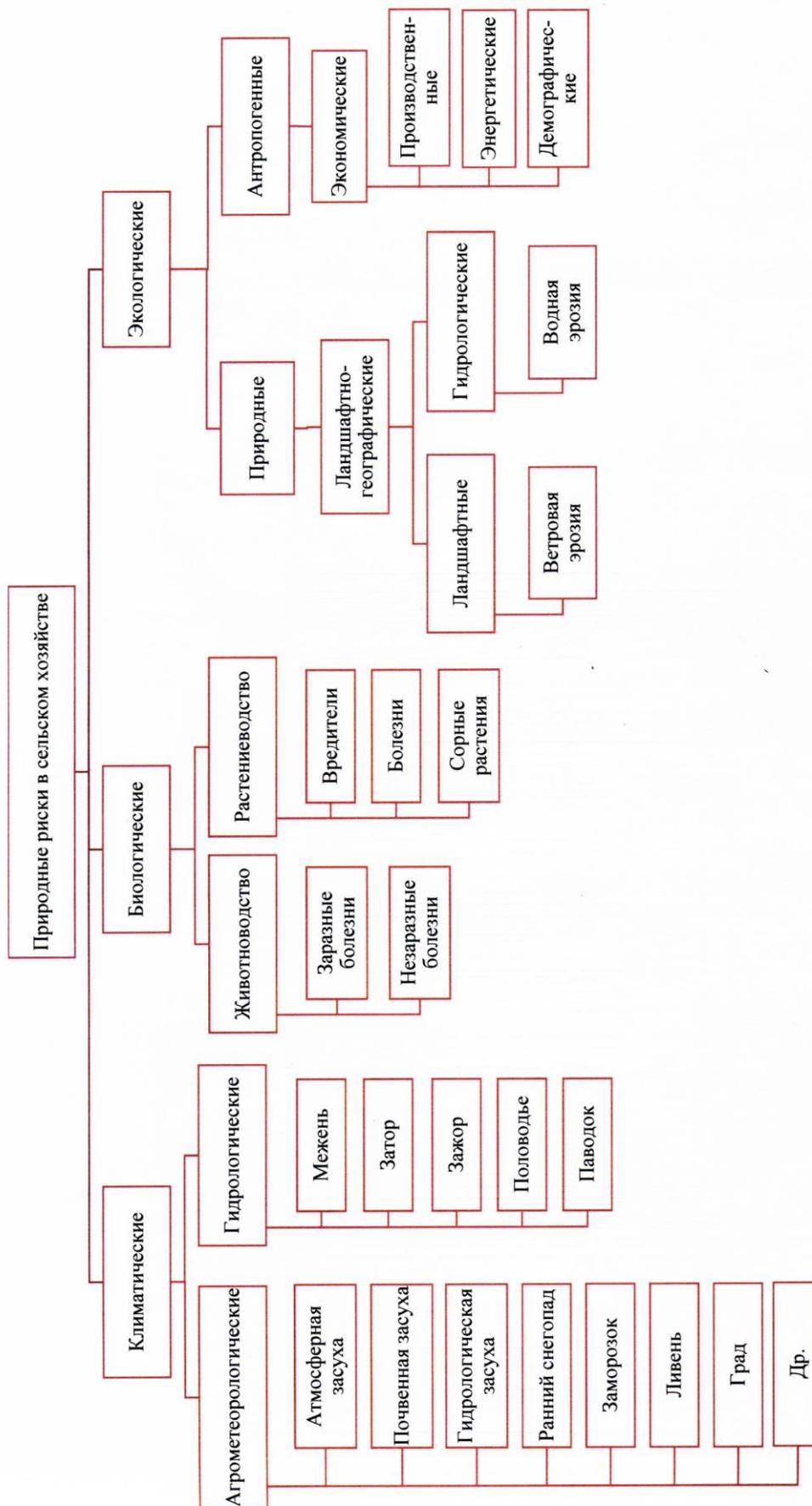


Рисунок 1 – Классификация рисков по влиянию экстремальных событий на деятельность сельскохозяйственных товаропроизводителей

Figure 1 – Classification of risks based on the impact of extreme events on the activities of agricultural producers

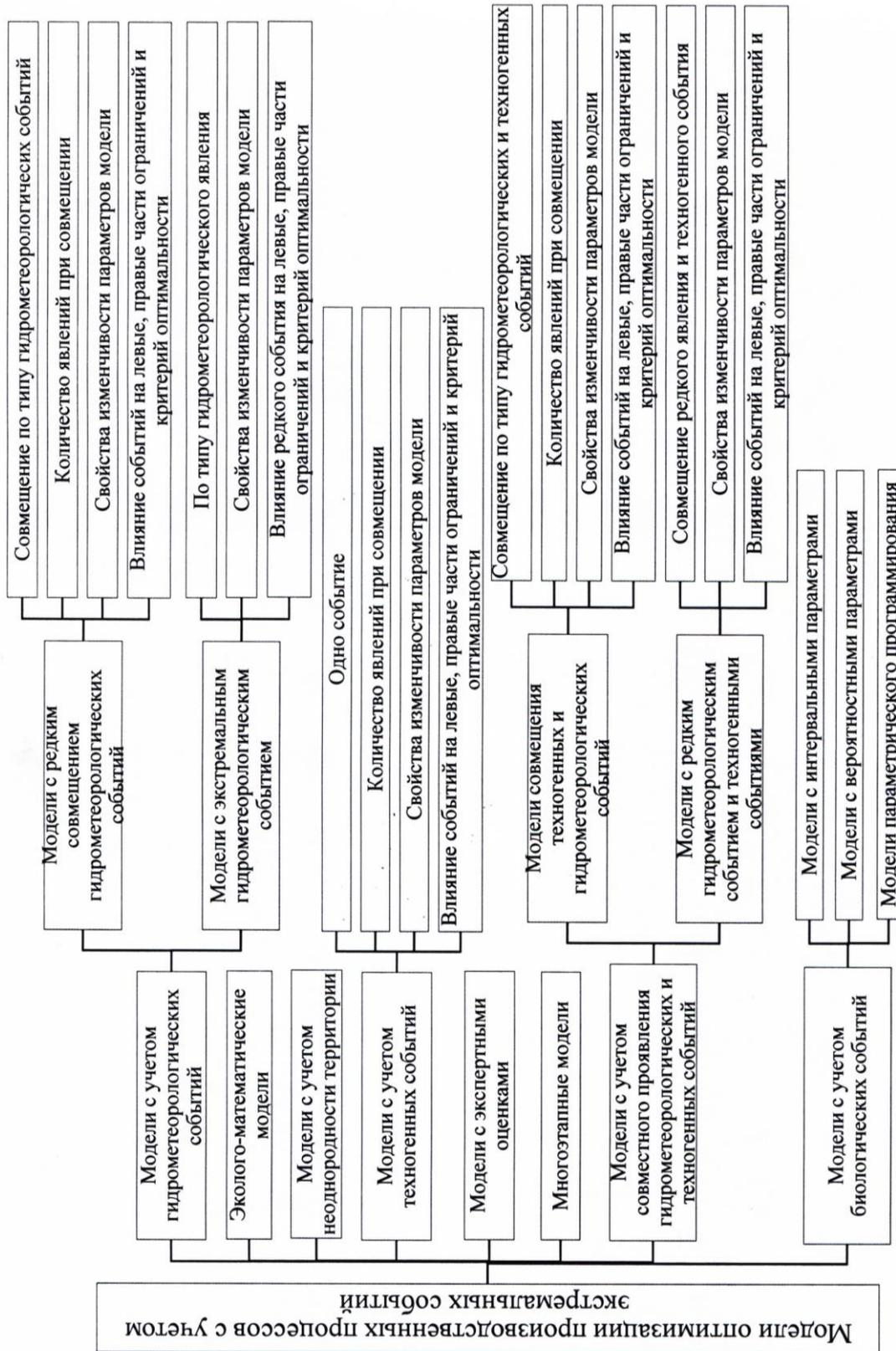


Рисунок 2 – Классификация задач оптимизации производства сельскохозяйственной продукции с учетом влияния экстремальных событий
Figure 2 – Classification of problems of optimization of agricultural production taking into account the influence of extreme events

Результаты моделирования аграрного производства с помощью оптимизационных моделей в условиях проявления природных событий показывают возможности минимизации ущербов. При этом уменьшение потерь при правильном управлении производственными процессами может достигать 30%, в т.ч. за счет оптимальной структуры производства и страхования рисков [10, 27 и др.].

Для решения задач оптимизации аграрного производства в условиях проявления природных событий можно использовать программный комплекс “Управление рисками при планировании аграрного производства”, разработанный авторами данной статьи [11].

Заключение. Предложена классификация рисков по сфере возникновения. Рассмотрены климатические, биологические и экологические события, влияющие на деятельность сельскохозяйственных товаропроизводителей и обуславливающие значение рисков получения продукции.

Приведены примеры оценки вероятностей природных событий. Выделены редкие явления, которые имели место на территории Иркутской области в XXI веке, причинившие значительные ущербы сельскому хозяйству региона.

Для уменьшения потерь от пагубного влияния природных событий предложены разные варианты моделей математического программирования в условиях неопределенности, которые позволяют оптимизировать получение аграрной продукции с учетом неблагоприятных условий, воздействующих на деятельность сельскохозяйственного товаропроизводителя.

Список литературы

1. Межгосударственный стандарт Охрана природы. Почвы. Метод определения потенциальной опасности эрозии под воздействием дождей. – Сб. ГОСТов. – М.: Стандартинформ, 2008. Режим доступа <https://docs.cntd.ru/document/1200012803>.
2. Национальный стандарт Российской Федерации Менеджмент риска Методы оценки риска ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010-2011. – 79 с.
3. Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 1 марта 2019 года № 87 “Об утверждении методики определения страховой стоимости и размера утраты (гибели) урожая сельскохозяйственной культуры и посадок многолетних насаждений и методики определения страховой стоимости и размера утраты (гибели) сельскохозяйственных животных” (с изменениями на 8 сентября 2021 года). Режим доступа <https://docs.cntd.ru/document/553933277>.
4. Приказ МЧС России от 01.09.2020 № 631 (ред. от 24.07.2022) "Об утверждении Методики оценки ущерба от чрезвычайных ситуаций" (Зарегистрировано в Минюсте России 25.11.2020 N 61087).
5. Указ Президента РФ от 21 января 2020 г. № 20 “Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации”.
6. Барсукова, М.Н. О некоторых моделях оптимизации производства растениеводческой продукции в условиях биологических рисков / М.Н. Барсукова, Я.М. Иванько, И.М. Колокольцева // Моделирование систем и процессов. – 2022. – Т. 15, № 4. – С. 17-23. – DOI 10.12737/2219-0767-2022-15-4-17-23.

7. Белов, А.Б. Сапронозы: экология возбудителей, эпидемиология, терминология и систематика / А.Б. Белов, Е.С. Куликалова // Эпидемиология и вакцинопрофилактика. – 2016. – Т. 15, № 1(86). – С. 5-16.

8. Дементьев, М.Ю. Методы управления производственными рисками на предприятии / М.Ю. Дементьев // Научный вестник: финансы, банки, инвестиции. – 2021. – № 4(57). – С. 71-78.

9. Живора, А.А. Классификация рисков сельского хозяйства / А.А. Живора // Вестник АГАУ. – 2016. – №1 (135). – С. 186-190.

10. Иваньо, Я.М. Оптимизационные модели аграрного производства в решении задач оценки природных и техногенных рисков / Я.М. Иваньо, С.А. Петрова. – Иркутск: Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2015. – 180 с. – ISBN 978-5-91777-172-4.

11. Иваньо, Я.М. Программный комплекс моделирования природных и техногенных рисков / Я.М. Иваньо, С.А. Петрова // Известия Иркутской государственной экономической академии. – 2015. – Т. 25, № 3. – С. 533-541. – DOI 10.17150/1993-3541.2015.25(3).533-541.

12. Иваньо, Я.М. Риски производства аграрной продукции в Предбайкалье: классификация, моделирование, управление / Я.М. Иваньо, С.А. Петрова, И.М. Колокольцева // Труды II Гранберговской конф.: сб. докладов Всерос. конф. с междунар. участием, посвящ. памяти академика А.Г. Гранберга “Пространственный анализ социально-экономических систем: история и современность”, Новосибирск, 11-15 октября 2021 года / Сибирское отделение Российской академии наук Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН. – Новосибирск: Сибирское отделение РАН, 2021. – С. 365-375. – DOI 10.53954/9785604607893_365.

13. Иваньо, Я.М. Вероятностная оценка повторяемости засух и определение рисков аграрного производства / Я.М. Иваньо, С.А. Петрова, М.Н. Полковская // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2018. – Т. 22, № 4(135). – С. 73-82. – DOI 10.21285/1814-3520-2018-4-73-82.

14. Калашников, П.Н. Математическое обеспечение информационной системы моделирования получения продовольственной продукции при воздействии метеорологических событий / П.Н. Калашников, Я.М. Иваньо // Научные исследования студентов в решении актуальных проблем АПК: Матер. Всерос. научно-практ. конф., п. Молодежный, 06-07 марта 2020 года. Том II. – п. Молодежный: Иркутский ГАУ, 2020. – С. 105-113.

15. Калашников, П.Н. Вероятностное описание ливней и раннего снегопада для оценки ущерба сельскому хозяйству / П.Н. Калашников // Значение научных студенческих кружков в инновационном развитии агропромышленного комплекса региона: сб. научных тезисов студентов, Иркутск, 29 октября 2021 года. – п. Молодежный: Иркутский ГАУ, 2021. – С. 206-207.

16. Колокольцева, И.М. Статистическая оценка распространения нестатных саранчовых в Иркутской области / И.М. Колокольцева, Я.М. Иваньо, М.Н. Барсукова // Климат, экология, сельское хозяйство Евразии: матер. X междунар. научно-практ. конф., Молодежный, 27-28 мая 2021 года. – Молодежный: Иркутский ГАУ, 2021. – С. 59-60.

17. Корнеева, В.М. Современные методы управления рисками на предприятиях / В.М. Корнеева, С.В. Пупенцова // Проблемы социально-экономического развития Сибири. – 2020. – № 2(40). – С. 33-38. – DOI 10.18324/2224-1833-2020-2-33-38.

18. Кучумов, А.В. Угрозы и риски демографической безопасности Российской Федерации / А.В. Кучумов, Е.В. Печерица // Техничко-технологические проблемы сервиса. – 2020. – № 4(54). – С. 116-122.

19. Медведева, С.А. Экологический риск. общие понятия, методы оценки / С.А. Медведева // Экологическая безопасность и защита окружающей среды. – № 1 (1). – 2016. – С. 67-81.

20. Моделирование биологических рисков в оптимизации производства аграрной продукции / Я.М. Иванько, И.М. Колокольцева, С.А. Петрова [и др.] // Комплексное развитие сельских территорий: матер. Всерос. (национальной) научно-практ. конф. с междунар. участием, посвящ. 85-летию со дня рождения Почетного работника высшего профессионального образования РФ, канд. экон. наук, проф. Зверева Александра Федоровича, Иркутск, 14 сентября 2022 года. – п. Молодежный: Изд-во Иркутского ГАУ, 2022. – С. 73-79.

21. Мятишкин, Г.В. Оценка энергетических рисков в контуре управления энергетическими затратами производственного процесса промышленного предприятия / Г.В. Мятишкин // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2010. – Т. 12, № 4-4. – С. 910-918.

22. Оценка рисков биологической безопасности в Таджикистане / О.Д. Назарова, К.Б. Махмудов, А.А. Муминов, Ш.Н. Джумаев // Сельскохозяйственные технологии. – 2019. – Т. 1, № 2. – С. 34-39. – DOI 10.35599/agritech/01.02.04.

23. Сущность и экономическое содержание рисков сельского хозяйства в условиях цифровизации / Г.М. Гриценко, М.К. Черняков, М.М. Чернякова [и др.] // Вестник евразийской науки. – 2020. – Т. 12, № 6. – 17 с. – URL: <https://esj.today/PDF/13ECVN620.pdf>.

24. Цыденов, Б.Б. Классификация, анализ методов оценки экологического риска с позиций его экономических последствий / Б.Б. Цыденов // Гуманитарные, социально-экономические и общественные науки. – 2020. – № 10. – С. 259-261. – DOI 10.23672/q5085-9800-6568-j.

25. Термины МЧС России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mchs.gov.ru/ministerstvo/o-ministerstve/terminy-mchs-rossii/term/332>.

26. Belyakova, A.Yu. Modeling of rare rain floods on the example of middle rivers of Angara basin / A.Yu. Belyakova, Ya.M. Ivanyo, S.A. Petrova // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Krasnoyarsk, 18-20 ноября 2020 года / Krasnoyarsk Science and Technology City Hall. vol. 677. – Krasnoyarsk, Russian Federation: IOP Publishing Ltd, 2021. – P. 42103. – DOI 10.1088/1755-1315/677/4/042103.

27. Modeling of the Production of Agrarian Products under the Conditions of Influence of Droughts, Rainfall and their Combinations / Ya.M. Ivanyo, S.A. Petrova, M.N. Polkovskaya, N.I. Fedurina // Critical infrastructures: Contingency management, Intelligent, Agent-based, Cloud computing and Cyber security: Proceedings of the Vth International workshop. Advances in Intelligent Systems Research, Irkutsk, 17-24 марта 2018 года. Vol. 158. – Irkutsk: Atlantis Press, 2018. – P. 78-84. – DOI 10.2991/iwci-18.2018.14.

28. Molak, V. Introduction and Overview // Fundamentals of Risk Analysis and Risk Management. Boca Raton. 1997, vol. 1, pp. 1-10.

References

1. Mezhgosudarstvennyj standart Ohrana prirody. Pochvy. Metod opredeleniya potencial'noj opasnosti erozii pod vozdejstviem dozhdej [Interstate Standard Nature Protection. Soil. Method for determining the potential danger of erosion under the influence of rains]. <https://docs.cntd.ru/document/1200012803>.

2. Nacional'nyj standart Rossijskoj Federacii menedzhment riska Metody ocenki riska GOST R ISO/MEK 31010-2011 [National Standard of the Russian Federation Risk Management Risk assessment methods GOST R ISO/IEC]. 79 p.

3. Prikaz Ministerstva sel'skogo hozyajstva Rossijskoj Federacii ot 1 marta 2019 goda № 87 “Ob utverzhenii metodiki opredeleniya strahovoj stoimosti i razmera utraty (gibeli)

urozhaya sel'skohozyajstvennoj kul'tury i posadok mnogoletnih nasazhdenij i metodiki opredeleniya strahovoj stoimosti i razmera utraty (gibeli) sel'skohozyajstvennyh zhivotnyh” (s izmeneniyami na 8 sentyabrya 2021 goda). [Order of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation No. 87 dated March 1, 2019 “On approval of the methodology for determining the insured value and the amount of loss (death) of agricultural crops and Plantings of perennial plantings and the methodology for determining the insured value and the amount of loss (death) of farm animals” (as amended on September 8, 2021)]. <https://docs.cntd.ru/document/553933277>.

4. Prikaz MCHS Rossii ot 01.09.2020 № 631 (red. ot 24.07.2022) "Ob utverzhdenii Metodiki ocenki ushcherba ot chrezvychajnyh situacij" [Order of the Ministry of Emergency Situations of Russia dated 01.09.2020 No. 631 (ed. dated 24.07.2022) "On approval of the Methodology for assessing damage from emergency situations"].

5. Ukaz Prezidenta RF ot 21 yanvarya 2020 g. № 20 “Ob utverzhdenii Doktriny prodovol'stvennoj bezopasnosti Rossijskoj Federacii” [Decree of the President of the Russian Federation No. 20 dated January 21, 2020 “On Approval of the Food Security Doctrine of the Russian Federation”].

6. Barsukova, M.N. et all. O nekotoryh modelyah optimizacii proizvodstva rastenievodcheskoj produkcii v usloviyah biologicheskikh riskov [About some models of optimization of crop production in conditions of biological risks]. Modelirovanie sistem i processov, 2022, vol. 15, no. 4, pp. 17-23. – DOI 10.12737/2219-0767-2022-15-4-17-23.

7. Belov, A.B., Kulikalova, E.S. Sapronozy: ekologiya vzbuditelej, epidemiologiya, terminologiya i sistematika [Sapronoses: ecology of pathogens, epidemiology, terminology and systematics]. Epidemiologiya i vakcinoprofilaktika, 2016, vol. 15, no. 1(86), pp. 5-16.

8. Dementiev, M.Yu. Metody upravleniya proizvodstvennymi riskami na predpriyatii [Methods of production risk management at the enterprise mentiev]. Nauchnyj vestnik: finansy, banki, investicii, 2021, no. 4(57), pp. 71-78.

9. Zhivora, A.A. Klassifikaciya riskov sel'skogo hozyajstva [Classification of agricultural risks]. Vestnik AGAU, 2016, no. 1 (135), pp. 186-190.

10. Ivanyo, Ya.M., Petrova, S.A. Optimizacionnye modeli agrarnogo proizvodstva v reshenii zadach ocenki prirodnyh i tekhnogennyh riskov [Optimization models of agricultural production in solving problems of assessing natural and man-made risks]. Irkutsk, 2015, 180 p. – ISBN 978-5-91777-172-4.

11. Ivanyo, Ya.M., Petrova, S.A. Programmnyj kompleks modelirovaniya prirodnyh i tekhnogennyh riskov [Software package for modeling natural and man-made risks]. Izvestiya Irkutskoj gosudarstvennoj ekonomicheskoy akademii, 2015, vol. 25, no. 3, pp. 533-541. – DOI 10.17150/1993-3541.2015.25(3).533-541.

12. Ivanyo, Ya.M. et all. Riski proizvodstva agrarnoj produkcii v Predbajkal'e: klassifikaciya, modelirovanie, upravlenie [Risks of agricultural production in the Pre-Baikal region: classification, modeling, management]. Novosibirsk, 2021, pp. 365-375. – DOI 10.53954/9785604607893_365.

13. Ivanyo, Ya.M. et all. Veroyatnostnaya ocenka povtoryaemosti zasuh i opredelenie riskov agrarnogo proizvodstva [Probabilistic assessment of the recurrence of droughts and the definition of risks of agricultural production]. / Я.М. ИВАНЬО, С.А. ПЕТРОВА, М.Н. ПОЛКОВСКАЯ // Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2018, vol. 22, no 4(135), pp. 73-82. – DOI 10.21285/1814-3520-2018-4-73-82.

14. Kalashnikov, P.N., Ivan'o, Ya.M. Matematicheskoe obespechenie informacionnoj sistemy modelirovaniya polucheniya prodovol'stvennoj produkcii pri vozdejstvii meteorologicheskikh sobytij [Mathematical support of the information system for modeling the receipt of food products under the influence of meteorological events]. Molodezhnyj, 2020, pp. 105-113.

15. Kalashnikov, P.N. Veroyatnostnoe opisanie livnej i rannego snegopada dlya ocenki ushcherba sel'skomu hozyajstvu [Probabilistic description of heavy rains and early snowfall to assess damage to agriculture]. *Molodezhnyj*, 2021, pp. 206-207.
16. Kolokol'ceva, I.M. et al. Statisticheskaya ocenka rasprostraneniya nestadnyh saranchovyh v Irkutskoj oblasti [Statistical assessment of the spread of non-resident locusts in the Irkutsk region]. *Molodezhnyj*, 2021, pp. 59-60.
17. Korneeva, V.M., Pupencova, S.V. Sovremennye metody upravleniya riskami na predpriyatiyah [Modern methods of risk management in enterprises]. *Problemy social'no-ekonomicheskogo razvitiya Sibiri*, 2020, no. 2(40), pp. 33-38. – DOI 10.18324/2224-1833-2020-2-33-38.
18. Kuchumov, A.V., Pecherica, E.V. Ugrozy i riski demograficheskoy bezopasnosti Rossijskoj Federacii [Threats and risks to demographic security of the Russian Federation]. *Tekhniko-tehnologicheskie problemy servisa*, 2020, no. 4(54), pp. 116-122.
19. Medvedeva, S.A. Ekologicheskij risk. Obshchie ponyatiya, metody ocenki [Environmental risk. General concepts, evaluation methods]. *Ekologicheskaya bezopasnost' i zashchita okruzhayushchej sredy*, 2016, no. 1 (1), p. 67-81.
20. Ivanyo, Ya.M. et al. Modelirovanie biologicheskikh riskov v optimizacii proizvodstva agrarnoj produkcii [Modeling of biological risks in the optimization of agricultural production]. *Molodezhnyj*, 2022, pp. 73-79.
21. Myatishkin, G.V. Ocenka energeticheskikh riskov v konture upravleniya energeticheskimi zatratami proizvodstvennogo processa promyshlennogo predpriyatiya [Assessment of energy risks in the energy cost management circuit of the production process of an industrial enterprise]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk*, 2010, vol. 12, no. 4-4, pp. 910-918.
22. Nazarova, O.D. et al. Ocenka riskov biologicheskoy bezopasnosti v Tadjikistane [Biological safety risk assessment in Tajikistan]. *Sel'skohozyajstvennye tekhnologii*, 2019, vol. 1, no. 2, pp. 34-39. – DOI 10.35599/agritech/01.02.04.
23. Gricenko, G.M. et al. Sushchnost' i ekonomicheskoe sodержanie riskov sel'skogo hozyajstva v usloviyah cifrovizacii [The essence and economic content of the risks of agriculture in the conditions of digitalization]. *Vestnik evrazijskoj nauki*, 2020, vol. 12, no. 6, 17 p. – URL: <https://esj.today/PDF/13ECVN620.pdf>.
24. Cydenov, B.B. Klassifikaciya, analiz metodov ocenki ekologicheskogo riska s pozicij ego ekonomicheskikh posledstvij [Classification, analysis of methods for assessing environmental risk from the standpoint of its economic consequences]. *Gumanitarnye, social'no-ekonomicheskije i obshchestvennye nauki*, 2020, no. 10, pp. 259-261. – DOI 10.23672/q5085-9800-6568-j.
25. Terminy MCHS Rossii [Terms of the Ministry of Emergency Situations of Russia]. <https://mchs.gov.ru/ministerstvo/o-ministerstve/terminy-mchs-rossii/term/332>.

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: 25.09.2023

Поступила после рецензирования и доработки / Revised: 03.10.2023

Дата принятия к печати / Accepted: 05.10.2023

Сведения об авторах

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

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

Колокольцева Ирина Михайловна – аспирант кафедры информатики и математического моделирования Иркутского государственного аграрного университета имени А.А. Ежевского.

Контактная информация ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, 664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодежный, тел. 89025190281.

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

Контактная информация ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, 664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. 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>.

Irina M. Kolokoltseva – PhD student of the Department of Informatics and Mathematical Modeling, Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky.

Contact information: FSBEI HE Irkutsk SAU, 664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk district, Molodezhny, tel. 89025190281.

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-(3)48-71-79

УДК 519.6:311

Научная статья

ВЫЧИСЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА СЛОЖНОГО МНОГОКОМПОНЕНТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

^{1,2}Ю.М. Краковский, ¹В.О. Беляков

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

²Иркутский государственный университет путей сообщения, *Иркутск, Россия*

Аннотация. Остаточный ресурс является важным технико-экономическим показателем. Необходимость определения остаточного ресурса возникает при продлении срока службы оборудования за пределы нормативного срока, а также при планировании периодичности контроля технического состояния оборудования с целью обеспечения безопасности его эксплуатации. В результате исследования было создано математическое и программное обеспечение для вычисления показателей надежности для остаточного ресурса сложного многокомпонентного оборудования. Для разработки программно-алгоритмического обеспечения был выбран язык программирования С#. В качестве вероятностной модели для наработки компонент оборудования выбрано трехпараметрическое треугольное распределения, значения параметров которого определяют эксперты. В работе рассматриваются две случая выбора среднего значения наработки: а) эксперты среднее значение наработки компоненты оборудования задают в виде числа; б) эксперты среднее значение наработки компоненты оборудования считают случайной величиной, имеющей бета-распределение с двумя вариантами значения параметров. В данной работе рассматриваются два варианта обслуживания и ремонта многокомпонентного оборудования. В первом случае при отказе любой из компонент происходит восстановление только этой компоненты (вариант А). Во втором случае при отказе компоненты происходит восстановление всех компонент до исходного состояния (вариант В). В результате моделирования значения наработок многокомпонентного оборудования образуют выборку. Используя значения выборки, в работе рассчитываются следующие численные показатели надежности для остаточного ресурса: 1) численная вероятность безотказной работы для остаточного ресурса; 2) численный средний остаточный ресурс; 3) численный гамма процентный остаточный ресурс. В работе рассматривается влияние технологий обслуживания оборудования на значения этих показателей.

Ключевые слова: показатели надежности, остаточный ресурс, многокомпонентное оборудование, треугольное распределение.

Для цитирования: Краковский Ю.М., Беляков В.О. Вычисление показателей надежности остаточного ресурса сложного многокомпонентного оборудования. Электронный научно-практический журнал “Актуальные вопросы аграрной науки”. 2023; 3(48):71-79. DOI 10.51215/2411-6483-2023-(3)48-71-79.

CALCULATION OF RELIABILITY INDICATORS OF THE RESIDUAL RESOURCE OF COMPLEX MULTICOMPONENT EQUIPMENT

^{1,2}Yuri M. Krakovsky, ¹Vyacheslav O. Belyakov

¹Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky
Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk Region, Russia

²Irkutsk State Transport University, *Irkutsk, Russia*

Abstract. Residual resource is an important technical and economic indicator. The need to determine the residual resource arises when extending the service life of equipment beyond the standard period, as well as when planning the frequency of monitoring the technical condition of equipment in order to ensure the safety of its operation. As a result of the research, mathematical and software was created to calculate reliability indicators for the residual life of complex multi-component equipment. The C# programming language was chosen to develop algorithmic software. As a probabilistic model for operating equipment components, a three-parameter triangular distribution was selected, the parameter values of which are determined by experts. The paper considers two cases of choosing the average operating time: a) experts set the average operating time of equipment components as a number; b) experts consider the average operating time of equipment components to be a random variable having a beta distribution with two variants of parameter values. This paper discusses two options for maintenance and repair of multi-component equipment. In the first case, if any of the components fails, only this component is restored (option A). In the second case, if a component fails, all components are restored to their original state (option B). As a result of modeling, the operating hours of multi-component equipment form a sample. Using the sample values, the work calculates the following numerical reliability indicators for the residual resource: 1) numerical probability of failure-free operation for the residual resource; 2) numerical average residual resource; 3) numerical gamma percentage residual resource. The work examines the influence of equipment maintenance technologies on the values of these indicators.

Keywords: reliability indicators, residual life, multi-component equipment, triangular distribution.

For citation: Krakovsky Yu.M., Belyakov V.O. Calculation of reliability indicators of the residual resource of complex multicomponent equipment. Electronic scientific-Practical journal “Actual issues of agrarian science”. 2023; 3(48):71-79. DOI 10.51215/2411-6483-2023-(3)48-71-79.

Введение. Остаточный ресурс оборудования является важным технико-экономическим показателем. Остаточным ресурсом оборудования называется суммарная наработка оборудования от определенного момента времени до его перехода в предельное состояние. Необходимость определения остаточного ресурса возникает при продлении срока службы оборудования за пределы нормативного срока, а также при планировании периодичности контроля технического состояния оборудования с целью обеспечения безопасности его эксплуатации [1, 3, 4, 7, 8].

Данное исследование проведено применительно к транспортному оборудованию. Транспортное оборудование состоит из множества составных частей. Составные части этого оборудования во время своей эксплуатации подвержены случайным и неслучайным воздействиям, что приводит к появлению различного вида отказов. При эксплуатации транспортного оборудования важно уметь определять показатели надежности для самой наработки и для остаточного ресурса, используя экспертную информацию с учетом неопределенности.

Таким образом, транспортное оборудование рассматривается как многокомпонентное оборудование, состоящее из I компонент, соединенных последовательно. Отказ любой компоненты приводит к отказу оборудования. При этом сами компоненты тоже являются сложными элементами.

Выделим следующие компоненты:

- двигатель и его системы (двигатель, система охлаждения, система питания, система управления двигателем, система выпуска отработавших газов);
- ходовая часть (трансмиссия, ходовая часть);
- рулевое управление и тормозная система (руль, рулевая колонка, гидроусилитель, передние и задние тормоза и т.д.);
- электрооборудование (аккумулятор, генератор, блоки предохранителя и реле, контрольно-измерительные приборы, стартер и т.д.).

Целью работы является определение влияния технологии обслуживания и ремонта на остаточный ресурс многокомпонентного оборудования, а также разработка для этого программно-алгоритмического обеспечения.

Математическое и алгоритмическое описание задачи. В работе для моделирования значений наработок многокомпонентного оборудования используются метод Монте-Карло и метод имитационного моделирования на основе событийного подхода. Для моделирования среднего значения наработки (когда среднее значение наработки компоненты оборудования считают случайной величиной) используется бета-распределение. Показателями надежности в работе выбраны: численная вероятность безотказной работы для остаточного ресурса, численный средний остаточный ресурс, численный гамма процентный остаточный ресурс.

Данная работа является продолжением работы [5], в которой определялись показатели надежности наработки оборудования. Нарботку компонент обозначим y_i , среднее значение наработки \bar{y}_i , диапазон изменения наработки (a_i, b_i) , $i = \overline{1, I}$, где I – номер компоненты. Экспертами в качестве вероятностной модели для наработки компоненты оборудования

рекомендуется трехпараметрическое треугольное распределение [5]. Параметр c_i для этой модели определяется по формуле

$$c_i = 3 \cdot \bar{y}_i - (a_i + b_i). \quad (1)$$

Функция распределения наработки имеет вид

$$F(y_i) = \begin{cases} 0, & y_i \leq a_i \\ \frac{(y_i - a_i)^2}{(b_i - a_i)(c_i - a_i)}, & a_i < y_i \leq c_i \\ 1 - \frac{(b_i - y_i)^2}{(b_i - a_i)(b_i - c_i)}, & c_i < y_i \leq b_i \\ 1, & y_i > b_i \end{cases}. \quad (2)$$

В работе рассматриваются два случая выбора среднего значения наработки:

а) эксперты среднее значение наработки компоненты оборудования задают в виде числа;

б) эксперты среднее значение наработки компоненты оборудования считают случайной величиной, имеющей бета-распределение на интервале (m_{i1}, m_{i2}) . Для этого случая рассматривается два варианта значений параметров для бета-распределения: 1) $\alpha = \beta = 1$; 2) $\alpha = \beta = 4$.

Второй случай учитывает неопределенность условий при эксплуатации оборудования.

В работе рассматриваются 2 варианта обслуживания и ремонта оборудования: вариант А и вариант В. В первом случае при отказе любой из компонент происходит восстановление только этой компоненты. Во втором случае при отказе компоненты происходит восстановление всех компонент до исходного состояния.

В результате моделирования значения наработок многокомпонентного оборудования образуют выборку объема n

$$X = (x_q, q = \overline{1, n}). \quad (3)$$

Используя значения выборки (3), в работе рассчитываются следующие численные показатели надежности для остаточного ресурса:

1) численная вероятность безотказной работы для остаточного ресурса

$$P_j^r(u) = \begin{cases} 1, & u < 0 \\ p_j(s-1) + (u - u_{s-1}) \cdot (p_j(s) - p_j(s-1)) \cdot \frac{J}{z_j}, & \\ 0, & u \geq z_j - g \end{cases}, \quad (4)$$

где $g_j = j \cdot \frac{z_j}{J}$, $u_{s-1} \leq u < u_s$, $u_s = s \cdot \frac{z_j}{J}$, $s = \overline{1, J-j}$;

2) численный средний остаточный ресурс

$$\tilde{u}_j = \frac{z_j}{J} (0,5 + \sum_{s=1}^{J-j} p_j(s)); \quad (5)$$

3) численный гамма процентный остаточный ресурс

$$u_j(\gamma) = u_{s-1} + \frac{\gamma - p_j(s-1)}{p_j(s) - p_j(s-1)} \cdot \frac{z_j}{J}, \quad (6)$$

где $p_j(s-1) \geq \gamma > p_j(s)$, $s = \overline{1, J-j}$, $p_j(0) = 1$.

В моделях (4) – (6): J – число интервалов при группировке выборки (3); z_j – значения узлов сгруппированной выборки, z_0 и z_J – минимальное и максимальное значение; γ – значение вероятности, при которой находится гамма-процентный ресурс; k_j – величина, зависящая от относительных частот, $j = \overline{1, J}$, $k_0 = 1$, $k_j = 0$.

Дополнительно используется понятие статистической вероятности для остаточного ресурса

$$P_g^c(u) = p_j(s) = \frac{k_{j+s}}{k_j}, p_j(0) = 1. \quad (7)$$

Подчеркнем, что в моделях (4) – (7) g_j – время, относительно которого считается остаточный ресурс, u – значение самого остаточного ресурса, u_s – узлы остаточного ресурса.

Программное обеспечение. Для реализации сформулированной цели и решаемых задач разработано программное обеспечение на языке программирования С# в среде Microsoft Visual Studio 2019. Выбор языка программирования и среды разработки обусловлен следующим [2, 6, 9, 10]: 1) в языке программирования С# реализован объектно-ориентированный подход программирования; 2) язык является компилируемым и обладает большим числом синтаксических конструкций; 3) простота и понятность написания кода; 4) программа разработанная в Visual Studio является кроссплатформенной; 5) язык С# является одним из лучших языков объектно-ориентированного программирования по скорости выполнения кода; 6) конструктор интерфейсов в среде разработки в Visual Studio позволяет упростить и ускорить разработку программного обеспечения.

Результаты исследования. В проведенном исследовании объем выборочных значений $n = 10000$, значение вероятности, при которой находится гамма процентный ресурс, $\gamma = 0.9$, j для остаточного ресурса равно 8, число интервалов при группировке выборки $J = 40$. Исходные данные в условных единицах для четырехкомпонентного оборудования приведены в таблице 1.

Результаты моделирования в условных единицах приведены в таблице 2, где Т.О. – технология обслуживания и ремонта оборудования, $\alpha = \beta$ – значение параметров для бета-распределения, \bar{x}_r – численная средняя наработка, $x_r(\gamma)$ – численный гамма процентный ресурс, \tilde{x} – точечная оценка средней наработки оборудования; (x_n, x_v) – доверительный интервал для неизвестного среднего значения, g_j – время, относительно которого считается гамма-процентный ресурс (в работе j равно 8), \tilde{u}_j – численный средний остаточный ресурс, $\tilde{u}_j(\gamma)$ – численный гамма процентный ресурс.

Таблица 1 – Исходные данные

Table 1 – Initial data

i	1	2	3	4
a_i	0.0	1.0	0.0	1.0
b_i	11.0	13.0	12.0	12.0
\bar{y}_i	5.5	7.0	6.0	6.5
m_{i1}	4.5	6.0	5.0	5.5
m_{i2}	6.5	8.5	7.5	7.5

Для номеров 1 и 3 обслуживание по варианту А с учетом неопределенности; для номеров 2 и 4 обслуживание по варианту В с учетом неопределенности; для номеров 5 и 6 неопределенность отсутствует; 5 – обслуживание по варианту А; 6 – обслуживание по варианту В. Из таблицы 2 следует, что для номеров 1, 3, 5, а также номеров 2, 4, 6 результаты расчетов похожи по значениям. Из этого можно сделать вывод, что на значения показателей надежности большее влияние оказывает технология обслуживания и ремонта оборудования.

Таблица 2 – Результаты моделирования

Table 2 – Simulation results

№	Т.О.	$\alpha = \beta$	\bar{x}_r	$x_r(\gamma)$	\tilde{x}	x_H	x_B	g_j	\tilde{u}_j	$\tilde{u}_j(\gamma)$
1	А	1	1.583	0.228	1.581	1.556	1.605	1.619	1.193	0.184
2	В	1	3.675	1.647	3.675	3.643	3.706	1.975	2.105	0.475
3	А	4	1.584	0.214	1.582	1.558	1.607	1.518	1.212	0.171
4	В	4	3.762	1.734	3.762	3.731	3.793	1.844	2.244	0.672
5	А	-	1.556	0.224	1.554	1.531	1.578	1.497	1.180	0.168
6	В	-	3.744	1.712	3.743	3.713	3.774	1.926	2.184	0.702

На рисунке приведены графики численной вероятности безотказной работы остаточного ресурса для номеров 5 (а) и 6 (б) в условных единицах. Как видно из графиков, при варианте А график приближается к 0 при значении 5, а в варианте В чуть больше 6. При этом первый график круче, чем второй.

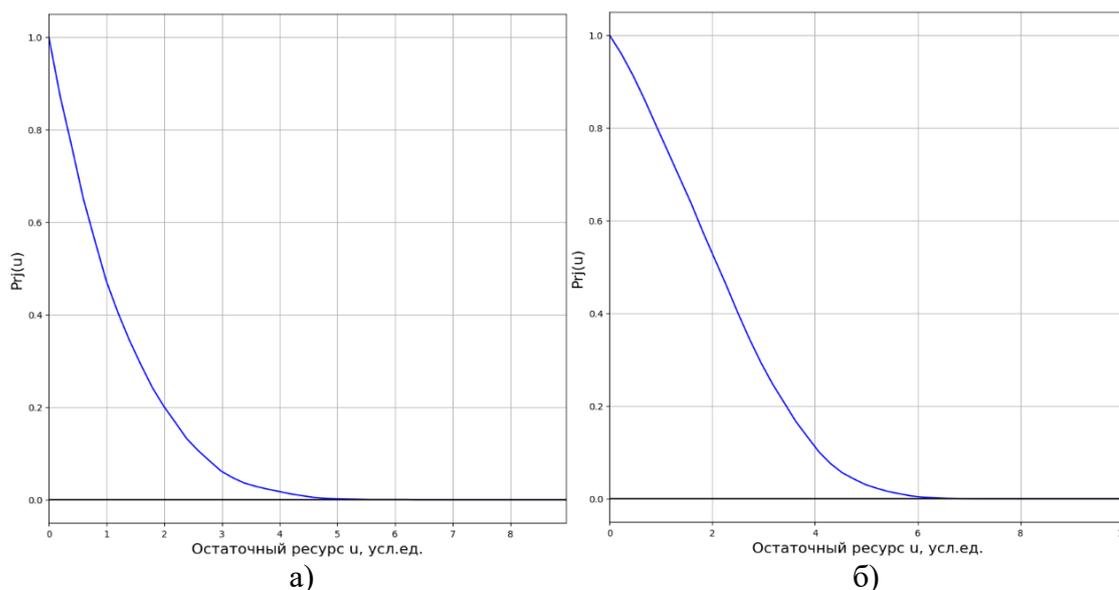


Рисунок – Численная вероятность безотказной работы остаточного ресурса для номеров 5 и 6

Figure – Numerical probability of failure-free operation of the residual resource for numbers 5 and 6

Выводы. По полученным результатам можно сделать следующие выводы:

1) проведено моделирование на основе дискретно-событийного подхода для вычисления показателей надежности остаточного ресурса многокомпонентного оборудования с учетом двух вариантов его обслуживания и ремонта;

2) значения численного среднего остаточного ресурса и численного гамма процентного остаточного ресурса для технологии обслуживания и ремонта оборудования по варианту А существенно меньше, чем по варианту В, тем самым показано, что наибольшее влияние на показатели надежности оказывает технология обслуживания и ремонта;

3) созданное программное обеспечение позволяет создавать графики вероятности безотказной работы для остаточного ресурса, что более полно позволяет делать практические выводы.

Список литературы

1. Баженов, Ю.В. Основы надежности и работоспособности технических систем / Ю.В. Баженов, М.Ю. Баженов // Владим. гос. ун-т им. А.Г. и Н.Г. Столетовых. – Владимир: Изд-во ВлГУ, 2017. – 267 с.

2. Белоусова, В.С. Сравнительный анализ двух языков программирования # и Python / В.С. Белоусова, А.А. Погорелов // Наука и современность: матер. Всерос. научно-практ. конф. студентов и молодых ученых, Таганрог, 11 ноября 2022 года / Редколлегия: Л.А. Светличная, Т.В. Чернова. – Таганрог: ЭльДирект – ИП Шкуркин Д.В. (ДиректСайнс), 2022. – С. 58-61.

3. Беляков, В.О. Оценка надежности рельсовых скреплений на основе экспертной информации с использованием метода Монте-Карло / В.О. Беляков, Ю.М. Краковский,

В.А. Начигин // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2022. – № 1(73). – С. 163-169.

4. Коваливнич, В.Д. Использование остаточного ресурса при определении спроса и стоимости подержанных машин на вторичном рынке / В.Д. Коваливнич, Т.А. Софьина, М.К. Бураев // Актуальные вопросы аграрной науки. – 2021. – № 38. – С. 5-12.

5. Краковский, Ю.М. Оценка показателей надежности многокомпонентного оборудования методом имитационного моделирования / Ю.М. Краковский, В.О. Беляков, Н.В. Бендик // System Analysis and Mathematical Modeling. – 2023. – Т. 5, № 1. – С. 57-65.

6. Макконнелл С. Совершенный код. Мастер#класс / Пер. с англ. – М.: Издательство “Русская редакция”, 2010 – 896 стр.: ил.

7. Нго, З.Д. Имитационная модель многокомпонентного оборудования для определения закона распределения его наработки / З.Д. Нго, Ю.М. Краковский, // Вестник ИрГТУ. – 2015. – №7. – С. 25-32.

8. Токарев, А.Н. Основы теории надёжности и диагностики / А.Н. Токарев. – Барнаул: Изд. АлтГТУ, 2008. – 168 с.

9. Троелсен, Э. Язык программирования C# 5.0 и платформа NET 4.5 / Э. Троелсен. Пер. с англ. – М.: ООО “И.Д. Вильямс”, 2013. – 1312 с.

10. Шилин, А.С. Версия C# Visual Studio 2022 как язык обучения основам программирования / А.С. Шилин // Информатика и прикладная математика. – 2022. – № 28. – С. 110-134.

References

1. Bazhenov, Yu.V., Bazhenov, M.Yu. Osnovy` nadezhnosti i rabotosposobnosti texnicheskix sistem [Fundamentals of reliability and operability of technical systems]. Vladimir, 2017, 267 p.

2. Belousova, V.S., Pogorelov, A.A. Sravnitel`ny`j analiz dvux yazy`kov programmirovaniya s# i Python [Comparative analysis of two programming languages c# and Python]. Taganrog, 2022, pp. 58-61.

3. Belyakov, V.O. et all. Ocenka nadezhnosti rel`sovy`x skreplenij na osnove e`kspertnoj informacii s ispol`zovaniem metoda Monte-Karlo [Assessment of the reliability of rail fasteners based on expert information using the Monte Carlo method]. Sovremenny`e texnologii. Sistemny`j analiz. Modelirovanie, 2022, no. 1(73), pp. 163-169.

4. Kovalivnich, V.D. et all. Ispol`zovanie ostatochnogo resursa pri opredelenii sprosa i stoimosti poderzhanny`x mashin na vtorichnom ry`nke [Use of the remaining resource in determining the demand and cost of used cars in the secondary market]. Aktual`ny`e voprosy` agrarnoj nauki, 2021, no. 38, pp. 5-12.

5. Krakovskij, Yu.M. et all. Ocenka pokazatelej nadezhnosti mnogokomponentnogo oborudovaniya metodom imitacionnogo modelirovaniya [Evaluation of reliability indicators of multicomponent equipment by simulation modeling]. System Analysis and Mathematical Modeling, 2023, vol. 5, no. 1, pp. 57-65.

6. Makkonnell S. Sovershenny`j kod. Master#klass [Perfect code. Master#class]. Moscow, 2010, 896 p.

7. Ngo, Z.D., Krakovskij, Yu.M. Imitacionnaya model` mnogokomponentnogo oborudovaniya dlya opredeleniya zakona raspredeleniya ego narabotki [Simulation model of multicomponent equipment for determining the law of distribution of its operating time]. Vestnik IrGTU, 2015, no. 7, pp. 25-32.

8. Tokarev, A.N. Osnovy` teorii nadyozhnosti i diagnostiki [Fundamentals of reliability theory and diagnostics]. Barnaul, 2008, 168 p.

9. Troelsen, E`. Yazy`k programmirovaniya S# 5.0 i platforma NET 4.5 [C#5.0 programming language and NET 4.5 platform]. Moscow, 2013, 1312 p.

10. Shilin, A.S. Versiya C# Visual Studio 2022 kak yazyk obucheniya osnovam programmirovaniya [Version C# Visual Studio 2022 as a language for learning the basics of programming]. *Informatika i prikladnaya matematika*, 2022, no. 28, pp. 110-134.

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: 10.09.2023

Поступила после рецензирования и доработки / Revised: 04.10.2023

Дата принятия к печати / Accepted: 05.10.2023

Сведения об авторах

Краковский Юрий Мечеславович – доктор технических наук, профессор Иркутского государственного университета путей сообщения, профессор кафедры информатики и математического моделирования Иркутского государственного аграрного университета имени А.А. Ежевского.

Контактная информация: ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, 664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодежный, тел. +79149267772. e-mail: 79149267772@yandex.ru; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4876-0618>.

Беляков Вячеслав Олегович – аспирант кафедры информатики и математического моделирования Иркутского государственного аграрного университета имени А.А. Ежевского.

Контактная информация ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, 664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодежный, тел. +79148791195. e-mail: surelok1@yandex.ru; ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0003-3255-450x>.

Information about authors

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

Contact information: FSBEI HE Irkutsk SAU, 664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk district, Molodezhny, tel. +79149267772. e-mail: 79149267772@yandex.ru; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4876-0618>.

Vyacheslav O. Belyakov – PhD student of the Department of Computer Science and Mathematical Modeling of Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky.

Contact information: FSBEI HE Irkutsk SAU, 664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk district, Molodezhny, tel. +79148791195. e-mail: surelok1@yandex.ru; ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0003-3255-450x>.



DOI 10.51215/2411-6483-2023-(3)48-80-89

УДК 519-7

Научная статья

ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ПРОЧНОСТИ ОТ ГЛУБИНЫ НАРЕЗНОГО КАНАЛА НА ОСНОВНОМ ДИСКЕ РАДИАЛЬНОГО КОЛЕСА ТУРБОМАШИН

О.В. Репецкий, Д.К. Хоанг

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

Аннотация. В данной статье описана математическая модель для решения проблемы дисбаланса массы радиального рабочего колеса с преднамеренной расстройкой. В процессе исследования варианта изменения толщины лопаток выяснилось, что оптимальным вариантом при геометрическом изменении 10-и радиальных лопаток является вариант увеличения толщины лопатки на середине пера и уменьшение толщины лопатки на двух краях кромки (верхнем и нижнем). Масса одиночной лопатки увеличивается на 2.01%, а долговечность лопатки повышается до +14.84%. В процессе анализа глубины нарезного канала на основном диске колеса результаты показывают, что скорость потока через сопло колеса увеличится, а масса всей конструкции уменьшится. Подходом к новому колесу является комбинирование варианта лопатки и нарезного канала в одном колесе для решения проблемы дисбаланса массы радиального рабочего колеса. Таким образом, данная работа связана с моделированием глубины нарезного канала на основном диске колеса для получения массово-сбалансированной конструкции. Чтобы проверить эффективность этого колеса, с помощью программы Solidwork моделировалось соединение лопаток и нарезного канала. Затем радиальное рабочее колесо исследовано на предмет изменения частоты и спрогнозирована долговечность конструкции с помощью программы Ansys Workbench. Полученные расчеты могут сократить объем дорогостоящих экспериментальных исследований и уменьшить сроки конструирования новых машин по критериям эффективности, надежности, технологичности и ресурсосбережения высоконагруженных агрегатов.

Ключевые слова: долговечность, метод конечных элементов, нарезной канал, прочность, расстройка параметров, турбомашин.

Для цитирования: Репецкий О.В., Хоанг Д.К. Численный анализ прочности от глубины нарезного канала на основном диске радиального колеса турбомашин. *Электронный научно-практический журнал “Актуальные вопросы аграрной науки”*. 2023; 3 (48):80-89. DOI 10.51215/2411-6483-2023-(3)48-80-89.

NUMERICAL ANALYSIS OF FATIGUE LIFE FROM THE DEPTH RIFLED CHANNELS ON THE MAIN DISK OF THE RADIAL WHEEL TURBOMACHINES

Oleg V. Repetckii, Dinh Cuong Hoang

Irkutsk State Agricultural University named after A. A. Ezhevsky, *Irkutsk, Russia*

Abstract. This paper describes a mathematical model to solve the mass imbalance problem of a radial impeller with intentional detuning. In the process of studying the option of changing the thickness of the blades, it turned out that the optimal option for geometric changes in 10 radial blades is the option of increasing the thickness of the blade in the middle of the feather and reducing the thickness of the blade at the two edges of the edge (upper and lower). Single blade mass increases by 2.01% and blade durability increases to +14.84%. In the process of analyzing the depth of the grooved channel on the main wheel disk, the results show that the flow speed through the wheel nozzle will increase and the weight of the entire structure will decrease. The approach for the new impeller is to combine the blade and threaded channel option in one impeller to solve the mass imbalance problem of the radial impeller. Thus, this work is related to modeling the depth of the grooved channel on the main wheel disk to obtain a mass-balanced design. To test the effectiveness of this wheel, the connection between the blades and the threaded channel was simulated using Solidwork software. The radial impeller was then examined for frequency variation and the design life was predicted using Ansys Workbench. The resulting calculations can reduce the volume of expensive experimental research and reduce the time required to design new machines according to the criteria of efficiency, reliability, manufacturability and resource saving of highly loaded units.

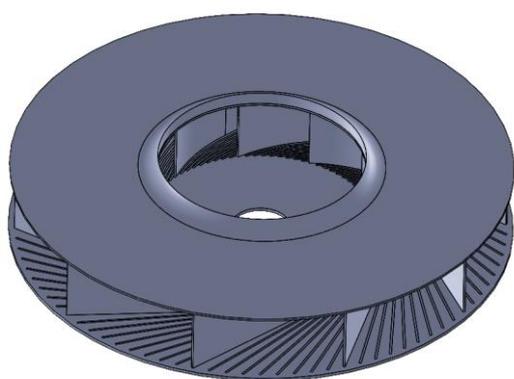
Keyword: durability, finite element method, threaded channel, strength, parameter detuning, turbomachine.

For citation: Repetckii O.V., Hoang Dinh Cuong. Numerical analysis of fatigue life from the depth rifled channels on the main disk of the radial wheel turbomachines. *Electronic scientific-Practical journal “Actual issues of agrarian science”*. 2023; 3 (48): 80-89. DOI 10.51215/2411-6483-2023-(3)48-80-89.

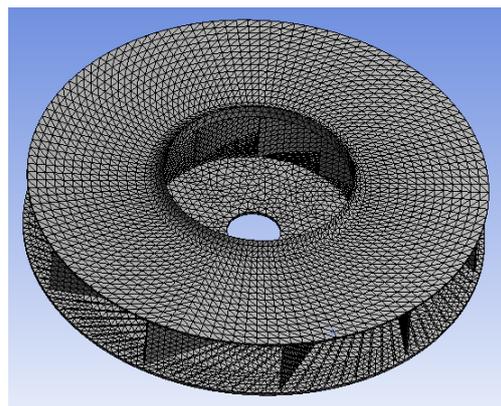
Введение. Метод конечных элементов (МКЭ) представляет собой метод численного анализа для получения приближенных решений. В настоящее время он стал очень важным и мощным инструментом для численного решения широкого круга инженерных задач. МКЭ используется для анализа твердотельных конструкций сложной формы и сложных граничных условий. Развитие компьютерных технологий и высокоскоростных компьютеров позволяет легко моделировать сложные инженерные задачи [1, 4, 9, 13]. Различные исследователи проделали большую работу по разработке анализа колеса турбины с использованием МКЭ.

Целью работы является описание математической модели для решения проблемы дисбаланса массы радиального рабочего колеса с преднамеренной расстройкой.

Основные результаты. Моделирование трехмерного модели (3D) с методом конечных элементов показано на рисунке 1 для оценки изменения собственных частот и прогнозирования ресурса радиального рабочего колеса. Толщина лопатки увеличена на середине пера и уменьшена на двух краях кромки (верхнем и нижнем). Глубина нарезного канала анализируется на основном диске колеса для получения массово-сбалансированной конструкции. Подобный анализ выполнен на примере радиального рабочего колеса с 10-ю лопатками [5, 7].



Общий вид



Конечноэлементная модель

Рисунок 1 – Радиальное рабочее колесо с 10-ю лопатками

Figure 1 – Radial impeller with 10 blades

Основные механические характеристики исходного материала радиального рабочего колеса: материал сталь, модуль Юнга – $2.1 \cdot 10^5$ МПа, плотность – 7850 кг/м^3 , коэффициент Пуассона – 0.3 [12]. Конструкция объекта жестко закреплена по ободу диска. В конечноэлементной модели применяется конечный элемент TET10 программы ANSYS WORKBENCH с общим количеством конечных элементов 71364 и 138160 узловыми точками. Количество степеней свободы составляет 414480 (рис. 1).

Уравнения движения с использованием метода конечных элементов для статики и свободных колебаний могут быть представлены в виде [1, 2, 3, 4]:

$$(K_E + K_G + K_R)\delta = F_\Omega + F_T + F_G, \quad (1)$$

а для свободной вибрации:

$$M\ddot{\delta} + C\dot{\delta} + (K_E + K_G + K_R)\delta = 0, \quad (2)$$

где δ – вектор перемещений, K_E и M – матрицы жесткости и массы, соответственно, K_G – матрица геометрической жесткости, зависящая от скорости и температуры, K_R – дополнительная матрица жесткости,

возникающая в результате вращения, F_{Ω}, F_T, F_G – векторы, соответствующие силам вращения, температуры и давления газа соответственно, C – матрица демпфирования.

Сложность оценки прочности и эксплуатационной надежности роторов турбомашин связана с наличием в них высоконагруженных элементов и разнообразием их геометрических форм. Наиболее нагруженными элементами турбомашин являются радиальные рабочие лопатки [10, 11]. Поэтому задача обеспечения высокой прочности рабочих лопаток является актуальной проблемой современного двигателестроения [3, 4, 8]. Увеличение толщины лопатки на середине пера и уменьшение толщины лопатки на двух краях кромки (верхнем и нижнем) показано на рисунке 2. Основные параметры изменения толщины радиальной лопатки показаны в таблице 1.

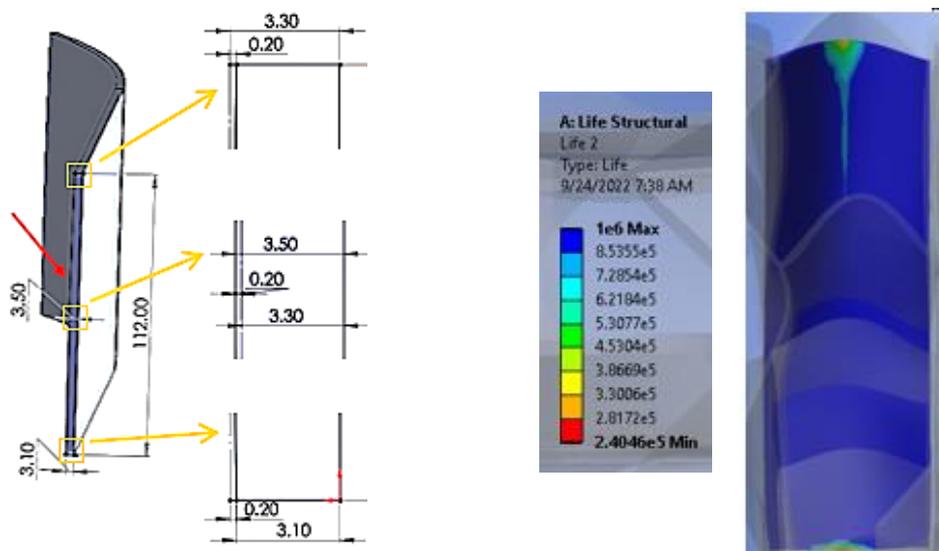


Рисунок 2 – Увеличение толщины лопатки на середине пера и уменьшение толщины лопатки на двух краях кромки (верхнем и нижнем)

Figure 2 – Increasing the thickness of the vane in the middle of the feather and decreasing the thickness of the vane at the two edges of the edge (top and bottom)

В работе [6] массу одиночной лопатки предложено увеличить на 2.01%. При этом долговечность лопатки повысилась до + 14.84%, а масса колеса для 10-и лопаток увеличилась на $\Delta m = + 0.199$ кг. Основная идея заключается в выполнении глубины нарезного канала на основном диске таким образом (рис. 3), чтобы масса колеса уменьшалась $\Delta m = - 0.199$ кг. В результате, общая масса конструкции не меняется по сравнению к исходному колесу. В дальнейшей части работы исследованы изменения характеристики колеса по частотам и долговечности.

Таблица 1 – Основные параметры изменения толщины радиальной лопатки
 Table 1 – Basic parameters for changing the thickness of the radial blade

Основные параметры лопатки				Масса, кг
Вид лопатки	Высота, мм	Толщина, мм		
		по центру	по краям кромки	
Исходная лопатка	112	3.3	3.3	0.9888
Предложенная лопатка	112	3.5	3.1	1.0087

С помощью программы Solidworks моделировалось 80 нарезных каналов на данном колесе. Виды нарезного канала на основном диске колеса выделены синим цветом (рисунок 3). Изменение массы основного диска по глубине нарезного канала приведено в таблице 2.

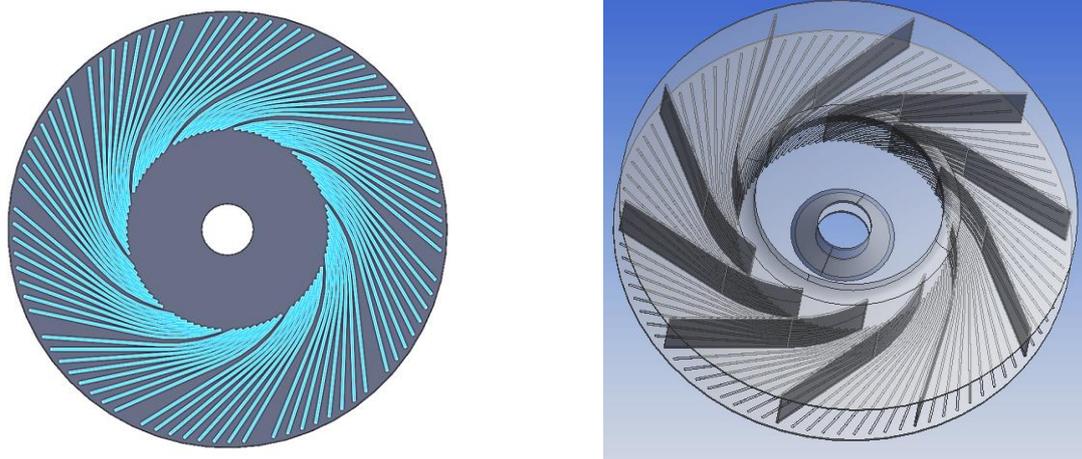


Рисунок 3 – Виды нарезного канала на основном диске колеса

Figure 3 – Types of threaded channel on the main wheel rim

Из результата исследования изменения массы основного диска по глубине нарезного канала (таблица 2) видно, что масса колеса уменьшается на $\Delta m = - 0.199\text{кг}$ с глубиной нарезного канала равной 0.28 мм. Данная глубина подходит для сбалансированной по массе конструкции.

На следующем этапе исследованы изменения характеристики колеса по частотам. В таблице 3 анализируются собственные частоты радиального рабочего колеса. А. На рисунке 4 представлены процентные изменения собственных частот каждого варианта радиального рабочего колеса к исходному варианту с 10-ю лопатками. В приведенной таблице 3 и на рисунке 4 показано, что собственные частоты радиального рабочего колеса уменьшаются по формам колебаний с глубинами нарезного канала.

Таблица 2 – Изменение массы основного диска по глубине нарезного канала

Table 2 – Change in the mass of the main disk along the depth of the threaded channel

Глубина нарезного канала, мм	Масса основного диска, кг	Отклонение, Δm (кг)
0	18.026	0
0.1	17.955	-0.071
0.2	17.884	-0.142
0.28	17.827	-0.199
0.3	17.814	-0.212
0.4	17.743	-0.283
0.5	17.672	-0.354
1.0	17.319	-0.707

Таблица 3 – Значения собственных частот радиального рабочего колеса

Table 3 – Values of natural frequencies of a radial impeller

Форма n/m (n-число узловых диаметров, m- окружностей)	Собственные частоты радиального рабочего колеса, Гц		
	Исходная лопатка	Предложенная лопатка	Предложенная лопатка с глубинами нарезного канала
0/0	81.075	80.481	80.147
1/0	43.675	43.476	43.428
1/1	395.45	392.90	389.21
2/0	342.91	342.08	339.17
5/0	413.04	416.71	412.53

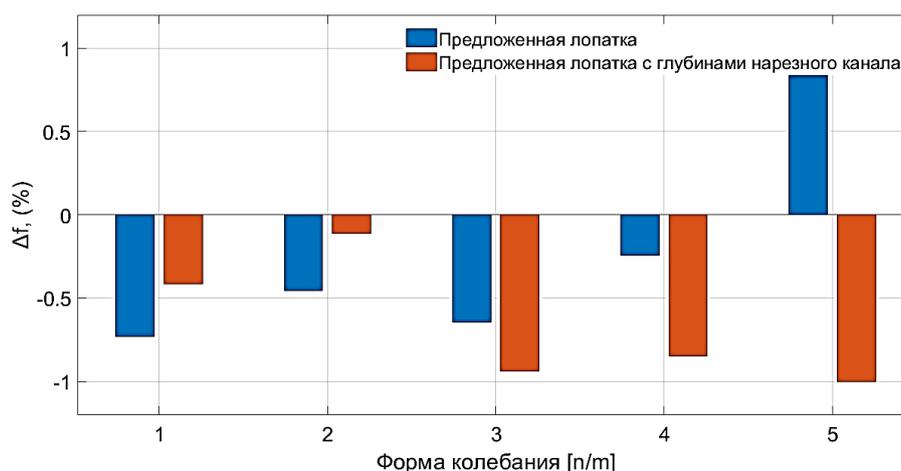


Рисунок 4 – Процентное изменение собственных частот радиального рабочего колеса

Figure 4 – Percentage change in natural frequencies of radial impeller

В большинстве случаев сквозные дефекты появляются на поверхности лопаток, где имеется наибольшее циклическое нагружение, и дефекты приближенно рассматриваются как трещины лопаток. Задача прогнозирования усталостной долговечности лопаток колеса является очень важной в современной технике. Неправильная оценка ресурса может привести к авариям и катастрофам. В данной статье анализируется влияние геометрии конструкции на прогноз усталостной долговечности колеса (рисунок 5). Расчет долговечности выполнен на основе методики математического моделирования и прогнозирования многоциклового усталостной долговечности радиальных рабочих колес турбин с учетом динамической нагрузки, описанной в работе [5].

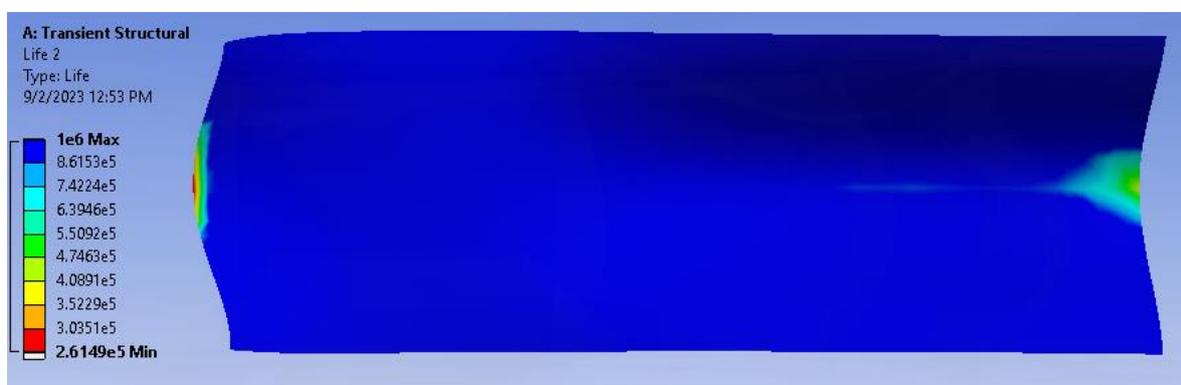


Рисунок 5 – Расчет долговечности лопаток радиального рабочего колеса

Figure 5 – Calculation of the durability of radial impeller blades

В таблице 4 показаны 2 варианта по исследованию изменения толщины лопатки радиального рабочего колеса, глубины нарезного канала 0.28 мм на основном диске и их влиянию на долговечность лопаток радиального рабочего колеса.

Таблица 4 – Значения количества циклов до разрушения рабочего колеса

Table 4 – Number of cycles before impeller failure

Вариант	Долговечность (в циклах)	Отклонение от исходной лопатки $\Delta \bar{N}(\%)$
Исходная лопатка	$2.0938 \cdot 10^5$	0
Предложенная лопатка	$2.4046 \cdot 10^5$	+ 14.84
Предложенная лопатка с глубинами нарезного канала	$2.6149 \cdot 10^5$	+ 24.88

Закключение. Таким образом, два варианта демонстрируют повышение значения количества циклов до разрушения рабочего колеса. Анализ полученных результатов показал, что предложенная лопатка с глубинами

нарезного канала 0.28 мм приводит к максимальному увеличению долговечности радиального рабочего колеса на +24.88%, а также дает сбалансированную по массе конструкцию при увеличении толщины на 0.2 мм по всей лопатке на середине и уменьшении на 0.2 мм на двух краях кромки. Полученные результаты позволяют использовать их для оценки возможных вариантов при проектировании или эксплуатации радиальных лопаток рабочих колес турбомашин в области энергетического, химического и транспортного машиностроения.

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. Костюк, А.Г. Динамика и прочность турбомашин / А.Г. Костюк – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 476 с.
3. Когаев, В.П. Расчеты деталей машин и конструкций на прочность и долговечность / В.П. Когаев, Н.А. Махутов, А.П. Гусенков – М.: Машиностроение, 1985. – 224 с.
4. Мяченков, В.И. Расчеты машиностроительных конструкций методом конечных элементов / В.И. Мяченков – М.: Машиностроение, 1989. – 520 с.
5. Репецкий, О.В. Математическое моделирование и численная оценка долговечности радиальных рабочих колес турбомашин / О.В. Репецкий, Д.К. Хоанг // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Аэрокосмическая техника. – 2022. – № 69. – С. 53-61.
6. Репецкий, О.В. Математическое моделирование и численный анализ влияния толщины радиальных рабочих лопаток на долговечность энергетических турбомашин / О.В. Репецкий, Д.К. Хоанг // Информационные и математические технологии в науке и управлении. – 2023. – № 1(29). – С. 44-53.
7. Репецкий, О.В. Анализ преднамеренной расстройки параметров при изменении толщины радиальных лопаток турбомашин / О.В. Репецкий, Д.К. Хоанг // Вестник НГИЭИ. – 2022. – № 3 (130). – С. 7-23.
8. Beirow, B. Forced response reduction of a blisk by means of intentional mistuning / B. Beirow, A. Kühhorn, F. Figashevsky, A. Bornhorn, O. Repetckii // Proceed. of ASME Turbo Expo. – 2019. – № 1 (141). – GT2018- 76584. – 8 p.
9. Figaschewsky, F. Analysis of mistuned blade vibrations based on normally distributed blade individual natural frequencies / F. Figaschewsky, A. Kühhorn // ASME Paper. – 2015. – No. 1. – GT2015-43121. – V07BT32A020. – 13 p.
10. Kaneko, Y. Study on vibration characteristics of single crystal blade and directionally solidified blade/ Y. Kaneko// ASME Journal of Engineering for Gas Turbines and Power. – 2011. – Vol. 6. – pp. 931-940.
11. Markus, W. Automatic numerical analyses and optimization of operating maps applied to a radial compressor / W. Markus, E. Johannes, V. Oliver, L. Ralf // ASME Turbo Expo 2019: Turbomachinery Technical Conference and Exposition. – GT2019-91408. – V02DT46A014. – 12 p.
12. 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

13. Repetckii, O.V. Fatigue life of radial turbomachines at changing thickness blades taking into account intentional mistuning/ O.V. Repetckii, D.C. Hoang// E3S Web of Conferences. – 2022. – Vol. 363. – No. 1. – 9 p.

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. Kostyuk, A.G. Dinamika i prochnost' turbomashin [Dynamics and strength of turbomachines]. Moscow, 2007, 476 p.

3. Kogayev, V.P. et all. Raschety detaley mashin i konstruktsiy na prochnost' i dolgovechnost' [Calculations of machine parts and structures for strength and durability]. Moscow, 1985. 224 p.

4. Myachenkov, V.I. Raschety mashinostroitel'nykh konstruktsiy metodom konechnykh elementov [Calculations of machine-building structures by the finite element method]. Moscow, Mashinostroyeniye, 1989, 520 p.

5. Repetskiy, O.V., Hoang, D.K. Matematicheskoye modelirovaniye i chislennaya otsenka dolgovechnosti radial'nykh rabochikh koles turbomashin [Mathematical modeling and numerical evaluation of the durability of radial wheels turbomachines]. Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Aerokosmicheskaya tekhnika, 2022, no. 69, pp. 53-61.

6. Repetskiy, O.V., Hoang, D.K. Matematicheskoye modelirovaniye i chislennyy analiz vliyaniya tolshchiny radial'nykh rabochikh lopatok na dolgovechnost' energeticheskikh turbomashin [Mathematical modeling and numerical analysis of the influence of the thickness of radial working blades on the durability of power turbomachines]. Informatsionnyye i matematicheskiye tekhnologii v nauke i upravlenii, 2023, vol. 29, no. 1, pp. 44-53.

7. Repetskiy, O.V., Hoang, D.K. Analiz prednamerennoy rasstroyki parametrov pri izmenenii tolshchiny radial'nykh lopatok turbomashin [Analysis of intentional detuning of parameters when changing the thickness of radial blades of turbomachines]. Vestnik NGIEI, 2022, vol. 29, no. 1, pp. 7-23.

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: 13.09.2023

Поступила после рецензирования и доработки / Revised: 03.10.2023

Дата принятия к печати / Accepted: 05.10.2023

Сведения об авторах

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

Контактная информация: ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, 664038, Россия, Иркутская

Репецкий О.В., Хоанг Д.К. Численный анализ прочности от глубины нарезного канала ...

2023; 3 (48): 80-89 Электронный научно-практический журнал “Актуальные вопросы аграрной науки”
Electronic scientific-Practical journal “Actual issues of agrarian science”

область, Иркутский район, п. Молодежный, e-mail: repetckii@igsha.ru; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2560-2721>.

Хоанг Динь Кьонг – аспирант Иркутского государственного аграрного университета имени А.А. Ежевского.

Контактная информация: ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, 664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодежный, тел. +79996864113, e-mail: hoangcuonghd95@gmail.com.

Information about authors

Oleg V. Repetckii – 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: repetckii@igsha.ru; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2560-2721>.

Hoang Dinh Cuong – PhD-student of Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky.

Contact information: FSBEI HE Irkutsk SAU, 664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk district, Molodezhny, tel. 79996864113, e-mail: hoangcuonghd95@gmail.com.

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. **Внимание авторов, имеющих соавторов:** регистрационную форму заполняет основной контактный автор, остальные авторы указываются специальным списком в отдельном окне.
2. В электронной форме подачи статьи необходимо заполнить обязательные поля: “УДК”, “Название статьи”, “И.О. Фамилия автора”, “Название организации”, “Аннотация статьи”, “Ключевые слова”. Далее все поля дублируются на английском языке.
3. Текст статьи должен быть тщательно вычитан автором, который несет ответственность за научно-теоретический уровень публикуемого материала.

Структура статьи

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

Регистрация статей

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

Порядок рецензирования статей

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

Порядок рассмотрения статей

1. Представляя статью для публикации, автор тем самым выражает согласие на размещение полного ее текста в сети Интернет на официальных сайтах научной электронной библиотеки (www.elibrary.ru) и электронного научно-практического журнала “Актуальные вопросы аграрной науки” (<http://agronauka.igsha.ru>).
2. Статьи принимаются по установленному графику:
 - в № 1 (март) – до 1 января текущего года;
 - в № 2 (июнь) – до 1 апреля текущего года;

- в № 3 (сентябрь) – до 1 июня текущего года;
- в № 4 (декабрь) – до 1 сентября текущего года.

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

3. Поступившие статьи рассматриваются редакционным советом в течение месяца.

4. Редакционный совет правомочен отправить статью на дополнительное рецензирование.

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

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

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

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

Подробную информацию об оформлении статей можно получить по e-mail: *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) 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 3(48)

сентябрь

Технический редактор – Н.В. Спиридонова

Перевод – П.Г. Асалханов

Лицензия на издательскую деятельность

ЛР № 070444 от 11.03.98 г.

Дата выхода: 05.10.2023.

Усл. печ. л. 6.

Адрес редакции, издателя, типографии:

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