

электронный научно-практический журнал
ELECTRONIC SCIENTIFIC-PRACTICAL JOURNAL

актуальные вопросы аграрной науки

ACTUAL ISSUES
OF AGRARIAN SCIENCE

выпуск 1(54)
март
VOLUME 1 (54)
MARCH

ISSN: 2411-6483

МОЛОДЁЖНЫЙ 2025



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

2025 Выпуск 1(54)

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

2025 Volume 1(54)

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

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

Учредитель: ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ.

DOI 10.51215/2411-6483-2025-54

Электронный научно-практический журнал “Актуальные вопросы аграрной науки”, 2025, выпуск 1(54), март.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Статьи проверены с использованием Интернет-сервиса “Антиплагиат”.

Учредитель – ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ.

ISSN 2411-6483

Electronic scientific-Practical journal “Actual issues of agrarian science”, 2025, issue 1(54), March.
It is edited under the decision of the Scientific Council of the Irkutsk State Academy of Agriculture since November, 2011.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Certificate 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

<i>Абросимов А.В., Васильев Ф.А.</i> Метантенк с комбинированным возмущением	8
<i>Сертакова Н.А., Федоринова Э.С., Якупова М.А.</i> Оценка влияния светодиодных фитоизлучателей на качество электрической энергии	17
<i>Черных А.Г.</i> Уравнение движения воды в радиальном канале вращающегося рассекателя дождевателя	26
<i>Шистеев А.В., Бураев М.К.</i> Методика восстановления работоспособности подшипников скольжения коленчатых валов ДВС транспортно-технологических машин	34

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА, УПРАВЛЕНИЕ, МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

<i>Гаврилова Н.Г.</i> Нигерия: аграрный гигант Африки в эпоху цифровизации	43
<i>Грачева Н.Н., Токарева А.Н., Чайка Д.С., Зайцев Я.Н.</i> Использование мультикритериального метода для выбора конструкций систем энергообеспечения	54
<i>Иванько Я.М., Петрова С.А.</i> О системе поддержки принятия решений для прогнозирования и планирования аграрного производства	64
<i>Репецкий О.В., Хон Ир Ким</i> Математическое моделирование и численный анализ статических и динамических характеристик рабочих лопаток паровых турбин с повреждениями в виде трещин	75

CONTENS

MECHANIZATION, ELECTRIFICATION, AGRO-ENGINEERING SYSTEMS

<i>Abrosimov A.V., Vasilev F.A.</i> Methane tank with combined disturbance	8
<i>Sertakova N.A., Fedorinova E.S., Yakupova M.A.</i> Assessment of the influence of led phytoemissories on the quality of electrical energy	17
<i>Chernykh A.G.</i> Equation of water motion in the radial channel of a rotating sprayer diffuser	26
<i>Shisteev A.V., Buraev M.K.</i> Method of restoring the performance of crankshaft bearings of internal combustion engines of transport and technological machines	34

INFORMATICS, COMPUTER ENGINEERING, MANAGEMENT, MATHEMATICAL MODELING

<i>Gavrilova N.G.</i> Nigeria: the agrarian giant of Africa in the era of digitalization	43
<i>Gracheva N.N., Tokareva A.N., Chaika D.S., Zaytsev Ya.N.</i> Using the multicriteria method for selecting power supply system designs	54
<i>Ivanyo Ya.M., Petrova S.A.</i> About the decision support system for forecasting and planning agricultural production	64
<i>Repetskii O.V., Il Kim Hong</i> Mathematical modeling and numerical analysis of static and dynamic characteristics of steam turbine blades with damage in the form of cracks	75



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

DOI 10.51215/2411-6483-2025-54-8-16
УДК 631.338.92

Научная статья

МЕТАНТЕНК С КОМБИНИРОВАННЫМ ВОЗМУЩЕНИЕМ

А.В. Абросимов, Ф.А. Васильев

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

Аннотация. Производство продукции животноводства сопровождается выходом побочной продукции, в перечень которой входят: навоз животных, животноводческие стоки, помёт птицы. Большое количество и экологическая опасность такой продукции создают условия обязательной её переработки. Одним из перспективных способов переработки побочной продукции животноводства является технология анаэробного сбраживания высоковлажных органосодержащих субстратов в специализированных установках – анаэробных фильтрах. Анаэробное сбраживание представляет собой многоступенчатый процесс, осуществляющийся при участии различных микроорганизмов и протекающий изолированно от окружающей среды. В результате анаэробного сбраживания органические вещества разлагаются с образованием биогаза – смеси метана, углекислого газа и незначительного количества других газов, и эффлюента – дезодорированного и девитализированного органического удобрения. Для повышения эффективности технологии анаэробного сбраживания необходимо поддерживать технологические условия развития метанобразующих бактерий и обеспечивать своевременную подачу питательного вещества и отвод продуктов жизнедеятельности микроорганизмов. Добиться этого можно многими способами, в том числе и применением гидродинамических возмущений. Именно для этого разработана автоматизированная конструкция анаэробного фильтра с комбинированным возмущением, которая позволяет осуществить три вида гидродинамических возмущений: 1) изменения давления в анаэробном фильтре; 2) барботажное перемешивание субстрата потоком биогаза; 3) слив отработанного субстрата. Система автоматического управления позволит осуществить контроль над технологическим процессом анаэробного сбраживания, и, при необходимости, обеспечить оперативное его регулирование. Кроме того, в предложенной конструкции анаэробного фильтра возможно осуществить перемешивание субстрата выделяемым в процессе сбраживания биогазом, и тем самым получить дополнительный экономический эффект за счёт снижения затрат энергии.

Ключевые слова: анаэробное сбраживание, биогаз, субстрат, анаэробный фильтр, комбинированное возмущение.

Для цитирования: Абросимов А.В., Васильев Ф.А. Метантенк с комбинированным возмущением. *Электронный научно-практический журнал “Актуальные вопросы аграрной науки”*. 2025; 1(54):8-16. DOI: 10.51215/2411-6483-2025-54-8-16.

METHANE TANK WITH COMBINED DISTURBANCE

Alexander V. Abrosimov, Filipp A. Vasilev

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

Abstract. Livestock production is accompanied by the release of by-products, which include: animal manure, livestock wastewater, poultry droppings. A large amount and environmental hazard of such products create conditions for their mandatory processing. One of the promising methods for processing by-products of livestock farming is the technology of anaerobic fermentation of highly humid organ-containing substrates in specialized units - anaerobic filters. Anaerobic fermentation is a multi-stage process carried out with the participation of various microorganisms and proceeds in isolation from the environment. As a result of anaerobic digestion, organic substances decompose to form biogas — a mixture of methane, carbon dioxide and a small amount of other gases, and effluent — deodorized and devitalized organic fertilizer. To improve the efficiency of anaerobic digestion technology, it is necessary to maintain technological conditions for the development of methane-forming bacteria and ensure timely supply of nutrients and removal of microorganism waste products. This can be achieved in many ways, including the use of hydrodynamic disturbances. It is for this purpose that an automated design of an anaerobic filter with a combined disturbance has been developed, which allows for three types of hydrodynamic disturbances: 1) pressure changes in the anaerobic filter; 2) bubbling mixing of the substrate with a biogas flow; 3) draining of the spent substrate. The automatic control system will allow monitoring the technological process of anaerobic digestion and, if necessary, ensuring its prompt regulation. In addition, in the proposed design of the anaerobic filter, it is possible to mix the substrate with biogas released during the fermentation process, and thereby obtain an additional economic effect due to the reduction of energy costs.

Keywords: anaerobic fermentation, biogas, substrate, anaerobic filter, combined disturbance.

For citation: Abrosimov A.V., Vasilev F.A. Methane tank with combined disturbance. *Electronic scientific-practical journal “Actual issues of agrarian science”*. 2025; 1(54):8-16. DOI: 10.51215/2411-6483-2025-54-8-16.

Введение. Анаэробное сбраживание органосодержащих субстратов является одним из наиболее перспективных направлений развития биоэнергетического комплекса. Оно представляет собой многоступенчатый процесс, осуществляющийся при участии различных микроорганизмов и протекающий изолированно от окружающей среды. В результате анаэробного сбраживания органические вещества разлагаются с образованием биогаза – смеси метана, углекислого газа, незначительного количества других газов и эффлюента – дезодорированного и девитализированного органического удобрения [4, 5, 8, 9, 10].

Целью работы является разработка конструкции анаэробного фильтра с улучшенными эксплуатационными свойствами.

Материалы и методы. Технологический процесс анаэробного сбраживания осуществляется в специализированных установках –

анаэробных фильтрах. Нами предлагается конструкция анаэробного фильтра с комбинированным возмущением [7] (рис. 1).

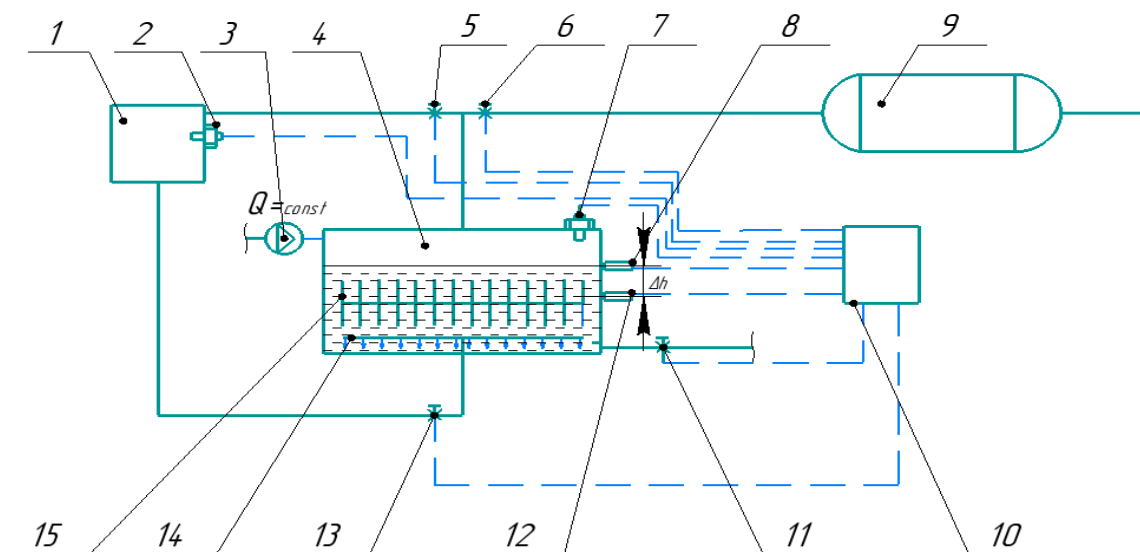


Рисунок 1 – Установка для анаэробной переработки животноводческих стоков (Патент № 2809614 [7])

Figure 1 – Plant for anaerobic processing of livestock waste (Patent No. 2809614 [7])

Установка состоит из буферной ёмкости 1, датчика 2 давления в буферной ёмкости 1, насоса 3 для подачи животноводческих стоков, метантенка 4, клапана 5 подачи газа в буферную ёмкость 1, газгольдера 9, клапана 6 подачи газа в газгольдер 9, датчика 7 давления в полости метантенка 4, датчика 8 верхнего уровня, контроллера 10, датчика 11 нижнего уровня, вентиля 12 слива отработанного субстрата, перфорированной трубы 14, клапана 13 подачи газа в перфорированную трубу 14, иммобилизатора 15. Основным конструктивным элементом установки является метантенк 4, который представляет собой горизонтальную теплоизолированную емкость, внутри которой расположены иммобилизатор 15, а также перфорированная труба 14. Буферная ёмкость 1 служит для увеличения газового объема метантенка 4 и соединена с ним на входе, а на выходе она соединена с перфорированной трубой 14. Из системы биогаз отводится в газгольдер 9. Отработанный субстрат из системы сливается через вентиль 12 слива отработанного субстрата.

Принцип работы установки заключается в следующем. Установка для анаэробной переработки животноводческих стоков работает в циклическом режиме – заполнение и опорожнение [1, 6, 7]. Работа, выведенной на технологический режим установки, начинается с цикла заполнения (рис. 2).

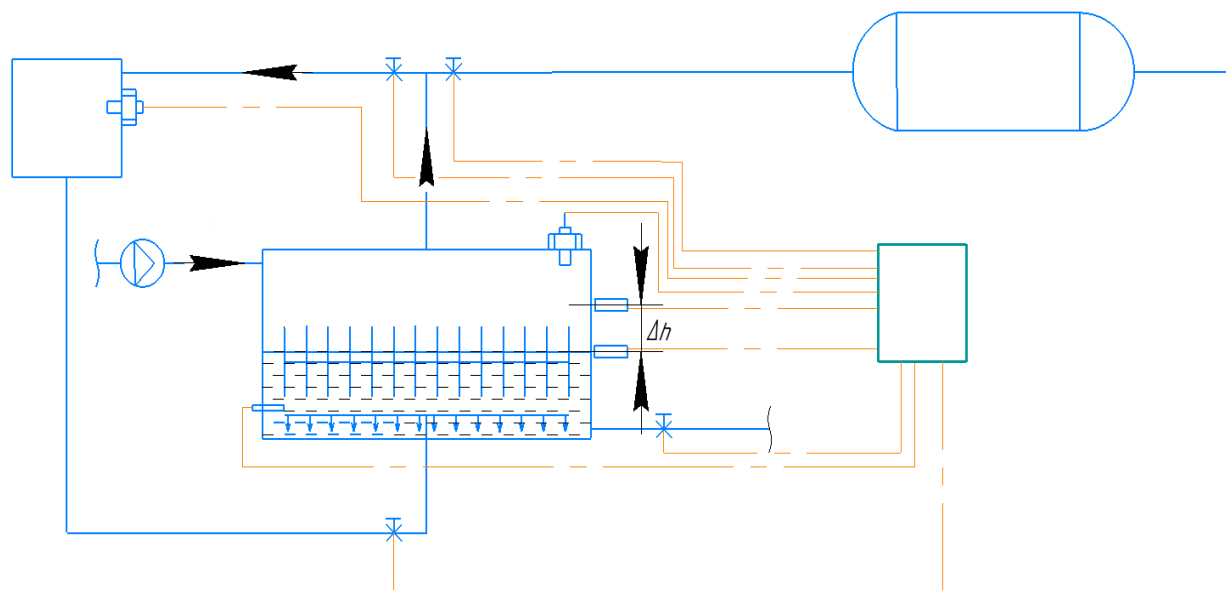


Рисунок 2 – Фаза заполнения анаэробного фильтра с комбинированным возмущением

Figure 2 – Filling phase of anaerobic filter with combined disturbance

Клапан 5 подачи газа в буферную ёмкость 1 открыт. Клапан 6 подачи газа в газгольдер 9 и клапан 13 подачи газа из буферной ёмкости 1 в перфорированную трубу 14 закрыты. Животноводческие стоки с постоянной подачей, которую обеспечивает насос 3, поступают в метантенк 4, заполняя его рабочее пространства и увеличивая свободную поверхность колебания. В рабочем объёме метантенка 4 происходит сбраживание животноводческих стоков с выделением биогаза, который накапливается в газовом объёме метантенка 4 и буферной ёмкости 1, давление в системе возрастает.

По достижению стоками верхнего уровня свободной поверхности колебания жидкости в ёмкости метантенка 4 заканчивается фаза ее заполнения и начинается фаза опорожнения (рис. 3): датчик 8 верхнего уровня подаёт сигнал контроллеру 10, который подаёт сигнал на исполнительные механизмы, клапан 5 подачи газа в буферную ёмкость 1 закрывается, клапан 6 подачи газа в газгольдер 9 открывается. Так как давление в газгольдере 9 меньше, чем давление в метантенке 4, биогаз из метантенка 4 перемещается в газгольдер 9.

Уменьшение давления на свободную поверхность способствует активному выделению биогаза из раствора субстрата (стоков). Всё это представляет собой первое гидродинамическое возмущение, путём изменения давления.

По истечении времени, заданного в программе управления, на первое гидродинамическое возмущение контроллер 10 подаёт сигнал открыть клапан 13 подачи газа из буферной ёмкости 1 в перфорированную трубу 14, которая размещена в нижней части метантенка 4. Биогаз из буферной ёмкости 1 через перфорированную трубу 14 поступает в нижнюю часть

метантенка 4, где поднимает осевшую взвесь со дна реактора и преодолевая сопротивление субстрата скапливается в газгольдере 9. Этот процесс представляет собой второе гидродинамическое возмущение – барботажное перемешивание (рис. 4).

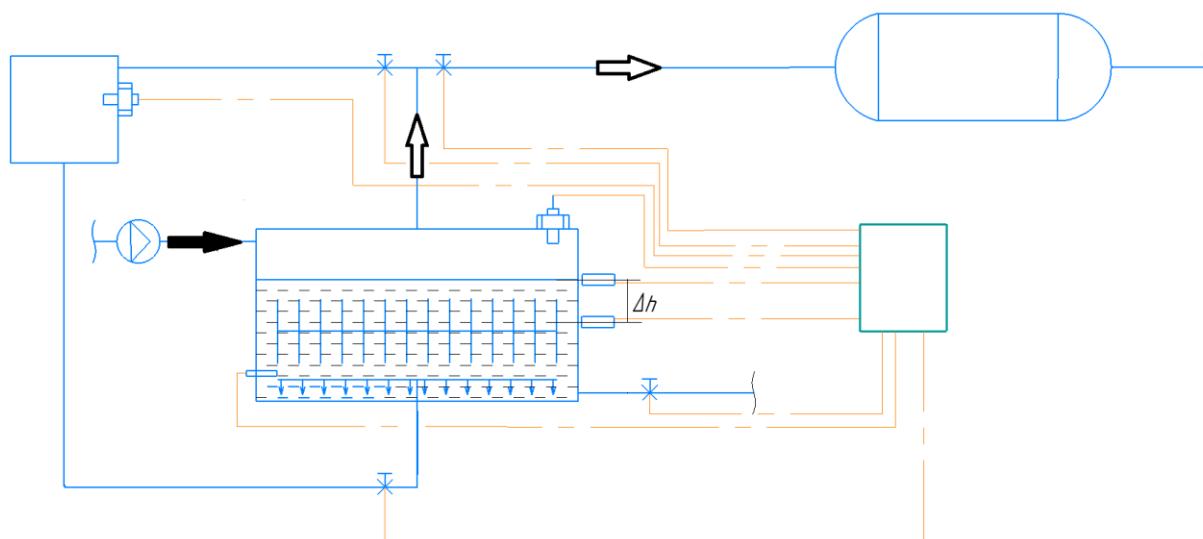


Рисунок 3 – Первое гидродинамическое возмущение (выделение биогаза растворённого в субстрате за счёт изменения давления)

Figure 3 – The first hydrodynamic disturbance (release of biogas dissolved in the substrate due to pressure change)

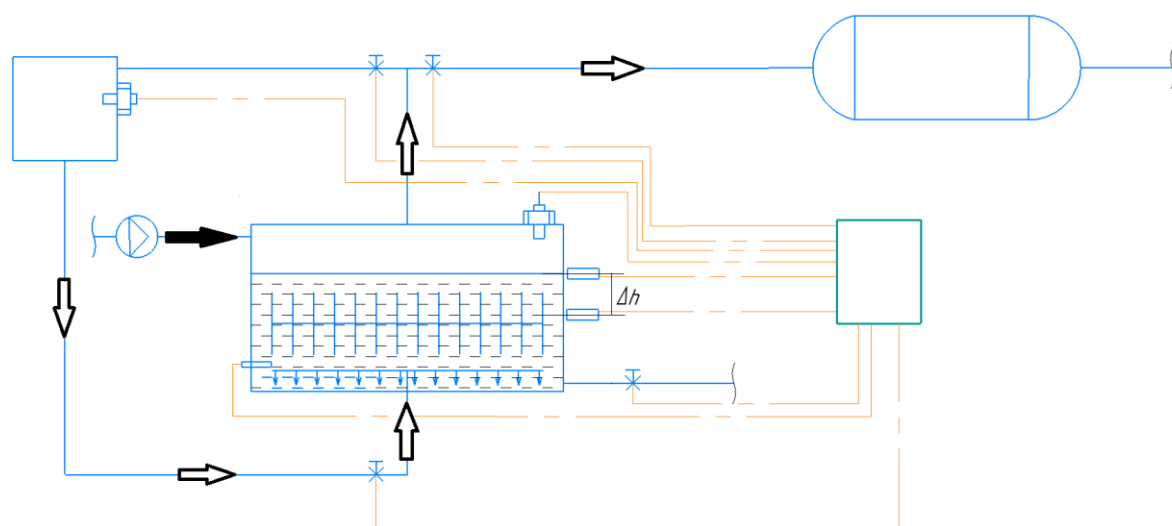


Рисунок 4 – Второе гидродинамическое возмущение (барботажное перемешивание)

Figure 4 – Second hydrodynamic disturbance (bubbling mixing)

Важно отметить, что для осуществления барботажного перемешивания энергией биогаза объём анаэробного фильтр не менее чем в 10 раз должен превышать объём буферной ёмкости.

После выдержки времени, отведённого на барботажное перемешивание, контроллер 10 подаёт команду на открытие сливного вентиля 11. Ёмкость метантенка 4 опорожняется. Это представляет собой третье гидродинамическое возмущение, осуществляемое путём изменения скорости движения субстрата (рис. 5).

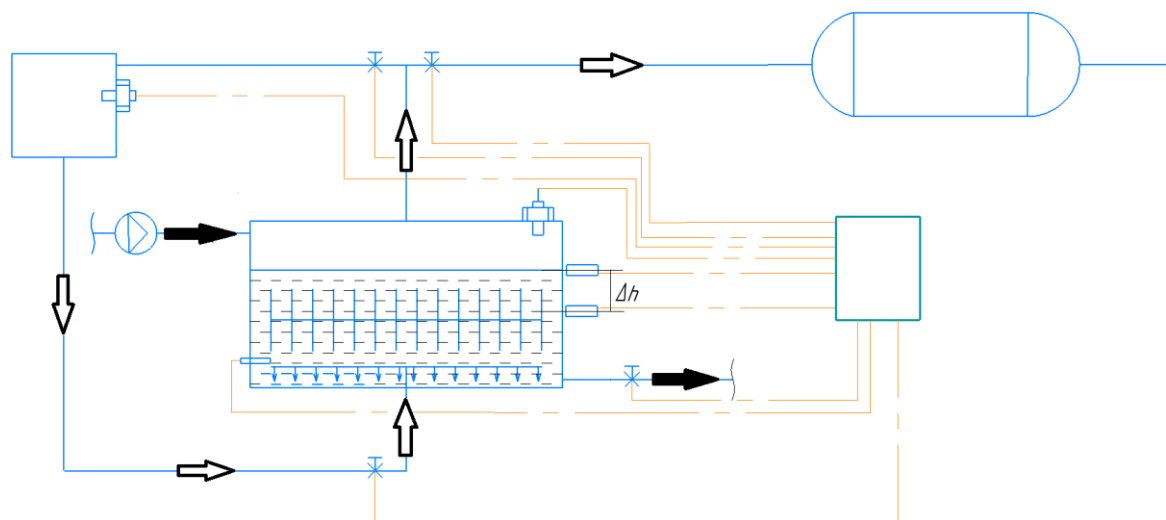


Рисунок 5 – Третье гидродинамическое возмущение (слив отработанного субстрата)

Figure 5 – Third hydrodynamic disturbance (drainage of spent substrate)

Последовательное применение гидродинамических возмущений снижает риск забивания и заиливания рабочего пространства метантенка [2, 6, 7]. При интенсивном газовыделении в процессе заполнения метантенка первое и второе гидродинамическое возмущение можно осуществить несколько раз. Для этого установка оснащена двумя датчиками давления, первый – в буферной ёмкости, второй – в метантенке. Для установки в программе управления задан максимальный предел давления. По достижению этого лимита контролер подаёт сигнал на исполнительные механизмы, осуществляя первое и второе гидродинамическое возмущение, по схеме описанной ранее. Так как датчик уровня 8 не сигнализирует о заполнении метантенка, третье гидродинамическое возмущение не осуществляется, продолжается цикл заполнения [1].

Выводы. Предложена установка для анаэробной переработки животноводческих стоков с улучшенными эксплуатационными свойствами. Она имеет автоматизированную конструкцию, что упрощает работу оператора, так как за счёт внедрения системы автоматического управления осуществляется контроль над технологическим процессом анаэробного сбраживания и оперативное его регулирование. Кроме того, наличие

буферной ёмкости 1 позволяет осуществить процесс перемешивания субстрата за счёт выделяемого в процессе сбраживания биогаза, что в свою очередь позволяет экономить энергию.

Список литературы

1. Абросимов, А.В. Автоматизация технологических процессов при анаэробном сбраживании / А.В. Абросимов, А.И. Баландин, В.К. Евтеев, Ф.А. Васильев // Научные исследования и разработки к внедрению в АПК: Матер. всерос. студ. научно-практ. конф., Иркутск, 17–18 марта 2022 года. – Молодежный: Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2022. – С. 333-340. – EDN YDUWGN.
2. Евтеев, В.К. Возможность перемешивания субстрата потоком газа в анаэробных установках / В.К. Евтеев, Ф.А. Васильев // Вестник ИрГСХА. – 2010. – № 38. – С. 58-65.
3. Курманов, А.К. Совершенствование технологии производства биогаза / А.К. Курманов // Вестник ВНИИМЖ. – 2014. – № 3. – С. 170-177.
4. Пальвинский, В.В. Методы обработки органосодержащего сырья перед анаэробным сбраживанием / В.В. Пальвинский, Ф.А. Васильев, В.К. Евтеев // Инженерные технологии и системы. – 2022. – Т. 32, № 1. – С. 10-27. – DOI 10.15507/2658-4123.032.202201.010-027. – EDN WOXOTJ.
5. Панцхава, Е.С. Биоэнергетика. Мир и Россия. Биогаз: Теория и практика: монография / Е.С. Панцхава. — М.: Издательство “Русайнс”, 2014. — 972 с.
6. Патент № 2678673 С1 Российская Федерация, МПК C02F 11/04, C02F 3/28. Установка для анаэробного сбраживания: № 2017132640: заявл. 18.09.2017: опубл. 30.01.2019 / М.П. Таханов, Ф.А. Васильев, С.Н. Ильин, В.К. Евтеев; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского".
7. Патент № 2809614 С1 Российская Федерация, МПК C02F 3/28, C02F 11/04. Установка для анаэробной переработки животноводческих стоков: № 2022116069: заявл. 14.06.2022: опубл. 13.12.2023 / А.В. Абросимов, Ф.А. Васильев, В.К. Евтеев; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского". – EDN IQYJEL.
8. Семененко, И.В. Оборудование и процессы метанового сбраживания органических отходов: монография / И.В. Семененко, М.Г. Зинченко. – Харьков: Підручник НТУ “ХПІ”, 2012. – 272 с.
9. Innovative organic waste pretreatment approach for efficient anaerobic bioconversion: Effect of recirculation ratio at pre-processing in vortex layer apparatus on biogas production / A.A. Kovalev, D.A. Kovalev, J.V. Karaeva [et al.] // International Journal of Hydrogen Energy. – 2024. – vol. 53. – pp. 208-217. – DOI 10.1016/j.ijhydene.2023.12.044. – EDN EBCBJS.
10. Utilization of agricultural residues for energy and resource recovery towards a sustainable environment / P. Talwar, A. Upadhyay, N. Verma [et al.] // Environmental Science and Pollution Research. – 2023. – DOI 10.1007/s11356-023-29500-x. – EDN FRAOAC.

References

1. Abrosimov, A.V. et al. Avtomatizaciya tekhnologicheskikh processov pri anaerobnom sbrazhivanii [Automation of technological processes in the agro-industrial complex]. Irkutsk, 2022, pp. 333-340. – EDN YDUWGN.
2. Evteev, V.K., Vasilyev, F.A. Vozmozhnosti peremishirovaniya substratea potokom gaza v anaerobnykh ustanovykh [Possibility of mixing substrate with gas flow in anaerobic installations]. Vestnik IrGSKHA, 2010, no. 38, pp. 58-65.

3. Kurmanov, A.K. Sovershenstvovanie tekhnologii proizvodstva biogaza [Improvement of biogas production technology]. Vestnik VNIIMZH, 2014, no. 3, pp. 170-177.

4. Palvinskiy, V.V. et al. Inzhenernye tekhnologii i sistemy [Engineering technologies and systems]. Inzhenernye tekhnologii i sistemy, 2022, vol. 32, no 1, pp. 10-27. – DOI 10.15507/2658-4123.032.202201.010-027. – EDN WOXOTJ.

5. Pantskhava, E.S. Bioenergetika. Mir i Rossiya. Biogaz: Teoriya i praktika [Bioenergetics. The World and Russia. Biogas: Theory and Practice]. Moscow: Izdatel'stvo “Rusajns”, 2014, 972 p.

6. Patent No 2678673 C1 Russian Federation, IPC C02F 11/04, C02F 3/28. Plant for anaerobic digestion : No 2017132640: application. 18.09.2017 : publ. 30.01.2019 / M.P. Takhanov, F.A. Vasilyev, S.N. Ilyin, V.K. Evteev; applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Ezhevsky".

7. Patent No 2809614 C1 Russian Federation, IPC C02F 3/28, C02F 11/04. Plant for anaerobic processing of livestock wastewater : No 2022116069 : application. 14.06.2022 : publ. 13.12.2023 / A.V. Abrosimov, F.A. Vasilyev, V.K. Evteev; applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Ezhevsky". – EDN IQYJEJ.

8. Semenenko, I.V., Zinchenko, M.G. Oborudovanie i processy metanovogo sbrazhivaniya organicheskikh othodov [Equipment and processes of methane fermentation of organic waste]. Kharkov: Pidruchnik NTU “HPI”, 2012, 272 p.

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: 12.03.2025

Поступила после рецензирования и доработки / Received: 25.03.2025

Дата принятия к печати / Accepted: 31.03.2025

Сведения об авторах

Абросимов Александр Викторович – учебный мастер кафедры технического обеспечения агропромышленного комплекса. Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского.

Контактная информация: ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, 664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодёжный, тел. 89025782050, e-mail: Abrosimov_1998@inbox.ru. ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0007-1485-4946>.

Васильев Филипп Александрович – кандидат технических наук, заведующий кафедрой технического обеспечения агропромышленного комплекса. Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского.

Контактная информация: ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, 664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодёжный, тел: 89246215515, e-mail: fvasiljiev@yandex.ru. ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-2875-1573>.

Information about the authors:

Alexander V. Abrosimov – Training master of the department of technical support of the agro-industrial complex. Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Ezhevsky.

Contact information: FSBEI HE Irkutsk SAU, 664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk district, Molodezhny, tel. 89025782050, e-mail: Abrosimov_1998@inbox.ru. ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0007-1485-4946>.

Filipp A. Vasilev – Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Technical Support of the Agro-Industrial Complex. Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Ezhevsky.

Contact information: FSBEI HE Irkutsk SAU, 664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk district, Molodezhny, tel. 89246215515, e-mail: fvasiljiev@yandex.ru. ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-2875-1573>.



DOI 10.51215/2411-6483-2025-54-17-25

УДК 628.987

Научная статья

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СВЕТОДИОДНЫХ ФИТОИЗЛУЧАТЕЛЕЙ НА КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Н.А. Сертакова, Э.С. Федоринова, М.А. Якупова

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

Аннотация. Известно, что светодиодные излучатели являются нелинейными элементами, которые оказывают отрицательное воздействие на форму тока и напряжения вследствие нелинейных возмущений. Данная статья описывает влияние светодиодных фитоизлучателей на показатели качества электрической энергии с точки зрения генерации высокочастотных гармоник тока и напряжения. Опытным путем получены экспериментальные данные о генерации гармоник тока и напряжения группой излучателей GREENROOTS серии МАК-5WH-43W с белым спектром излучения общей мощностью 850 Вт и светодиодным фитосветильником с электромагнитным излучением в диапазоне 395-660 нм мощностью 200 Вт. В процессе исследований регистрировались коэффициенты гармонических искажений напряжения (THD_U) и тока (THD_I) относительно основной гармоники. По результатам измерений построены осциллограммы, графики гармонических составляющих тока и напряжения. Зафиксировано, что форма волны колебаний токов у светодиодного фитосветильника имеет нехарактерные искажения, а значение коэффициента гармонических искажений тока почти в 9 раз выше, чем у группы излучателей серии МАК-5WH-43W. Средние значения коэффициента гармонических искажений напряжения относительно основной гармоники для группы излучателей серии МАК-5WH-43W и светодиодного фито светильника составили 6.40% и 6.51% соответственно, что не превышает нормы, установленные ГОСТ 32144-2013. Однако в нейтральном проводнике зафиксировано наличие всех нечетных гармоник до 39. Значение коэффициента искажения тока от 145% до 150% приводит к возникновению скин-эффекта, эквивалентному увеличению сопротивления проводника, нагреву и увеличению дополнительных потерь мощности в электрической сети.

Ключевые слова: качество электрической энергии, несинусоидальность напряжения, светодиодный фитоизлучатель.

Для цитирования: Сертакова Н.А., Федоринова Э.С., Якупова М.А. Оценка влияния светодиодных фитоизлучателей на качество электрической энергии. *Электронный научно-практический журнал “Актуальные вопросы аграрной науки”*. 2025; 1(54):17-25. DOI 10.51215/2411-6483-2025-54-17-25.

ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF LED PHYTOEMISSORIES ON THE QUALITY OF ELECTRIC ENERGY

Natalia A. Sertakova, Elvira S. Fedorinova, Marina A. Yakupova

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

Abstract. It is known that LED emitters are nonlinear elements that have a negative effect on the shape of the current and voltage due to nonlinear disturbances. This article describes the influence of LED phytoemitters on the quality of electrical energy in terms of the generation of high-frequency harmonics of current and voltage. Experimental data on the generation of current and voltage harmonics by a group of GREENROOTS emitters of the MAK-5WH-43W series with a white emission spectrum of a total power of 850 W and a LED phytolamp with electromagnetic radiation in the range of 395-660 nm with a power of 200 W were obtained empirically. During the research, the harmonic distortion coefficients of voltage (THDU) and current (THDI) relative to the fundamental harmonic were recorded. Based on the measurement results, oscillograms and graphs of harmonic components of current and voltage were constructed. It was recorded that the waveform of current oscillations in the LED phytolamp has atypical distortions, and the value of the harmonic distortion coefficient of the current is almost 9 times higher than that of the group of emitters of the MAK-5WH-43W series. The average values of the harmonic distortion coefficient of voltage relative to the fundamental harmonic for the group of emitters of the MAK-5WH-43W series and the LED phyto lamp were 6.40% and 6.51%, respectively, which does not exceed the standards established by GOST 32144-2013. However, the neutral conductor recorded the presence of all odd harmonics up to 39. The value of the current distortion coefficient from 145% to 150% leads to the occurrence of a skin effect, equivalent to an increase in the resistance of the conductor, heating and an increase in additional power losses in the electrical network.

Keywords: quality of electrical energy, non-sinusoidal voltage, LED phyto emitter.

For citation: Sertakova N.N., Fedorinova E.S., Yakupova M.A. Assessment of the influence of led phytoemissories on the quality of electrical energy. *Electronic scientific-Practical journal "Actual issues of agrarian science"*. 2025; 1(54):17-25. DOI 10.51215/2411-6483-2025-54-17-25.

Введение. Светодиодные излучатели являются перспективными источниками света для выращивания растений [7, 10]. Однако излучатели на основе светодиодов являются нелинейными элементами, которые оказывают отрицательное влияние на форму тока и напряжения вследствие нелинейных возмущений, связанных с генерацией подобными устройствами дополнительных гармоник, частота которых, как правило, кратна частоте питающего напряжения $f = 50$ Гц.

Наличие гармонических составляющих тока и напряжения ухудшает качество электрической энергии, а уровень дополнительных потерь от несинусоидальности тока в питающих электрических сетях при передаче и распределении электрической энергии составляют 2.5-3% от всей генерируемой мощности [3, 8, 9].

В работах [5, 6] показаны результаты сравнительного анализа влияния светодиодных излучателей и дугоразрывных ламп на гармонический состав тока. По результатам исследований установлено, что суммарный коэффициент гармонических составляющих тока светодиодного фитосветильника в 1,4 раза больше, чем у дугоразрывных ламп. Научная статья [3] содержит данные о влиянии различного числа однотипных светодиодных светильников на третью и пятую гармоники напряжения, из которых следует, что при увеличении количества светильников значения гармоник уменьшаются. Установлено, что светодиодные излучатели снижают коэффициент мощности и энергоэффективность электрической сети [4].

Исследования [5] показали, что суммарные коэффициенты гармонических составляющих тока в точке питания источников света со светодиодными лампами не соответствуют требованиям ГОСТ 30804.3.2-2013 (IEC 61000-3-2:2009), а увеличение доли осветительной нагрузки такого характера значительно влияет на несинусоидальность напряжения.

Однако полного и комплексного исследования влияния светодиодных светильников и фитоизлучателей на показатели качества электрической энергии, характеризующего несинусоидальность токов и напряжений, в научной литературе не представлено. Поэтому данная тема весьма актуальна для дальнейших исследований.

В связи с этим **целью** данной работы является оценка влияния светодиодных фитоизлучателей на показатели качества электрической энергии, характеризующие несинусоидальность токов и напряжений.

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

- измерить показатели качества электрической энергии, характеризующие несинусоидальность токов и напряжений;
- проанализировать гармонический состав в электрической сети с подключенными светодиодными фитоизлучателями;
- сравнить полученные показатели качества электрической энергии и гармонический состав в линиях электрической сети с различными светодиодными фитоизлучателями.

Материалы и методы. Объект исследования – группа светодиодных излучателей с полным спектром излучения GREENROOTS серии МАК-5WH-43W общей мощностью 850 Вт и светодиодный фитосветильник с электромагнитным излучением в диапазоне 395-660 нм, мощностью 200 Вт (рис.1а, 1б).

Измерения осуществлялись анализатором качества электрической энергии Sonel PQM-701, который в режиме реального времени позволяет просматривать исследуемые параметры электрической сети на ПК (рис. 1с). Обработка измерений выполнялась с помощью программы анализа данных Sonel Analysis.

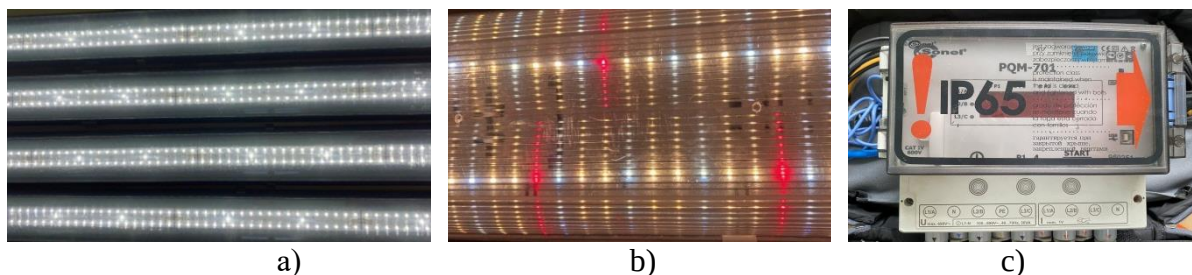


Рисунок 1 – Внешний вид: а) группа излучателей серии MAK-5WH-43W; б) светодиодный фитосветильник; в) анализатор качества Sonel

Figure 1 – Appearance: a) group of emitters of the MAK-5WH-43W series; б) LED phyto lamp; c) Sonel quality analyzer

Анализатор качества регистрировал коэффициент гармонических искажений напряжения (THD_U) и коэффициент искажения тока (THD_I) относительно основной гармоники (%) [1, 2]:

$$THD_U = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^n U_h^2}}{U_1} \cdot 100\%; \quad THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^n I_h^2}}{I_1} \cdot 100\% \quad (1)$$

где U_h, I_h – действующее значение гармоники h -го ряда; U_1, I_1 – действующее значение напряжения и тока основной составляющей гармоники.

Стандарт требует оценивать весь ряд гармонических составляющих от 2-й до 40-й. [1, 2].

Основные результаты. Результаты измерений представлены осциллограммами изменения токов и напряжений в режиме реального времени (рис. 2). Как видно, форма волны колебаний токов у светодиодного фитосветильника имеет нехарактерные искажения, которые создаются гармоническими составляющими тока.

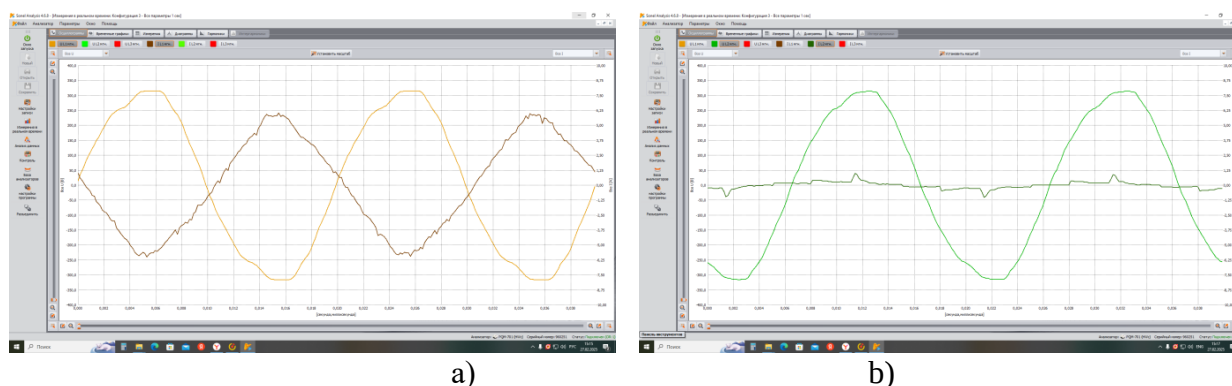


Рисунок 2 – Окно программы Sonel Analysis “Осциллограмма изменения токов и напряжений в режиме реального времени”: а) группа излучателей серии MAK-5WH-43W; б) светодиодный фитосветильник

Figure 2 – Sonel Analysis program window “Oscillogram of current and voltage changes in real time”: a) group of emitters of the MAK-5WH-43W series; б) LED phyto lamp

На рисунке 3 представлен график гармонических составляющих тока исследуемых светодиодных излучателей (рис. 3а) и фитосветильника (рис. 3б).

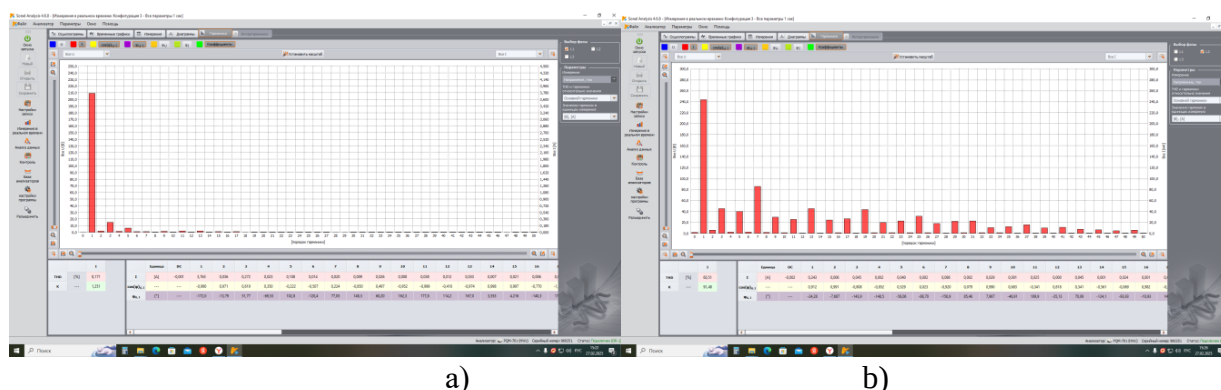


Рисунок 3 – Окно программы Sonel Analysis “Графики гармонических составляющих тока в процентах”: а) группа излучателей серии МАК-5WH-43W; б) светодиодный фитосветильник

Figure 3 – Sonel Analysis program window “Graphs of harmonic components of current in percentage”: а) group of emitters of the MAK-5WH-43W series; б) LED phyto lamp

Рисунок 3б показывает наличие всех нечетных гармоник тока до 39-й гармоники включительно. При этом выявлено преобладание гармоник тока 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19, 23, 25, 29 и 31 у светодиодного фито светильника.

У группы светодиодных излучателей серии МАК-5WH-43W наблюдается наличие нечетных гармоник тока 3, 5-го порядка и в незначительной степени 9, 11 и 13-го порядка.

Среднее значение коэффициента искажения тока THD_I для группы излучателей серии МАК-5WH-43W составило 7.67% (максимальное значение коэффициента – 8.54%), а для светодиодного фито светильника – 67.85% (максимальное значение – 77.45%).

На рисунке 4 представлен график гармонических составляющих напряжения, исследуемых светодиодных излучателей (рис. 4а) и фитосветильника (рис. 4б). У группы излучателей серии МАК-5WH-43W и светодиодного фито светильников в незначительной степени преобладают гармоники 3-го порядка.

Среднее значение коэффициента гармонических искажений напряжения (THD_U) относительно основной гармоники для группы излучателей серии МАК-5WH-43W составило 6.40% (максимальное значение коэффициента – 6.63%), а для светодиодного фитосветильника – 6.51% (максимальное значение – 6.87%). Полученные значения THD_U не выходят за пределы допустимых значений (8%), установленных стандартом [1].

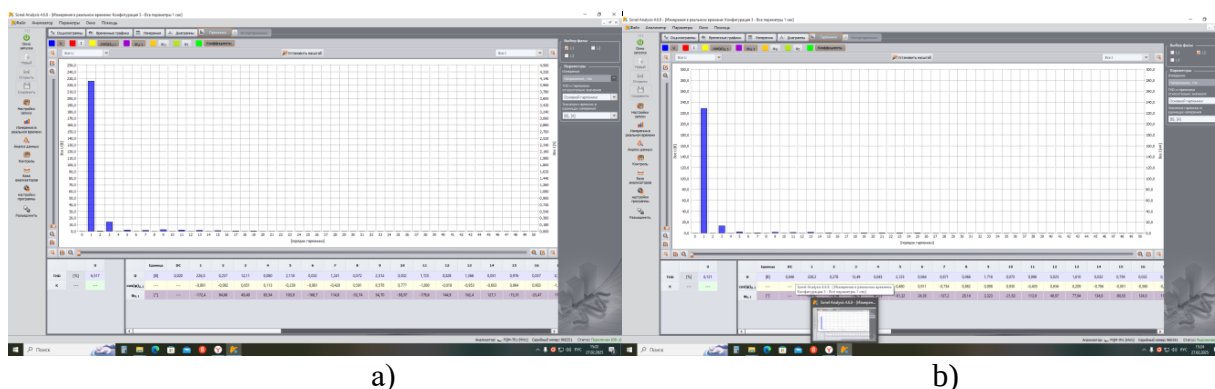


Рисунок 4 – Окно программы Sonel Analysis “Графики гармонических составляющих напряжения в процентах”: а) группа излучателей серии MAK-5WH-43W; б) светодиодный фитосветильник

Figure 4 – Sonel Analysis program window “Graphs of harmonic components of voltage in percentage” а) group of emitters of the MAK-5WH-43W series; б) LED phyto lamp

В нейтральном проводнике зафиксировано наличие нечетных гармоник (рис. 5), а значение коэффициента THD_I изменяется от 145 до 150%, что в 18 раз и 2 раза выше, чем в линиях с излучателями серии MAK-5WH-43W и фитосветильником соответственно.

Следует отметить, что в качестве нагрузки в третью фазу включалась лампа накаливания, которая не вносит искажения в форму тока и напряжения.

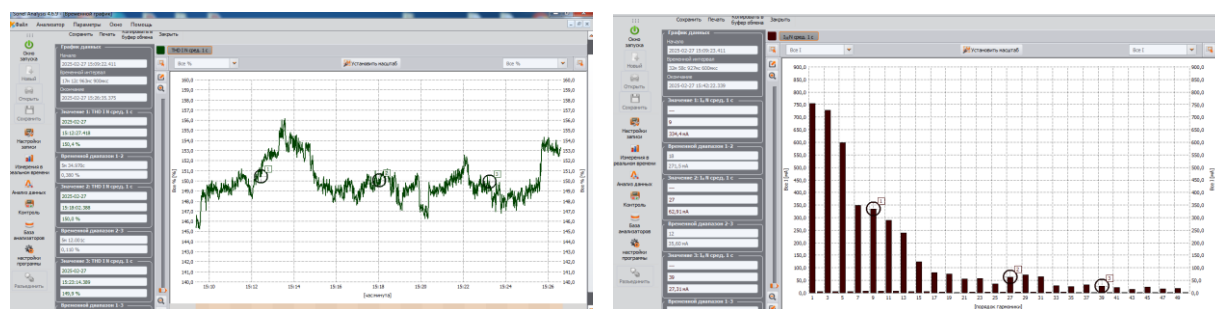


Рисунок 5 – Окна программы Sonel Analysis “Графики гармонических составляющих тока в нейтральном проводнике”

Figure 5 – Sonel Analysis program windows “Graphs of harmonic components of current in a neutral conductor”

Выводы. По результатам исследования установлено, что группа излучателей серии MAK-5WH-43W и светодиодный фитосветильник в незначительной степени искажают форму напряжения (наблюдается наличие гармоника только 3-го порядка в обоих случаях).

Однако значение коэффициента искажения тока THD_I почти в 9 раз выше у светодиодного фито светильника, чем у группы излучателей серии

МАК-5WH-43W. Установлено, что светодиодный фито светильник генерирует весь ряд нечетных гармоник, в том числе, гармоники кратные 3 высшего порядка.

В нейтральном проводнике зафиксировано максимальное значение коэффициента искажения тока (THD_I более 145%) и искажение формы тока как сумма синусоидальных составляющих более высоких частот нечетных гармоник до 39-го порядка. Вследствие этого возникает скин-эффект, что неизбежно приводит к эквивалентному увеличению сопротивления проводника, потерь мощности и его нагреву.

Список литературы

1. ГОСТ 30804.4.7-2013. Совместимость технических средств электромагнитная. Общее руководство по средствам измерений и измерениям гармоник и интергармоник для систем электроснабжения и подключаемых к ним технических средств (IEC 61000-4-7:2009). – Введ. 2014-01-01. – Москва: Стандартинформ, 2014. – 39 с. – Текст: непосредственный.
2. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения (EN 50160:2010, NEQ). – Введ. 2014-07-01. – Москва: Стандартинформ, 2014. – 20 с. – Текст: непосредственный.
3. Баран, А.Н. Светодиодные источники света и их влияние на питающую сеть / А.Н. Баран, В.А. Пашинский, Л.А. Липницкий // Журнал Белорусского государственного университета. Экология. – 2019. – № 4. – С. 91-99.
4. Алферов, А.А. Влияние светодиодных источников света на содержание гармоник тока и напряжения в системах электроснабжения промышленных предприятий / А.А. Алферов, Е.А. Якимов, О.Г. Широков, Т.В. Алферова // Вестник Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого. – 2016. – № 3(66). – С. 67-73.
5. Наумов, И.В. Исследование режимов работы действующих электрических сетей сельскохозяйственных предприятий / И.В. Наумов, С.В. Подъячих, М.А. Якупова [и др.] // Вестник НГИЭИ. – 2024. – № 1(152). – С. 72-90. – DOI 10.24412/2227-9407-2024-1-72-90.
6. Кондратьева, Н.П. Сравнительный экспериментальный анализ по электромагнитной совместимости разрядных и светодиодных искусственных источников света для растениеводства / Н.П. Кондратьева, П.В. Терентьев, Д.А. Филатов // Вестник НГИЭИ. – 2018. – № 12(91). – С. 39-49.
7. Кузьменко, В.П. Исследование влияния светодиодных прожекторов на процессы управления качеством электрической энергии и энергоэффективностью / В.П. Кузьменко, С.В. Солёный // Омский научный вестник. – 2021. – № 2(176). – С. 15-19. – DOI 10.25206/1813-8225-2021-176-15-19.
8. Куличкин, Д.С. Использование фитоламп для досвечивания рассады / Д.С. Куличкин, А.Ю. Прудников // Актуальные вопросы энергетики и техники в АПК: Матер. заочной научно-практ. конф., посвящ. 55-летию Энергетического факультета Иркутского ГАУ, п. Молодежный, 12 декабря 2024 года. – п. Молодежный: Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2024. – С. 65-66.
9. Наумов, И.В. Комбинированное техническое средство для повышения качества и снижения потерь электроэнергии в низковольтных электрических сетях / И.В. Наумов, С.В. Подъячих // Вестник Курганской ГСХА. – 2024. – № 1(49). – С. 69-80.
10. Сертакова, Н.А. Автоматизированная экспериментальная установка для выращивания растений в искусственных условиях / Н.А. Сертакова, Э.С. Федоринова // Актуальные вопросы энергетики и техники в АПК: Матер. заочной научно-практ. конф., посвящ. 55-летию Энергетического факультета Иркутского ГАУ, п. Молодежный, 12 декабря

2024 года. – п. Молодежный: Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2024. – С. 121-122.

References

1. GOST 30804.4.7-2013. Sovmestimost' tekhnicheskikh sredstv elektromagnitnaya. Obshchee rukovodstvo po sredstvam izmerenij i izmereniyam garmonik i intergarmonik dlya sistem elektrosnabzheniya i podklyuchaemyh k nim tekhnicheskikh sredstv (IEC 61000-4-7:2009) [Electromagnetic compatibility of technical means. General guidance on measuring instruments and measurements of harmonics and interharmonics for power supply systems and equipment connected to them (IEC 61000-4-7:2009)]. Moscow: Standartinform, 2014, 39 p.
2. GOST 32144-2013. Elektricheskaya energiya. Sovmestimost' tekhnicheskikh sredstv elektromagnitnaya. Normy kachestva elektricheskoy energii v sistemah elektrosnabzheniya obshchego naznacheniya (EN 50160:2010, NEQ) [Electrical energy. Electromagnetic compatibility of technical means. Electrical energy quality standards in general-purpose power supply systems (EN 50160:2010, NEQ)]. Moscow: Standartinform, 2014, 20 p.
3. Alferov, A.A. et all. Vliyanie svetodiodnyh istochnikov sveta na sodержanie garmonik toka i napryazheniya v sistemah elektrosnabzheniya promyshlennyh predpriyatij [The influence of LED light sources on the harmonic content of current and voltage in the power supply systems of industrial enterprises]. Vestnik Gomel'skogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. P.O. Suhogo, 2016, no. 3(66), pp. 67-73.
4. Baran, A.N. et all. Svetodiodnye istochniki sveta i ih vliyanie na pitayushchuyu set' [LED light sources and their effect on the power grid]. Zhurnal Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekologiya, 2019, no. 4, pp. 91-99.
5. Kondrat'eva, N.P. et all. Sravnitel'nyj eksperimental'nyj analiz po elektromagnitnoj sovmestimosti razryadnyh i svetodiodnyh iskusstvennyh istochnikov sveta dlya rastenievodstva [Comparative experimental analysis of electromagnetic compatibility of discharge and LED artificial light sources for crop production]. Vestnik NGIEI, 2018, no. 12(91), pp. 39-49.
6. Kuz'menko, V.P., Solenyj, S.V. Issledovanie vliyaniya svetodiodnyh prozhektorov na processy upravleniya kachestvom elektricheskoy energii i energoeffektivnost'yu [Investigation of the influence of LED floodlights on the processes of electric energy quality management and energy efficiency]. Omskij nauchnyj vestnik, 2021, no. 2(176), pp. 15-19. – DOI 10.25206/1813-8225-2021-176-15-19.
7. Kulichkin, D.S., Prudnikov, A.Yu. Ispol'zovanie fitolamp dlya dosvechivaniya rassady [The use of phytolamps for additional illumination of seedlings]. Aktual'nye voprosy energetiki i tekhniki v APK. Molodezhnyj, 2024, pp. 65-66.
8. Naumov, I.V. et all. Issledovanie rezhimov raboty dejstvuyushchih elektricheskikh setej sel'skohozyajstvennyh predpriyatij [Investigation of operating modes of existing electric networks of agricultural enterprises]. Vestnik NGIEI, 2024, no. 1(152), pp. 72-90. – DOI 10.24412/2227-9407-2024-1-72-90.
9. Naumov, I.V., Pod'yachih, S.V. Kombinirovannoe tekhnicheskoe sredstvo dlya povysheniya kachestva i snizheniya poter' elektroenergii v nizkovol'tnyh elektricheskikh setyah [A combined technical tool for improving the quality and reducing electricity losses in low-voltage electric networks]. Vestnik Kurganskoy GSHA, 2024, no. 1(49), pp. 69-80.
10. Sertakova, N.A., Fedorinova, E.S. Avtomatizirovannaya eksperimental'naya ustanovka dlya vyrashchivaniya rastenij v iskusstvennyh usloviyah [Automated experimental plant for growing plants in artificial conditions]. Aktual'nye voprosy energetiki i tekhniki v APK. Molodezhnyj, 2024, pp. 121-122.

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: 12.03.2025

Поступила после рецензирования и доработки / Received: 27.03.2025

Дата принятия к печати / Accepted: 31.03.2025

Сведения об авторах

Сертакова Наталья Анатольевна – магистр 1 года обучения направления подготовки 13.04.02 – Электроэнергетика и электротехника, энергетического факультета. Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского.

Контактная информация: ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, 664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодёжный, тел. 8(902)7666274, e-mail: tomat_2@mail.ru.

Федоринова Эльвира Сергеевна – кандидат технических наук, доцент кафедры электроснабжения и электротехники энергетического факультета. Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского.

Контактная информация: ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, 664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодёжный, тел. 8(904)1179752, e-mail: fec89834052365@yandex.ru. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9774-9015>.

Якупова Марина Андреевна – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры электроснабжения и электротехники энергетического факультета. Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского.

Контактная информация: ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, 664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодёжный, тел. 8(908)6642241, e-mail: yakupovamarina199@yandex.ru. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5694-8771>.

Information about the authors:

Natalia A. Sertakova – 1st year master's degree areas of training 13.04.02 Electric power and electrical engineering, Department of Power Supply and Electrical Engineering. Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky.

Contact information: FSBEI HE Irkutsk SAU, 664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk district, Molodezhny, tel.: 8(902)7666274, e-mail: tomat_2@mail.ru.

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

Contact information: FSBEI HE Irkutsk SAU, 664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk district, Molodezhny, tel.: 8(904)1179752, e-mail: fec89834052365@yandex.ru. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9774-9015>.

Marina A. Yakupova – Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of the Department of Power Supply and Electrical Engineering. Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky.

Contact information: FSBEI HE Irkutsk SAU, 664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk district, Molodezhny, tel.: 8(908)6642241, e-mail: yakupovamarina199@yandex.ru. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5694-8771>.



DOI 10.51215/2411-6483-2025-54-26-33

УДК 631.347

Научная статья

УРАВНЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ ВОДЫ В РАДИАЛЬНОМ КАНАЛЕ ВРАЩАЮЩЕГОСЯ РАССЕКАТЕЛЯ ДОЖДЕВАТЕЛЯ

А.Г. Черных

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

Аннотация. При ротационном или центробежном распылении сопло (форсунка) дождевателя подает воду в центр вращающегося горизонтального дискообразного рассекателя, который является составной частью распылительной головки расположенной осесимметрично с диском. Центробежная сила переносит воду к краю диска и отбрасывает ее от его внешней кромки. Вода, стекающая с рассекателя, имеет пленочную структуру, которая в процессе движения в воздухе за пределами кромки распадается на множество капель, размер и форма которых на начальной стадии движения в воздухе определяется диаметром и угловой скоростью вращения диска. Жидкая динамическая среда, существующая внутри пленки воды, перемещающейся по поверхности вращающегося диска, достаточно сложна для математической формализации. С целью упрощения процесса математического описания динамики поведения пленки воды существуют различные способы, включая технологические приемы изготовления формы самого рассекателя. В частности, для уменьшения эффекта скольжения воды вдоль его поверхности, имеющей форму сфероида с вытянутым острым концом, указанная поверхность дискредитируется в виде набора канавок, ориентированных в радиальном направлении. Применение канавок на рассекателе позволяет получить дождевальное облако за рассекателем в виде дискретного числа элементарных струй воды, количество которых определяется числом канавок. Уравнение движения элементарной струи может быть описано с использованием математического аппарата, относящегося к процессам в двухфазной системе воздух-вода в трехмерных системах координат. Введение понятия элементарной структуры и ее физического аналога в рассмотрения вопроса, связанного с изучением динамических процессов, описывающих поведение дождевального облака создаваемого дождевателем, позволяет в дальнейшем детально, на уровне математической модели, исследовать влияние ее физических параметров на качество орошения.

Ключевые слова: дождевальная машина, дождеватель, струя, рассекатель, канавка.

Для цитирования: Черных А.Г. Уравнение движения воды в радиальном канале вращающегося рассекателя дождевателя. *Электронный научно-практический журнал “Актуальные вопросы аграрной науки”*. 2025; 1(54):26-33. DOI: 10.51215/2411-6483-2025-54-26-33.

EQUATION OF WATER MOTION IN THE RADIAL CHANNEL OF A ROTATING SPRAYER DIFFUSER

Alexey G. Chernykh

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

Abstract. During rotary or centrifugal spraying, the sprinkler nozzle (nozzle) delivers water to the center of a rotating horizontal disc-shaped diffuser, which is an integral part of the spray head located axially symmetrically with the disk. Centrifugal force transfers water to the edge of the disk and throws it away from its outer edge. Water flowing from the diffuser has a film structure, which, while moving in the air beyond the edge, breaks up into many droplets, the size and shape of which at the initial stage of movement in the air is determined by the diameter and angular velocity of rotation of the disk. The liquid dynamic medium existing inside the water film moving along the surface of a rotating disk is quite complex for mathematical formalization. In order to simplify the process of mathematical description of the dynamics of the water film behavior, there are various methods, including technological methods for manufacturing the shape of the diffuser itself. In particular, to reduce the effect of water sliding along its surface, which has the shape of a spheroid with an elongated sharp end, the said surface is discredited in the form of a set of grooves oriented in the radial direction. The use of grooves on the diffuser allows obtaining a rain cloud behind the diffuser in the form of a discrete number of elementary water jets, the number of which is determined by the number of grooves. The equation of motion of an elementary jet can be described using the mathematical apparatus related to processes in a two-phase air-water system in three-dimensional coordinate systems. The introduction of the concept of elementary structure and its physical analogue in the consideration of the issue related to the study of dynamic processes describing the behavior of the rain cloud created by the sprinkler allows us to further study in detail, at the level of a mathematical model, the influence of its physical parameters on the quality of irrigation.

Keywords: sprinkler, sprinkler, jet, diffuser, groove.

For citation: Chernykh A.G. Equation of water motion in the radial channel of a rotating sprayer diffuser. *Electronic scientific-Practical journal “Actual issues of agrarian science”*. 2025; 1(54):26-33. DOI: 10.51215/2411-6483-2025-54-26-33.

Источником энергии для ротационного распыления является центробежная сила. При одинаковой скорости вращения и низких скоростях потока капли образуются ближе к краю диска, чем при более высоких скоростях потока [10]. Эпюра распыления имеет тенденцию к радиальному удалению от диска во всех направлениях (360°). При ротационном распылении с использованием дрождевателей с целью создания искусственного дождя, как правило, не удастся регулировать расход воды поступающей на диск и скорость его вращения независимо друг от друга. Когда вода из форсунки дождевателя под давлением попадает на диск (рассекатель) происходит преобразование энергии давления в кинетическую энергию, которая позволяет поступающей через форсунку воде двигаться по внешней поверхности диска до внешней кромки диска [1, 4]. В первом

приближении можно считать, что движение воды в форсунке соответствует безвоздушному распылению [3, 6]. В этом случае, на динамику процесса на выходе форсунки и за пределами внешней границы диска влияют три фактора: диаметр отверстия форсунки, параметры атмосферы и относительная скорость потоков воды и воздуха в двухфазной системе воздух-вода. Очевидно, что для диаметра отверстия логично утверждение о том, что чем больше его величина, тем больше средний размер капель воды в той ее фазе, которая характеризуется их образованием за пределами кромки диска [9]. Форма диска и давление поступающей на него воды позволяют регулировать толщину и степень однородности растекающейся по нему жидкой пленки [1]. В дальнейшем за кромкой диска необходимо учитывать влияние атмосферы на поведение пленки с учетом свойств воды – поверхностного натяжения, вязкости и плотности. С учетом выше сказанного, вывод уравнения движения воды в радиальном канале вращающегося рассекателя дождевателя, как составной части конструкции диска, является актуальной научно-практической задачей.

Цель работы – представить в математической форме динамику процесса, отражающего характер движения воды в радиальном канале вращающегося рассекателя дождевателя.

Материалы и методики исследования. Гидродинамическая среда, существующая внутри пленки при ее движении наружу по поверхности вращающегося диска, очень сложна. Однако для большинства практических случаев динамика поведения указанной среды может быть исследована при следующих допущениях: давление сдвига, оказываемое воздухом на воду на поверхности диска, отсутствует; гидродинамическая среда соответствует ньютоновской жидкости; ось диска расположена вертикально; вода подается на поверхность диска осесимметричным образом; из форсунки вода мгновенно достигает поверхности диска, т.е. процесс протекает с отсутствием явления углового проскальзывания; вода в виде пленки движется по поверхности диска в радиальном направлении (ускорением Кориолиса можно пренебречь); радиальные градиенты температуры, скорости и концентрации невелики по сравнению с градиентами, перпендикулярными диску. Если на поверхности диска, имеющей форму сфероида, появляются углубления, ориентированные в радиальном направлении, то попадающая на диск вода должна идентифицироваться в виде дискретного числа когерентных струй (элементарных струй), т.е. струй которые не подвержены процессу деления на капли. Таким образом, допущение о когерентности струи характеризует ее устойчивость с точки зрения процесса ее движения в углублении вплоть до момента ее распада за границей внешней кромки рассекателя дождевателя [2].

Рассмотрим диск, имеющий ряд равномерно расположенных радиальных канавок, которые предотвращают скольжение элементарной струи в соответствующей канавке (рисунок). В этом случае можно считать,

что струя движется по канавке, имея радиальную составляющую скорости, которая совпадает по направлению с касательной, проведенной в выбранной точке на ее внешней поверхности [6, 8].

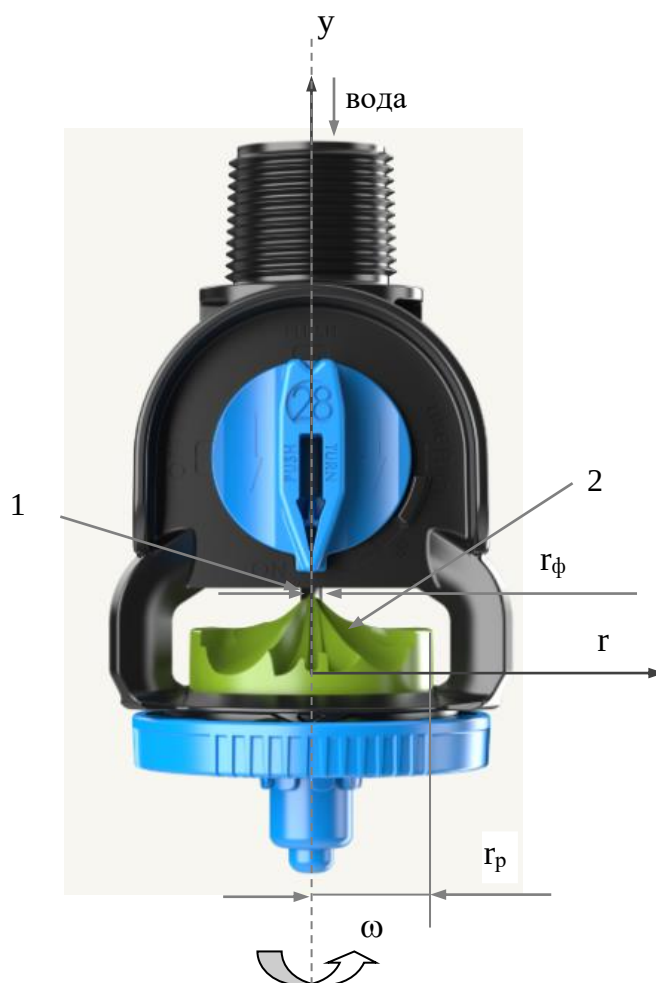


Рисунок – Схематическое изображение дождевателя и рассекателя с канавками:

y – координата перпендикулярная поверхности диска, м; r – координата радиальной составляющей, м; r_f – радиус в точке подачи воды (радиус форсунки дождевателя), м; r_p – периферийный радиус рассекателя, м; ω – угловая скорость вращения рассекателя, сек^{-1} ; 1 – форсунка; 2 – рассекатель с канавками.

Figure – **Schematic representation of a sprinkler and divider with grooves:** y – coordinate perpendicular to the surface of the disc, m; r – coordinate of the radial component, m; r_f – radius at the water supply point (radius of the sprinkler nozzle), m; r_r – peripheral radius of the divider, m; ω – angular velocity of rotation of the divider, sec^{-1} ; 1– nozzle; 2 – divider with grooves.

При наличии радиальных канавок на рассекателе, с учетом приведенных выше допущений, для радиальной скорости воды в канавке справедливо дифференциальное уравнение вида [3]

$$h \cdot b \cdot \rho \cdot \omega^2 \cdot r \cdot dr - \mu \cdot b \cdot \frac{3 \cdot (V_r)_{cp}}{h} = 0,$$

где r – радиальная координата, м; h – толщина воды в канавке на координате r , м; ρ – плотность воды, кг/м³; y – вертикальная координата, м; b – ширина канавки, м; μ – коэффициент вязкости воды, м²/сек; $(V_r)_{cp}$ – средняя скорость воды на радиусе r , м/сек.

В общем случае, величина радиальной составляющей скорости движения воды V_{ri} при выходе из рассекателя с радиальными канавками i -го дождевателя на основном трубопроводе дождевальной машины может быть вычислена по выражению [1]:

$$V_{ri} = \frac{\omega_i^{0,8} \cdot R_i^{0,4}}{B_i^{0,4}} \cdot \left(1 - \frac{0,35}{B_i^{0,92} \cdot \omega_i^{0,42} \cdot R_i^{1,43}} \right)^{0,4}, \quad (1)$$

где $B_i = 0,09 \cdot r_{ki}^{0,35} \cdot \nu_v^{0,25} \cdot n_i \cdot Q_{ki}^{-0,8}$ (для круглых канавок);

$B_i = 0,105 \cdot b_{ki}^{0,35} \cdot \nu_v^{0,25} \cdot n_i \cdot Q_{ki}^{-0,8}$ (для прямоугольных канавок);

r_{ki} – радиус канавки в рассекателе i -го дождевателя, м;

b_{ki} – ширина канавки в рассекателе i -го дождевателя, м;

Q_{ki} – объемный расход канавки в рассекателе i -го дождевателя, м³/сек ;

R_i – периферийный радиус рассекателя i -го дождевателя, м;

n_i – число канавок рассекателя i -го дождевателя, б/р;

ω_i – угловая скорость вращения рассекателя i -го дождевателя, сек⁻¹ ;

ν_v – кинетическая вязкость воды, м²/сек.

Результаты исследований. Для исследования выбран набор дождевателей серии Nelson D3000 из типового ряда. Номинальное значение из данного ряда определяет соответствующее данному числу форсунку с определенным диаметром сопла [8]. Например, номинал равный 43 соответствует форсунки диаметром:

$$d_\phi = (\text{тип} / 128) \cdot 1 \text{ дюйм} = (43 / 128) \cdot 25,4 = 4,76 \text{ мм} = 8,53 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Конструкция рассекателя в выбранном наборе дождевателей является многоступенчатой и включает в себя шестнадцать желобков полуовальной формы с углом наклона (12°) вверх от плоскости распылительного колпачка. Для выбранных типов дождевателей диапазон угловой скорости вращения соответствующего рассекателя определен от 4 до 6 оборотов в минуту. Тип форсунок по длине основного трубопровода широкозахватной дождевальной машины кругового движения (ШКДМ) фирмы T-L Irrigation company выбран таким образом, чтобы расход дождевальной воды соответствовал показателю, установленному на программаторе расхода воды в конце боковой линии центрально-поворотной системы орошения T-L с общей длиной секций, равной 609 метров [5, 7].

Результаты расчета величины V_{ri} по выражению (1) приведены в таблице.

Таблица – Скорость элементарной струи воды на кромке рассекателя

Table – The velocity of an elementary jet of water at the edge of the divider

Дождеватель (тип)	Радиус рассекателя, м	Массовый расход, кг/сек	Угловая скорость вращения рассекателя, сек ⁻¹	Скорость струи воды, м/сек
16	0.018	0.114	0.63	0.76
23	0.023	0.256	0.57	1.11
37	0.026	0.645	0.49	1.69
43	0.029	0.802	0.42	1.73

Выводы. Предложенная математическая модель, соответствующая физике процессов, отражающих ламинарный характер движения воды в канавках вращающегося рассекателя дождевателя, позволяет определить радиальную составляющую скорости воды в них.

Результирующая формула для расчета радиальной скорости движения элементарной струи на кромке рассекателя учитывает мгновенный характер ее разрушения и математически формализует для двухфазной системы воздух-вода возможность вычисления траектории ее движения после разрушения в трехмерной системе координат.

Представленная формула расчета скорости струи учитывает наличие квадратичного сопротивления при движении множества сферических частиц воды среднего диаметра в воздухе, являющихся следствием разрушения элементарной струи.

Наличие множества сферических частиц воды усредненных по диаметру позволяет исследовать динамику движения исходной струи после разрушения в виде аэрозольного облака.

Список литературы

1. Бородин, В.А. Распыливание жидкостей / В.А. Бородин. – М.: Машиностроение, 1967. – 262 с.
2. Журавлева, Л.А. Дождеватели широкозахватных дождевальных машин: монография / Л.А. Журавлева, И.А. Попков, М.С. Магомедов, Хеирбеик Бассел – Москва: ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2022. – 140 с.
3. Пажи, Д.Г. Основы техники распыления жидкостей / Д.Г. Пажи, В.С. Галустов. – М.: Химия, 1984. – 254 с.
4. Русинов, Д.А. Теоретические аспекты создания дождевальной насадки с вращающимся дефлектором / Д.А. Русинов, А.В. Кравчук, Д.А. Колганов // Аграрный научный журнал. – 2023. – № 4. С. – 142-147.
5. Цугленок, Н.В. Оптимизация диаметра трубопровода дождевальной машины кругового действия по критерию минимума энергопотребления / Н.В. Цугленок, С.М. Бакиров, О.В. Логачев // Агроинженерия, 2021. – № 4(104). – С. 66-71.
6. Черных, А.Г. Динамическая модель регулятора давления прямого действия дождевателей с низким напором / А.Г. Черных // Актуальные вопросы аграрной науки, 2024. – № 51. – С. 36-46.

7. Черных, А.Г. Исследование закрытой оросительной системы с двумя напорными источниками с помощью методов математического моделирования / А.Г. Черных // Актуальные вопросы аграрной науки, 2022. – № 42. – С. 30-39.

8. Черных, А.Г. Управление производительностью спринклера в системах мелкодисперсного дождевания с учетом энергетических характеристик искусственного дождя // Обеспечение технологического суверенитета АПК: подходы, проблемы, решения: роль экономической науки в инновационном развитии АПК: сб. статей Междунар. научно-методич. конф., посвящ. 300-летию Российской академии наук. – Екатеринбург: ФГБОУ ВО Уральский ГАУ, 2023. – С. 200-203.

9. Dogan, E. et al. Effect of varying the distance of collectors below a sprinkler head and travel speed on measurements of mean water depth and uniformity for a linear move irrigation sprinkler / Journal of Biosystems Engineering. 2008, vol. 99 (2), pp. 190-195.

10. Zhang L. et al. Simplified method for estimating throw radius of rotating sprinklers on sloping land. Irrigation Science. 2018, vol. 36, pp. 329-337.

References

1. Borodin, V.A. Raspy`livanie zhidkostej [Spraying of liquids]. Mjscow: Mashinostroenie, 1967, 262 p.

2. Zhuravleva, L.A. et al. Dozhdevateli shirokozaxvatny`x dozhdeval`ny`x mashin [Sprinklers of wide-range sprinklers]. Moscow: FGBOU VO RGAU-MSXA, 2022, 140 p.

3. Pazhi, D.G., Galustov, V.S. Osnovy` tekhniki raspy`leniya zhidkostej [Fundamentals of liquid spraying techniques]. Moscow: Ximiya, 1984, 254 p.

4. Rusinov, D.A. et al. Teoreticheskie aspekty` sozdaniya dozhdeval`noj nasadki s vrashhayushhimsya deflektorom [Теоретические аспекты создания дождевальной насадки с вращающимся дефлектором]. Agrarny`j nauchny`j zhurnal, 2023, no. 4, pp. 142-147.

5. Czuglenok, N.V. et al. Optimizaciya diametra truboprovoda dozhdeval`noj mashiny` krugovogo dejstviya po kriteriyu minimuma e`nergopotrebleniya [Optimization of the diameter of the pipeline of the circular sprinkler machine according to the criterion of minimum energy consumption]. Agrozhenneriya, 2021, no. 4(104), pp. 66-71.

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

7. Cherny`x, A.G. Issledovanie zakry`toj orositel`noj sistemy` s dvumya naporny`mi istochnikami s pomoshh`yu metodov matematicheskogo modelirovaniya [Investigation of a closed irrigation system with two pressure sources using mathematical modeling methods]. Aktual`ny`e voprosy` agrarnoj nauki, 2022, no. 42, pp. 30-39.

8. Cherny`x A.G. Upravlenie proizvoditel`nost`yu sprinklera v sistemax melkodispersnogo dozhdevaniya s uchedom e`nergeticheskix xarakteristik iskusstvennogo dozhda [Sprinkler performance management in fine sprinkler systems, taking into account the energy characteristics of artificial rain]. Ekaterinburg: FGBOU VO Ural`skij GAU, 2023, pp. 200-203.

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: 21.03.2025

Поступила после рецензирования и доработки / Received: 26.03.2025

Дата принятия к печати / Accepted: 31.03.2023

Сведения об авторе

Черных Алексей Георгиевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры “Электроснабжения и электротехники” энергетического факультета. Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского.

Контактная информация: ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, 664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодёжный, тел.: 89500633102, e-mail: kandida2006@yandex.ru), ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3498-6579>.

Information about the author:

Alexey G. Chernykh – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of “Power Supply and Electrical Engineering” of the Faculty of Energy. Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky.

Contact information: FSBEI HE Irkutsk SAU, 664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk district, Molodezhny, tel.: 89500633102, e-mail: kandida2006@yandex.ru), ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3498-6579>.



DOI 10.51215/2411-6483-2025-54-34-42

УДК 631.362

Научная статья

МЕТОДИКА ВОССТАНОВЛЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ КОЛЕНЧАТЫХ ВАЛОВ ДВС ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

А.В. Шистеев, М.К. Бураев

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

Аннотация. Двигатели внутреннего сгорания напрямую унаследовали конструкцию своих подшипников коленчатого вала – коренных и шатунных, от паровых машин. В этих подшипниках не было вкладышей, вместо чего их постели заливались специальным антифрикционным сплавом на основе олова или свинца с добавкой меди и сурьмы. Сплав обладает уникальными антифрикционными (снижающими трение) свойствами, плюс к этому очень хорошо закрепляется на поверхности подшипника. На сегодняшний день на некоторых моторах (как правило, высокофорсированных) для укладки постелей коленчатых валов применяются, в основном, триметаллические половинчатые подшипники скольжения. Однако сложность их в изготовлении (необходима специальная лента, станочное оборудование) и высокая стоимость приводят к альтернативному решению, использованию в качестве фрикционного слоя гальванического слоя промышленного серебра, уложенного на сплав 25% олова, 60% свинца, 10% сурьмы и 5% меди. Полученный антифрикционный материал по расчетам должен получить примерно вдвое большую усталостную прочность по сравнению с оригинальными вкладышами. При этом производство получается очень технологичным, приспособленным и необходимым, поскольку изменение показаний бортовых информационных датчиков не отражает давление и температуру масла на подшипниках скольжения, а соответственно невозможно прогнозировать ресурс, назначать правильные сроки капитального ремонта.

Процесс изготовления защитного слоя, начиная от напайки внутреннего слоя до осаждения серебряной подложки на поверхностях подшипника (вкладыша), заканчивая упаковкой готовых изделий, должен быть полностью отработан. Большим плюсом является широкий спектр толщины упрочненного слоя вкладыша, которую можно нанести на нанесенный внутренний слой после соответствующей обработки путем использования серебрения в качестве полимерного нано-покрытия с дополнительным покрытием нано-композитными частицами твердых металлов. Для аналога такая технология отлично зарекомендовала себя в эксплуатации высоконагруженных частей гоночных автомобилей класса Formula1.

Ключевые слова: ремонт, восстановление, гальваническое осаждение, промышленное серебро, детали машин.

Для цитирования: Шистеев А.В., Бураев М.К. Методика восстановления работоспособности подшипников скольжения коленчатых валов ДВС транспортно-технологических машин. *Электронный научно-практический журнал “Актуальные вопросы аграрной науки”*. 2025; 1(54):34-42. DOI 10.51215/2411-6483-2025-54-34-42.

METHOD OF RESTORING THE PERFORMANCE OF CRANKSHAFT BEARINGS OF INTERNAL COMBUSTION ENGINES OF TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL MACHINES

Alexey V. Shisteev, Mikhail K. Buraev

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

Abstract. The internal combustion engines directly inherited the design of their crankshaft bearings - main and connecting rod, from steam engines. These bearings did not have liners, instead their beds were filled with a special antifriction alloy based on tin or lead with the addition of copper and antimony. The alloy has unique antifriction (reducing friction) properties, plus it is very well fixed on the bearing surface. Today, some engines (usually high-powered) use mainly trimetallic half-slip bearings for laying crankshaft beds. However, their manufacturing complexity (special tape and machine tools are required) and high cost lead to an alternative solution, using a galvanic layer of industrial silver as a friction layer, laid on an alloy of 25% tin, 60% lead, 10% antimony and 5% copper. According to calculations, the resulting antifriction material should have approximately twice the fatigue strength compared to the original liners. At the same time, production turns out to be very technological, adapted and necessary, since changes in the readings of on-board information sensors do not reflect the pressure and temperature of the oil on the sliding bearings, and accordingly it is impossible to predict the resource, assign the correct terms of major repairs. The process of manufacturing the protective layer, from soldering the inner layer to depositing the silver substrate on the bearing surfaces (liner), ending with the packaging of finished products, must be fully developed. A big plus is the wide range of thickness of the reinforced layer of the liner, which can be applied to the applied inner layer after appropriate processing by using silvering as a polymer nano-coating with an additional coating of nano-composite particles of hard metals. For an analogue, such technology has proven itself in the operation of highly loaded parts of Formula 1 racing cars.
Keywords: repair, restoration, galvanic deposition, industrial silver, machine parts.

For citation: Shisteev A.V., Buraev M.K. Method of restoring the performance of crankshaft bearings of internal combustion engines of transport and technological machines. *Electronic scientific-Practical journal “Actual issues of agrarian science”*. 2025; 1(54):34-42. DOI 10.51215/2411-6483-2025-54-34-42.

Введение. В технической литературе прослеживаются рекомендации – при эксплуатации импортных транспортно-технологических машин на пробеге не менее 5-10 тыс. мото-часов, но не более 20-25 тыс. мото-часов, профилактически нужно вскрывать, как минимум шатунные подшипники для осмотра вкладышей (подшипников скольжения), и при необходимости проводить их замену на новые той же размерной группы из числа обменного фонда [1, 2].

Для грузовых автомобилей указано, что замена вкладышей на пробеге в 60-70 тыс. км далеко не редкость. В районах с резко континентальным климатом и жесткими условиями эксплуатации, например в Сибири, заменять шатунные вкладыши приходится на пробеге не более 40-50 тыс. км

из-за накопления абразивных частиц на их поверхности, что предписывается, в том числе и рядом ГОСТов, регулирующих ремонт и обслуживание тракторов и автомобилей [2, 3].

Предлагаемая технология приготовления сплава и последующей гальванической осадки мягких металлов обладает уникальными антифрикционными (снижающими трение) свойствами [4, 5, 6]. Причём придают эти свойства сплавам не олово или свинец, которые являются лишь связующими элементами, придающими поверхности подшипника форму, а примеси меди, сурьмы, кальция и других более твёрдых металлов (рис. 1).

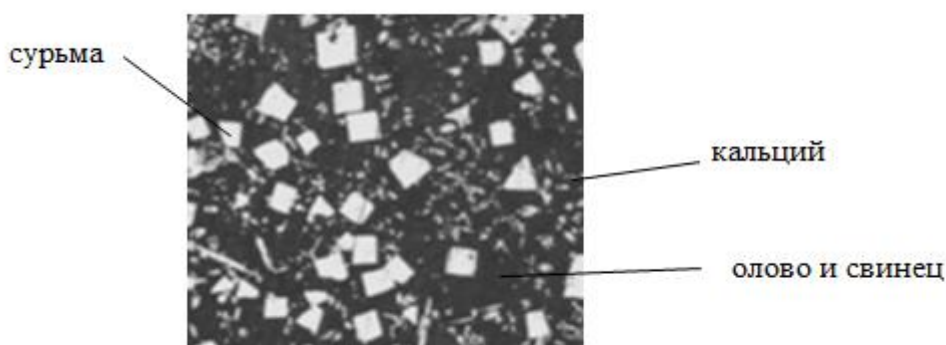


Рисунок 1 – Структура наплавки материала на подшипник скольжения [10]

Figure 1 – Structure of the material deposition on the plain bearing

Таким образом, практическая польза исследования – получение гетерогенного сплава [7, 8], который очень хорошо закрепляется на медно-алюминиевой основе вкладыша за счет того, что примеси в нём содержатся в виде отдельных вкраплений и получают хорошее взаимное зацепление. Покрытие гальванического рабочего слоя придает эксплуатационному процессу подшипника эффект использования “кондиционера” металлов, значительно продлевающий ресурс не только вкладыша, но и самого коленчатого вала [9, 10].

Цель исследования заключается в обосновании способа восстановления подшипников скольжения (вкладышей) коленчатого вала на основе анализа работ по нанесению многослойных нано-композитных покрытий.

Материалы и методы исследования. Исследование основано на положениях теоретической механики, теории механизмов и машин, теории трения и изнашивания. В работе применены диалектические принципы и использованы методы обработки информации с использованием цифровых технологий.

Результаты и обсуждение. Всестороннее изучение вопроса показало, что перед заливкой рабочую поверхность подшипника коленчатого вала необходимо обезжирить щёлочью, протравить кислотой для улучшения сцепления со сплавом за счёт образования микрорельефа, тщательно провести

лужение. Только после этого можно плавить расплав и заливать им подшипник с установленной в него оправкой, при этом точно выдержав требуемую температуру сплава и самой детали, в которую он заливается [11].

Здесь необходимо отметить, что данные методики могут легко воспроизводиться на практике, что имеет научный интерес для исследования свойств новых композиционных материалов и покрытий (рис. 2).



Рисунок 2 – Подшипник с нанесенным внутренним рабочим слоем (Cummins QSM-11 Buhler Versatile 2375) [8]

Figure 2 – Bearing with applied internal working layer (Cummins QSM-11 Buhler Versatile 2375)

Залитый в подшипник слой сплава путем расточки и шлифовки подгоняется к непосредственной шейке вала. Так, например, при отсутствии специализированного инструмента и оборудования – в гаражных условиях и вовсе используют шабрение. Однако, как при ручной, так и автоматической доработке поверхность восстановленного подшипника должна покрываться специальной синей масляной краской (“берлинская лазурь”), а затем притираться к шейке. По получившимся от притирки потёртостям на окрашенной поверхности определяются места, в которых имелись выступающие участки, мешающие плотному прилеганию (рис. 3).

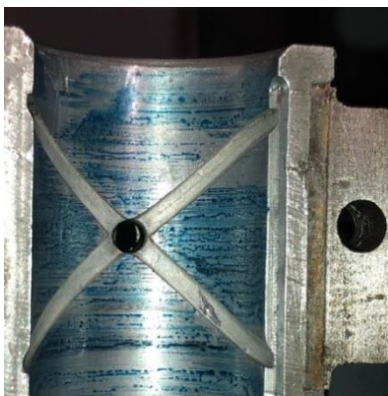


Рисунок 3 – Притирка крышки подшипника по следам контакта пары трения [8]

Figure 3 – Lapping of the bearing cap according to contact marks of friction pair

Теория износа рабочего узла – подшипника, а также возможность восстановления нано-композитными материалами его поверхности соответствует новинкам зарубежных технологий и опыта. Так, например, иностранные специалисты известной компании в машиностроении Rolls Royce считают, что тщательно изготовленные вручную подшипники, индивидуально подогнанные к каждой шейке вала, будут работать лучше, чем конвейерная продукция, всегда имеющая определённый разброс параметров.

С практической точки зрения, восстанавливаемые таким образом подшипники, в каком-то смысле, очень удобны в условиях нехватки запчастей и слабо развитого сервиса импортных сельскохозяйственных машин – именно по той причине, что при наличии навыков такой опыт можно воспроизвести в любой ремонтно-технологической мастерской, которая зачастую удалена непосредственно от районных и региональных центров, имеющих сервисную инфраструктуру.

Улучшение качества технического сервиса машин осуществляется путем прогнозирования замены вкладышей коленчатого вала двигателей внутреннего сгорания. Износ вкладышей, напрямую влияет на уровень давления моторного масла, вызывая колебания и перебои в работе системы смазки. Корреляция коэффициента технической готовности, работоспособности и износа, как правило, устанавливается в результате обработки статистических данных полученных в ходе исследования по результатам испытаний. При этом скорость сбора и передачи данных в современных условиях должны связываться с использованием беспроводных информационных систем и быть максимально оперативно управляемыми.

Кроме этого, логистические мероприятия поддержки системы восстановления подшипников “на месте” однозначно проще, чем организация снабжения отдалённых разрозненных фермерских хозяйств и предприятий.

Для определения остаточного ресурса вкладышей коленчатого вала проведены испытания, которые имитируют условия их работы в двигателе внутреннего сгорания. Испытания проводились на двигателе, работающем в условиях нормальной эксплуатации – режиме максимальной мощности, соответствующей нагрузке агрегата на вспашке. Продолжительность интервалов испытаний составляла 100-150 часов в зависимости от материала вкладышей.

В качестве критерия оценки каждого испытания применяют сравнение степени износа деталей двигателя по содержанию различных металлов в моторном масле, слитом после каждого испытания. Для испытаний мотор заправлялся машинным маслом Роснефть Magnum Ultimate 5w30 2/4л.

Процесс восстановления покрытия подшипников коленчатого вала путем нанесения специального сплава свинца, олова, меди и сурьмы позволит улучшить общие показатели времени ремонта машин на предприятиях АПК и ремонтно-восстановительных организациях технического сервиса.

Восстановленный слой подшипников скольжения показывает хорошие результаты по устойчивости покрытия к ударным нагрузкам, однако в качестве упрочняющего слоя дополнительно наносится гальваническое покрытие в среде нитрата серебра AgNO_3 под воздействием электрического тока, тогда срок службы будет находиться за пределами наработки 10 – 15 тыс. мото-часов.

В таблице 1 представлены результаты химического анализа моторного масла после эксплуатации готового восстановленного подшипника в указанных пределах наработки, полученные в условиях химической лаборатории, путем анализа способом эмиссионной спектрометрии.

Таблица 1 – Количество металлов в отработанном масле после испытаний

Table 1 – Amount of metals in the used oil sample after wear testing

Наименование позиции / количество, ppm	Подшипник без гальванического покрытия	Подшипник с гальваническим рабочем слоем
Вязкость при 100 °C	90.0	90.0
Кислотное число	5.5	5.2
Остатки топлива	0.2	0.2
Вода	0.01	0.01
Полиэтиленгликоли	0.0	0.0
Сода	2.0	2.0
Силикон	23	17
Металлы	Подшипник без гальванического покрытия	Подшипник с гальваническим рабочим слоем
Железо	3	2
Медь	9	4
Хром	0	0
Олово	2	1
Свинец	16	11
Алюминий	3	3.1
Магний	0	0
Титан	0	0
Серебро	0	1

В таблице 2 приведены количественные результаты некоторых компонентов присадок моторного масла, уровень которых показывает отсутствие увеличения износа самих деталей механизма, поскольку сравнительное количество всех компонентов не отличается по составу от количества компонентов в пробах масла, взятых при использовании стандартного заводского вкладыша. Незначительное отличие по показаниям количества цинка и бора, показывает, что присадки частично вырабатываются, но износ происходит плавно, все показатели стабильны, моторное масло качественно и подходит для теста.

Изучение состава отработанного масла в условиях химической лаборатории, позволило получить параметры количества присадок, для исключения ошибки определения количества железа (Fe – основного тела

подшипника) и, соответственно, серебра (Ag – слоя гальванического осаждения), чтобы понять какой уровень долговечности имеет гальваническое покрытие.

Таблица 2 – Усредненное содержание присадок в образцах отработанного масла

Table 2 – Average additive content in samples of used oil

Наименование присадки / количество, ppm	Подшипник без гальванического покрытия	Подшипник с гальваническим рабочем слоем
Цинк	1300	1320
Фосфор	1200	1200
Молибден	150	148
Кальций	130	150
Бор	1515	1499

Выводы. 1. В условиях климатической зоны Сибири при ремонте транспортно-технологических машин, задействованных в процессах сельскохозяйственного производства, необходимо придерживаться рекомендаций – при эксплуатации в условиях при наработке не менее 5-10 тыс. мото-часов, но не более 20-25 тыс. мото-часов (для автомобилей на пробеге не более 40-50 тыс. км из-за накопления абразивных частиц), профилактически вскрывать как минимум шатунные подшипники для осмотра вкладышей (подшипников скольжения). При необходимости проводить их замену на новые той же размерной группы или восстановленные способом наплавки внутреннего слоя и последующей гальванической осадки Ag-покрытия.

2. Для стандартного оригинального подшипника скольжения (вкладыша) коленчатого вала двигателя количество содержания железа (принято за эталон) в пробах, прошедших химический анализ составило 3 ppm, против 2 ppm (1 мг/кг) у экспериментально восстановленных образцов, получивших серебряное упрочнение.

3. В процессе эксперимента получены данные о количестве присадок в пробах синтетического моторного масла, использованного при опытах. Результаты показали практически одинаковый уровень остаточного количества химических элементов в пробах, кроме железа и серебра, что является доказательством снижения износа при использовании данной технологии.

Список литературы

1. Альт, В.В. Информационные технологии в инновационном развитии АПК / В.В. Альт, С.Н. Ольшевский. Достижения науки и техники АПК. – 2016. – Т. 30. – № 4. – С. 67-69.
2. Аносова, А.И. Ремонт тракторов при существующей организации их технического сервиса / Аносова А.И., Бураев М.К., Шистеев А.В., Елтошкина Е.В. // В сборнике: Климат, экология, сельское хозяйство Евразии: матер. VII междунар. научно-практ. конф. Молодежный. – 2018. – С. 236-242.
3. Бебиков, Д.В. Дефектовка элементов двигателя внутреннего сгорания трактора Buhler Versatile 2375 / Бебиков Д.В., Бураева Г.М., Шистеев А.В. // В сб.: Научные

исследования и разработки к внедрению в АПК: матер. Междунар. научно-практ. конф. молодых ученых, посвящ. 90-летию Иркутского ГАУ. Молодежный, 2024. – С. 366-374.

4. Белоусов, И.В. К повторному использованию деталей при ремонте машин / И.В. Белоусов, М.К. Бураев // Научные исследования и разработки к внедрению в АПК: матер. междунар. научно-практ. конф. молодых ученых, п. Молодежный, 16-17 марта 2023 года. – п. Молодежный: Иркутский ГАУ, 2023. – С. 334-341. – EDN AXFBUP.

5. Бураев, М.К. Вторичный рынок машин в системе агротехсервиса / М.К. Бураев // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2008. – № 3. – С. 41-44. – EDN KTNEVR.

6. Гусев, А.А. К Обоснованию технического сервиса машинно-тракторного парка крестьянско-фермерских хозяйств / Гусев А.А., Бураев М.К., Шистеев А.В. // Вестник КрасГАУ. 2016. № 8 (119). С. 110-114.

7. Зайцев, А.М. Эксплуатация авиационных подшипников качения / Зайцев А.М., Коросташевский Р.В. // М.: Транспорт, 1968

8. Ерохин, М.Н. Диффузионные покрытия в ремонтном производстве / М.Н. Ерохин, С.П. Казанцев. – М.: ФГОУ ВПО МГАУ, 2006. – 124 с.

9. Ли, Р.И. Технологии восстановления деталей сельскохозяйственной техники и оборудования перерабатывающих предприятий: учебное пособие / Р.И. Ли. – Липецк, МичГАУ, 2008. – 322 с.

10. Тулинов, А.Б. Применение металлополимерных композитов для устранения дефектов горного оборудования / А.Б. Тулинов, М.С. Островский // Горное оборудование и электромеханика. – 2013. – № 3. – С. 27-31.

11. Черноиванов, В.И. Перспективы применения нанотехнологий как прорывного фактора повышения качества обслуживания и ремонта машин / В.И. Черноиванов // Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. – 2011. – №2. – С. 3-10

References

1. Alt, V.V., Olshevsky, S.N. Informatsionnyye tekhnologii v innovatsionnom razvitii APK [Information technologies in innovative development of the agro-industrial complex Dostizheniya nauki i tekhniki APK, 2016, vol. 30, no. 4, pp. 67-69.

2. Anosova, A.I. et all. Remont traktorov pri sushchestvuyushchey organizatsii ikh tekhnicheskogo servisa [Repair of tractors with the existing organization of their technical service]. Molodezhnyj, 2018, pp. 236-242.

3. Bebikov, D.V. et all. Defektovka elementov dvigatelya vnutrennego sgoraniya traktora Buhler Versatile 2375 [Defect detection of internal combustion engine elements of the Buhler Versatile 2375 tractor]. Molodezhny, 2024, pp. 366-374.

4. Belousov, I.V., Buraev, M.K. K povtornomu ispol'zovaniyu detaley pri remonte mashin [On the reuse of parts in the repair of machines]. Molodezhny, 2023, pp. 334-341.

5. Buraev, M.K. Vtopichnyy pynok mashin v sisteme agpotekhsepvisa [Secondary market of machines in the agrotechnical service system]. Remont. Vosstanovlenie. Modernizaciya. 2008, no. 3, pp. 41-44.

6. Gusev, A.A. et all. K Obosnovaniyu tekhnicheskogo servisa mashinno-traktornogo parka krest'yansko-fermerskikh khozyaystv [To the Justification of Technical Service of Machine and Tractor Fleet of Peasant Farms]. Vestnik KrasSAU, 2016, no. 8(119), pp. 110-114.

7. Zaitsev, A.M., Korostashevsky, R.V. Ekspluatatsiya aviatsionnykh podshipnikov kacheniya [Operation of Aviation Rolling Bearings]. Moscow: Transport, 1968.

8. Erokhin, M.N., Kazancev, S.P. Diffuzionnyye pokrytiya v remontnom proizvodstve [Diffusion coatings in repair production]. Moscow, 2006, 124 p.

9. Li, R.I. Tekhnologii vosstanovleniya detaley sel'skokhozyaystvennoy tekhniki i oborudovaniya pererabatyvayushchikh predpriyatiy: ucheb. posob. [Technologies for restoring parts of agricultural machinery and equipment of processing enterprises: textbook. manual]. Lipetsk, MichGAU, 2008, 322 p.

10. Tulinov, A.B., Ostrovsky, M.S. Primeneniye metallopolyimernykh kompozitov dlya ustraneniya defektov gornogo oborudovaniya [Application of metal-polymer composites to eliminate defects in mining equipment]. Gornoe oborudovanie i elektromekhanika, 2013, no. 3, pp. 27-31.

11. Chernoiivanov, V.I. Perspektivy primeneniya nanotekhnologiy kak proryvnogo faktora povysheniya kachestva obsluzhivaniya i remonta mashin [Prospects for the use of nanotechnology as a breakthrough factor in improving the quality of maintenance and repair of machines]. Sel'skohozyajstvennaya tekhnika: obsluzhivanie i remont, 2011, no. 2, pp. 3-10

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

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие конфликта интересов.

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

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

История статьи / Article history:

Дата поступления в редакцию / Received: 12.03.2025

Поступила после рецензирования и доработки / Revised: 25.03.2025

Дата принятия к печати / Accepted: 31.03.2025

Сведения об авторах

Шистеев Алексей Валерьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры “Технический сервис и инженерные дисциплины” инженерного факультета. Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского.

Контактная информация: ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, 664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, пос. Молодежный, тел. 83952237431, e-mail: drive-er@yandex.ru. ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-8117-1263>.

Бураев Михаил Кондратьевич – доктор технических наук, профессор кафедры “Технический сервис и инженерные дисциплины” инженерного факультета. Иркутский государственный аграрный университет 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 authors

Alexey V. Shisteev – candidate of technical sciences, associate professor of the department of “Technical service and general technical disciplines” of the Engineering faculty. Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky.

Contact information: FSBEI HE Irkutsk SAU, 664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk district, Molodezhny, tel. 83952237431, e-mail: drive-er@yandex.ru. ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-8117-1263>.

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

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



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

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

DOI 10.51215/2411-6483-2025-54-43-53

УДК 332.1, 338.43

Научная статья

**НИГЕРИЯ: АГРАРНЫЙ ГИГАНТ АФРИКИ В ЭПОХУ
ЦИФРОВИЗАЦИИ**

Н.Г. Гаврилова

Институт Африки РАН, Москва, Россия

Аннотация. Нигерия, крупнейшая по численности населения страна Африки, играет ключевую роль в аграрном секторе континента, обеспечивая 10% валовой стоимости его сельскохозяйственной продукции. Сельское хозяйство обеспечивает занятость 34% населения страны, однако низкая производительность, архаичные методы обработки и неразвитая инфраструктура ограничивают его потенциал. Несмотря на значительную долю сельского хозяйства в ВВП, Нигерия остается зависимой от нефтяного экспорта (92% доходов), и диверсификация экономики посредством развития аграрного сектора представляется критически важной.

Цифровизация становится ключевым инструментом преодоления этих вызовов. В Нигерии уже используются цифровые решения. Например, торговые платформы устраняют посредников, связывая фермеров с рынками. Аналитические компании используют Big Data для прогнозирования урожаев и оптимизации кредитования. Технологии блокчейн обеспечивают прозрачность цепочек поставок, IoT и мобильные приложения позволяют арендовать технику, осуществлять спутниковый мониторинг, получать сведения непосредственно с полей и др. Эти решения уже демонстрируют результаты: прибыль фермеров увеличивается, а потери урожая снижаются. Однако охват цифровыми инструментами остается ограниченным. Только 27% населения имеют доступ к интернету, а 50% сельских жителей – к электричеству. Низкий уровень грамотности и недостаток государственного финансирования замедляют прогресс.

Статья подчеркивает, что цифровая трансформация способна укрепить позиции Нигерии как аграрного лидера Африки, повысить продовольственную безопасность и снизить зависимость от нефти. Для этого требуется комплексный подход: инвестиции в инфраструктуру, образовательные программы для фермеров и масштабирование успешных технологических моделей.

Ключевые слова: Африка, Нигерия, сельское хозяйство, цифровизация, онлайн-платформы, производительность, CAADP.

Для цитирования: Гаврилова Н.Г. Нигерия: аграрный гигант Африки в эпоху цифровизации. *Электронный научно-практический журнал “Актуальные вопросы аграрной науки”*. 2025; 1(54):43-53. DOI 10.51215/2411-6483-2025-54-43-53.

NIGERIA: THE AGRARIAN GIANT OF AFRICA IN THE ERA OF DIGITALIZATION

Nina G. Gavrilova

Institute for African Studies of the Russian Academy of Sciences, *Moscow, Russia*

Abstract. Nigeria, the most populous country in Africa, plays a key role in the continent’s agricultural sector, accounting for 10% of the gross value of its agricultural output. Agriculture employs 34% of the country’s population, but low productivity, archaic processing methods, and poor infrastructure limit its potential. Despite the significant share of agriculture in Nigeria’s GDP, it remains dependent on oil exports (92% of revenues), and diversification of the economy through the development of the agricultural sector appears critical.

Digitalization is becoming a key tool to overcome these challenges. Nigeria is already using digital solutions. For example, trading platforms eliminate intermediaries by connecting farmers with markets. Analytics companies use Big Data to forecast crops and optimize lending. Blockchain technologies provide transparency in supply chains, IoT and mobile applications allow renting equipment, carrying out satellite monitoring, receiving data directly from the fields, etc. These solutions are already showing results: farmers’ profits are increasing, and crop losses are decreasing. However, the coverage of digital tools remains limited. Only 27% of the population has access to the Internet, and 50% of rural residents have access to electricity. Low literacy rates and lack of government funding slow down progress.

The article emphasizes that digital transformation can strengthen Nigeria’s position as an agricultural leader in Africa, increase food security and reduce dependence on oil. This requires a comprehensive approach: investments in infrastructure, educational programs for farmers and scaling up successful technological models.

Keywords: Africa, Nigeria, agriculture, digitalization, online platforms, productivity, CAADP.

For citation: Gavrilova N.G. Nigeria: the agrarian giant of Africa in the era of digitalization. *Electronic scientific-Practical journal “Actual issues of agrarian science”*. 2025; 1(54):43-53. DOI 10.51215/2411-6483-2025-54-43-53.

Введение. Африка – второй по численности населения континент в мире, и в 2025 г. число жителей уже достигло 1.5 млрд. человек. Наиболее крупной страной на континенте является Нигерия, в которой проживает 235 млн населения [18]. Сельское хозяйство имеет огромное значение как для континента в целом, так и для Нигерии в частности (рис. 1).

Как видно из данных рисунка, в Нигерии доля сельского хозяйства (12-37%) значительно превышает среднемировые и региональные значения (3-7%). Однако в экспорте доля аграрной продукции невелика (около 3% в 2023 г.), большую часть валютных поступлений страны составляет продажа минерального топлива, нефти и газа (около 92% в 2023 г.) [14]. Экономика страны очень зависима от цен на углеводороды, многие годы правительство признает необходимость диверсификации, но происходит она крайне медленными темпами. Сельское хозяйство служит “подушкой безопасности” в те годы, когда рынок сырья ведет себя нестабильно и

компенсирует потери [1]. Это тоже видно на рисунке 1 – пики как раз показывают те годы, когда потери нефтяного сектора были особенно высоки, а сельское хозяйство сглаживало их. Нигерия является крупным производителем и экспортером какао-бобов, пальмового масла и каучука, что является перспективой для диверсификации экспортной выручки и снижения зависимости от нефти [7].

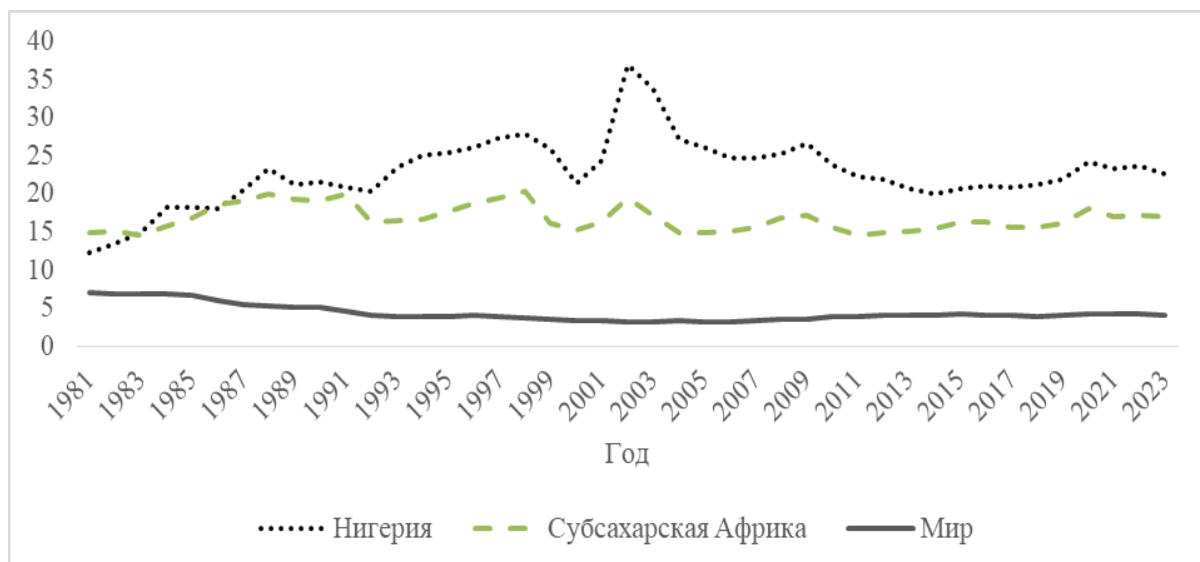


Рисунок 1 – Значение сельского хозяйства в экономике территорий, % в ВВП [9]

Figure 1 – Contribution of Agriculture to the Economy of the Regions, % of GDP

Влияние сельского хозяйства распространено не только на экономику, но и на социальную жизнь Нигерии. В секторе занята значительная часть населения, и для миллионов людей аграрное производство является единственным источником существования. Значение сектора в динамике уменьшается (показатель упал с 52.4% в 1991 г. до 34.3% в 2023 г.), но, тем не менее, не теряет своей актуальности и остается почти вдвое выше среднемировых значений (рис. 2).

Как видно, в мире доля занятости населения в сельском хозяйстве снижается, и это связано с внедрением новых технологий в отрасль: происходит автоматизация производства, используется новая совершенная техника, применяются актуальные разработки. При этом быстрыми темпами происходит рост промышленности и сектора услуг. Данные рисунка подтверждают, что аграрный сектор в Нигерии сохраняет статус основного источника занятости населения, и это говорит о том, что Африка идет по своему пути развития, отстающему от мирового тренда. Замедленное развитие региона связано с очень низкой производительностью: 34% населения обеспечивают лишь 23% ВВП.

Еще одной причиной выбора Нигерии как объекта исследования является показатель величины производства (рис. 3).

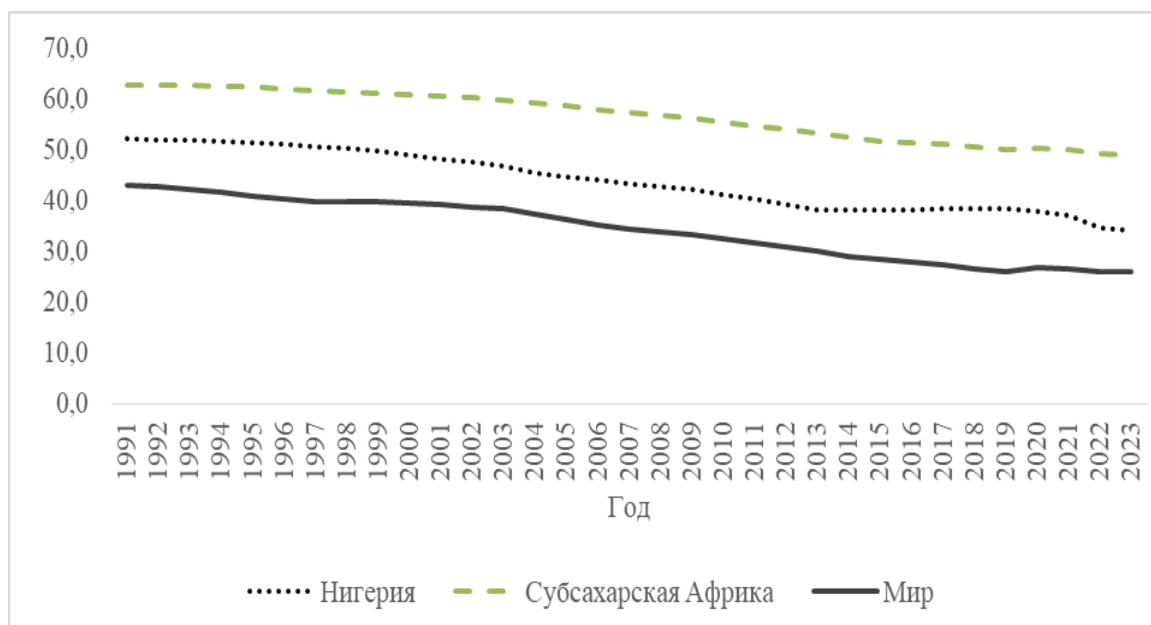


Рисунок 2 – Занятость населения в сельском хозяйстве, % населения [12]

Figure 2 – Employment of the Population in Agriculture, % of the Population

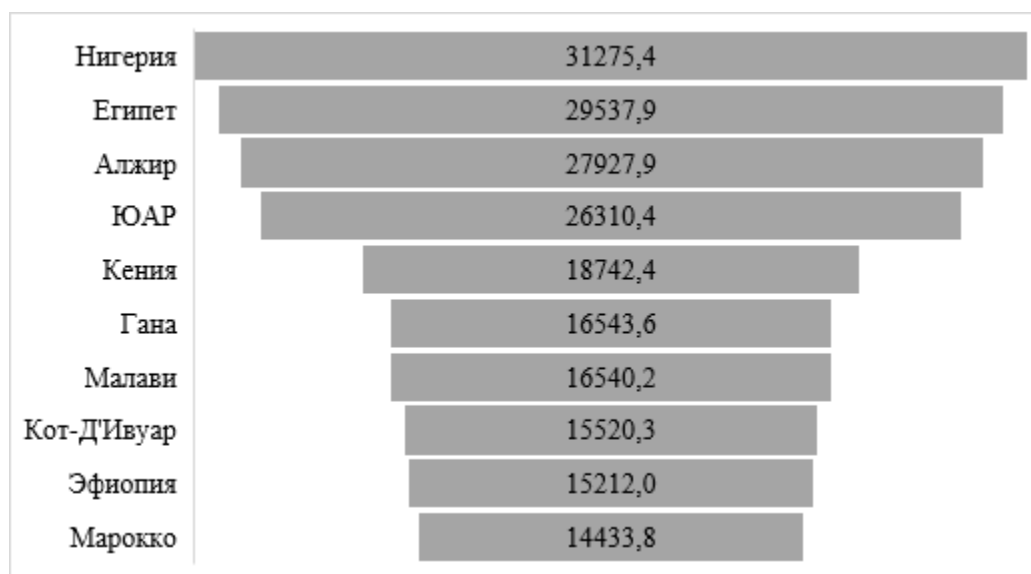


Рисунок 3 – Рейтинг стран Африки по валовой стоимости продукции сельского хозяйства, млн долл. США, 2023 г. [17]

Figure 3 – Ranking of African Countries by Gross Value of Agricultural Production, Million US Dollars, 2023

Нигерия – лидер среди африканских стран по стоимости сельхозпродукции, которая составляет 31 млрд долл., обгоняя Египет и ЮАР. Нигерия – ключевой игрок аграрного сектора континента, обеспечивая почти 10% от всей стоимости аграрной продукции Африки (рис. 4).

Несмотря на то, что Нигерия сохраняет лидерскую позицию, в ее аграрном производстве есть много проблем. Например, это низкая производительность. Урожайность в стране ниже в несколько раз, чем, например, в Египте и ЮАР, которые технологически развиты выше. В Нигерии распространен ручной труд и другие архаичные методы обработки почв, выращивания культур, их сбора, сортировки и переработки. Наблюдается дефицит удобрений. По данным ФАО ООН, орошается всего 1 % земель. Недостаточно развитая инфраструктура – плохие дороги или их полное отсутствие, нехватка хранилищ, транспорта – также влияют на эффективность работы аграрного сектора. Еще одной причиной отсталости сельского хозяйства Нигерии является низкий уровень образования фермеров и их плохой доступ к официальному кредитованию [8]. Итак, Нигерия – важный аграрный игрок на континенте, и объемы производства продукции в стране крайне важны для обеспечения продовольственной и экономической безопасности Африки [1].

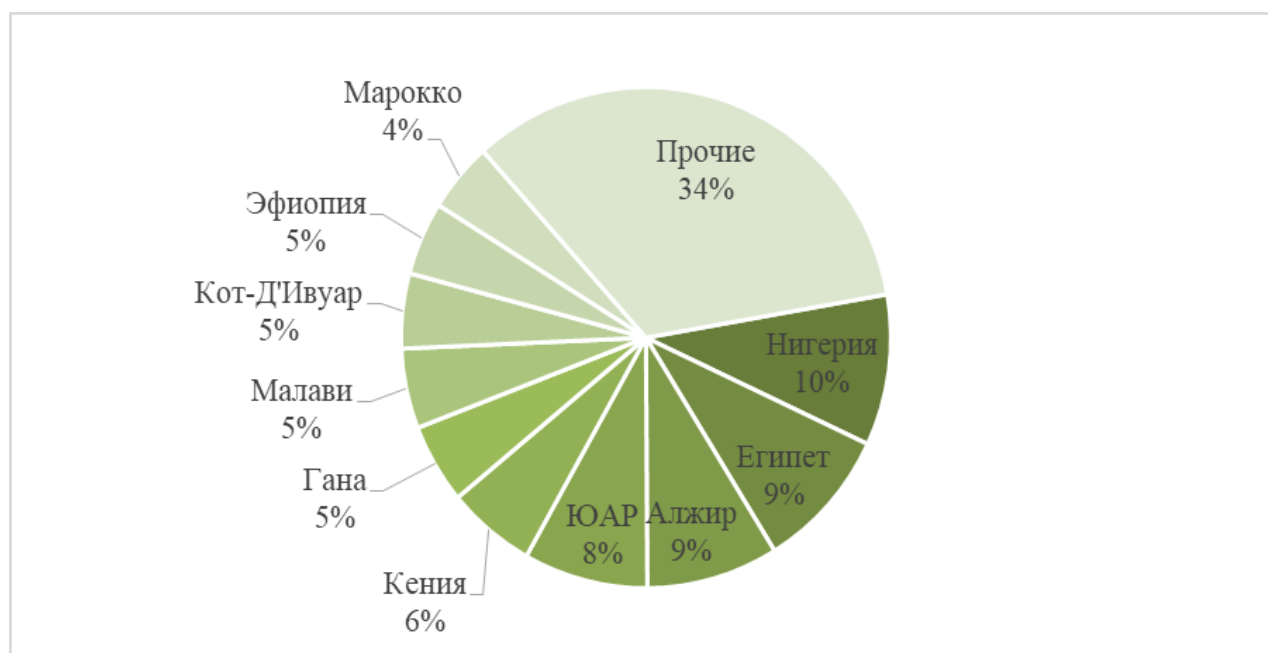


Рисунок 4 – Доля стран в общей валовой стоимости продукции сельского хозяйства Африки, %, 2023 г. [17]

Figure 4 – Share of Countries in the Total Gross Value of Agricultural Production in Africa, %, 2023

Целью работы является описание состояния и развития аграрного производства Нигерии в эпоху интенсивного применения цифровых технологий.

Основные результаты. В Нигерии применяются цифровые технологии, и можно привести несколько примеров. Как уже упоминалось, из-за недостаточно развитой инфраструктуры фермеры часто не имеют доступа к рынкам и официальным каналам закупки выращенной

продукции. Распространена продажа урожая неформальным скупщикам, которые, выкупая весь объем продукции, уплачивают низкую стоимость. Есть примеры использования электронных площадок, разработанных для установления рыночных связей, не требующих посредничества между людьми. “Электронный рынок” объединяет отдельных покупателей (частных лиц с мелкими покупками или оптовиков) и продавцов, в качестве которых могут выступать отдельные фермеры, фермерские группы или кооперативы, публикующие свои предложения. Расчеты на торговых площадках происходят через платежные платформы, и такой способ расчета значительно снижает риски для всех контрагентов. Наиболее используемой платежной платформой является Agrikore Cellulant, нигерийская система смарт-контрактов, цифровых платежей, управления взаимоотношениями с клиентами и рынка на основе технологии блокчейн [8].

В качестве примера электронной площадки можно привести *Village Market Naija* – онлайн-рынок, в котором основное внимание уделяется рекламе сельскохозяйственной продукции, выращенной фермерами, а целью работы проекта является связать потребителя и продавца (производителя), решив логистические проблемы. Подобным рынком является *Vendease* [8].

Подобные решения достаточно широко представлены на цифровом рынке Нигерии. Так, есть *Farmcrowdy* – бизнес-модель, цель которой помочь Нигерии положить конец голоду и повысить продовольственную безопасность. Эта платформа не только помогает фермерам выгодно продать свою продукцию, но и найти инвесторов. Компания *Thrive Agric* предоставляет технологии, облегчающие доступ фермеров к финансированию и рынкам сбыта товаров [8].

Еще один пример поддержки производителей – инновационная нигерийская сельскохозяйственная компания *Babban Gona*. Силами компании разработана цифровая платформа *Babban Gona's Agric OS*, и для сбора и обработки информации используются спутниковые технологии (мониторинг полей для определения состава, влажности почвы, стадии роста растений и др.) и датчики Интернета вещей (IoT), устанавливаемые на производственных участках. Аналитика больших данных (*Big Data*) позволяет получить прогноз урожая и заранее запланировать покупку материалов для производства или заранее заключить сделки с покупателями. Использование финансовых технологий на платформе облегчает процесс получения кредита для фермера, использование электронного кошелька позволяет получить выручку от продажи урожая минуя неофициальных посредников.

По расчетам, прибыль фермеров, использующих перечисленные цифровые инструменты, увеличили свою прибыль вдвое и сократили

потери урожая примерно на треть. За 2023 год цифровыми сервисами Babban Gona воспользовались более 35 тыс. фермеров [10].

Комплексное решение предоставляет компания Zowasel. В ее составе есть платформа для торговли сельхозпродукцией – онлайн-рынок, принципы работы которого не отличаются от представленных выше. Есть цифровые инструменты анализа качества произведенной продукции, что особенно важно при сертификации продукции или определении ее качества. Предоставляются услуги, облегчающие доступ к финансированию в счет будущих урожаев. Мобильные приложения позволяют быть в курсе рыночных цен на материалы, оборудование и продукцию, отслеживать погоду, получать рекомендации по агротехнике, управлять платежами и сделками по купле-продаже. В рамках сертификации продукции (например, какао) применяется технология блокчейн-трекинга, позволяющая отследить происхождение продукции от самой фермы до конечного потребителя. Для сбора и обработки информации применяется Интернет вещей. По подсчетам, использование программ по реализации урожая улучшает логистику и снижает потери, например, зерновых, с 25% до 10% [19].

Большой проблемой для мелких фермерских хозяйств Нигерии является отсутствие современной техники, облегчающей производство продукции. Появились решения, которые связывают фермеров с поставщиками услуг механизации. В стране таким наиболее известным сервисом является Hello Tractor. На цифровой платформе объединяются интересы владельцев техники и фермеров, которые нуждаются в ней. Мобильные приложения позволяют осуществить заказ нужной техники. Как правило, на сельскохозяйственные машины устанавливаются датчики для отслеживания их перемещения и отсчета рабочего времени. Фермер оформляет заказ на необходимую услугу, указывает объемы работ, а система находит подходящую технику на оптимальном расстоянии и рассчитывает стоимость услуги. Оплата проводится также посредством платформы. По сообщению Hello Tractor, в 2023 г. в компанию обратились более полумиллиона фермеров и более 5 тыс. владельцев тракторов. Аренда сельхозмашин сокращает временные и финансовые затраты на производственные процессы до 40% по сравнению с ручным трудом, и за счет того, что обработка происходит быстро и вовремя, увеличивается и урожайность культур [13].

Несмотря на то, что в Нигерии находится достаточно много компаний, предоставляющих самые современные цифровые решения, охват ими все еще очень ограничен. В первую очередь, влияет ограниченное государственное финансирование. “Комплексной программой развития сельского хозяйства в Африке” (*Comprehensive Africa Agriculture Development Programme, CAADP* CAADP еще в 2014 г. был установлен минимальный 10%-ный порог инвестирования в аграрный сектор за счет государственного бюджета. Но Нигерия не приблизилась к нему до сих пор

и проблемы финансирования все еще актуальны. Выделяемые государством средства не позволяют обеспечить распространение цифровых услуг и сопутствующих сервисов в нужном объеме [3]. Также надо отметить, что только половина всего населения стран Африки к югу от Сахары и четверть сельских жителей имеют доступ к электричеству. Примерно 27% африканцев обеспечены доступом к Интернету, около 1/3 населения находится вне досягаемости сигналов мобильной широкополосной связи. И приведенные цифры вполне отражают ситуацию с цифровой инфраструктурой в Нигерии [16].

Еще одной проблемой является низкий уровень грамотности фермеров, в том числе, и цифровой. Так, в Нигерии индекс человеческого капитала (ИЧК), рассчитываемого Всемирным Банком, составляет 0.36, это лучше, чем в Центральноафриканской Республике (0.29), но гораздо хуже, например, ЮАР (0.78) [2]. Для улучшения ситуации во всем регионе Африканский союз разработал Стратегию цифровой трансформации для Африки (2020-2030 гг.) [11]. Большинство стран Субсахарской Африки уже разработали национальные политики в этой области, а Нигерия в 2024 г. разработала законопроект “О национальной цифровой экономике и электронном управлении”, в котором предполагается уделить особое внимание всем вышеперечисленным проблемам, мешающим распространению цифровых технологий, в том числе и в сельском хозяйстве страны [15].

Итак, в решении проблем недостаточного развития сельского хозяйства Нигерии должны сыграть ведущую роль технологии и инновации. Страна обладает высоким потенциалом для цифровой трансформации аграрного производства, но следует устранить существующие препятствия [4].

Выводы. Применение современных технологий помогает повысить эффективность производства, уменьшить потери продукции и увеличить доходы фермеров.

Современные решения повышают уровень образования фермеров, помогают внедрять новые агротехнологии и другие приемы, помогают в закупке ресурсов и продаже урожая, уменьшают риски продажи урожая по сниженной цене и др.

Распространение технологий позволит Нигерии – современному аграрному гиганту Африки – укрепить свои позиции на континенте и еще больше увеличить производство продукции сельского хозяйства.

Список литературы

1. Гаврилова, Н.Г. 60 лет независимого развития: состояние сельского хозяйства в Африке / Н.Г. Гаврилова // International Agricultural Journal. – 2020. – Т. 63. – № 5. – С. 12. DOI: 10.24411/2588-0209-2020-10218. EDN: IBPPFM.
2. Гаврилова, Н.Г. Проблемы и перспективы аграрного образования в странах Африки южнее Сахары / Н.Г. Гаврилова // Аграрная наука и образование на современном

этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения: матер. XIV Междунар. научно-практ. конф. Ульяновск, 2024. – С. 239-243. EDN: HSZULA.

3. Гаврилова, Н.Г. Формирование кадрового потенциала аграрного сектора стран Субсахарской Африки: проблемы и перспективы / Н.Г. Гаврилова // Современная наука: проблемы теории и практики. Серия: Экономика и право. – 2024. – № 6. – С. 22-25. DOI: 10.37882/2223-2974.2024.06.11. EDN: UHCURF.

4. Гомбо, Т.Ф. Взаимосвязь обеспечения продовольственной безопасности и развития системы образования в Анголе / Т.Ф. Гомбо, Р.Р. Мухаметзянов // От модернизации к опережающему развитию: обеспечение конкурентоспособности и научного лидерства АПК: матер. конф. (Екатеринбург, 24-25 марта 2022 г.). Екатеринбург: Уральский ГАУ, 2022. – С. 19–22. EDN: VFEGOL.

5. Денисова, Т.С. Западная Африка: развитие научно-технического образования и проблемы внедрения новых технологий (на примерах Нигерии и Ганы) / Т.С. Денисова, С.В. Костелянец // Контуры глобальных трансформаций: политика, экономика, право. – 2022. – Т. 15. – № 4. – С. 98-115. DOI: 10.31249/kgt/2022.04.06. EDN: YBKIGA.

6. Морозенская, Е.В. Экономическая безопасность в странах Африки к Югу от Сахары: возможные пути преодоления новых вызовов / Е.В. Морозенская, Н.Г. Гаврилова, Л.Н. Калиниченко // Ученые записки Института Африки РАН. – 2024. – Т. 67. – № 2. – С. 82-101. DOI: 10.31132/2412-5717-2024-67-2-82-101. EDN: TCGBBK.

7. Страны тропической Африки: 60 лет политического и экономического развития / под ред. Денисовой Т.С. – М.: Институт Африки РАН, 2021. – 338 с. EDN: GXJXS.

8. Сфера услуг в Африке / под ред. Морозенской Е.В. – М.: Институт Африки РАН, 2024. – 438 с. EDN: NJBZMG.

9. Agriculture, forestry, and fishing, value added (% of GDP) – Nigeria, World Bank [Электронный ресурс]. URL: <https://data.worldbank.org/indicator/NV.AGR.TOTL.ZS?locations=NG> (дата обращения: 02.03.2025).

10. Babban Gona [Электронный ресурс]. URL: <https://babbangona.com> (дата обращения: 02.03.2025).

11. Digital Transformation Strategy for Africa (2020-2030). African Union [Электронный ресурс]. URL: <https://au.int/sites/default/files/documents/38507-doc-dts-english.pdf> (дата обращения: 12.03.2025).

12. Employment in agriculture (% of total employment). World Bank [Электронный ресурс]. URL: <https://data.worldbank.org/indicator/SL.AGR.EMPL.ZS> (дата обращения: 01.03.2025).

13. Hello Tractor [Электронный ресурс]. URL: <https://hellotractor.com> (дата обращения: 02.03.2025).

14. List of products at 2 digits level exported by Nigeria in 2023. Trade Map [Электронный ресурс]. URL: https://www.trademap.org/Product_SelProductCountry.aspx?nvpr=1%7c566%7c%7c%7cTOTAL%7c%7c%7c2%7c1%7c1%7c2%7c1%7c1%7c1%7 (дата обращения: 02.03.2025).

15. National Digital Economy and E-Governance Bill, 2024 [Электронный ресурс]. URL: <https://fmcide.gov.ng/wp-content/uploads/2024/07/National%20Digital%20Economy%20and%20E-Governance%20Bill%2C%202024%20-%20Draft.pdf> (дата обращения: 02.03.2025).

16. Status of digital agriculture in 47 sub-Saharan African countries. Rome, 2022 Food and Agriculture Organization of the United Nations, the International Telecommunication Union [Электронный ресурс]. URL: <https://doi.org/10.4060/cb7943en> (дата обращения: 02.03.2025).

17. Value of Agricultural Production. FAOSTAT [Электронный ресурс]. URL: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QV> (дата обращения: 28.02.2025).

18. World Population Prospects 2024 Department of Economic and Social Affairs. Population Division [Электронный ресурс]. URL: [https://population.un.org/wpp/assets/Excel%20Files/1_Indicator%20\(Standard\)/EXCEL_FILES/1_General/WPP2024_GEN_F01_DEMOGRAPHIC_INDICATORS_COMPACT.xlsx](https://population.un.org/wpp/assets/Excel%20Files/1_Indicator%20(Standard)/EXCEL_FILES/1_General/WPP2024_GEN_F01_DEMOGRAPHIC_INDICATORS_COMPACT.xlsx) (дата обращения: 03.02.2025).

19. Zowasel [Электронный ресурс]. URL: <https://www.zowasel.com> (дата обращения: 02.03.2025).

References

1. Gavrilova, N.G. 60 let nezavisimogo razvitiya: sostoyanie sel'skogo khozyajstva v Afrike [60 years of independent development: the state of agriculture in Africa]. International Agricultural Journal, 2020, vol. 63, no. 5, p. 12. DOI: 10.24411/2588-0209-2020-10218.

2. Gavrilova, N.G. Problemy i perspektivy agrarnogo obrazovaniya v stranakh Afriki yuzhnee Sakhary [Problems and prospects of agricultural education in Sub-Saharan Africa]. Agrarnaya nauka i obrazovanie na sovremennom etape razvitiya: opyt, problemy i puti ikh resheniya: materialy XIV Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii [Proceedings of the XIV International Scientific and Practical Conference]. Ulyanovsk, 2024, pp. 239-243.

3. Gavrilova, N.G. Formirovanie kadrovogo potentsiala agrarnogo sektora stran Subsaharskoj Afriki: problemy i perspektivy [Formation of the personnel potential of the agricultural sector in Sub-Saharan Africa: problems and prospects]. Sovremennaya nauka: problemy teorii i praktiki. Seriya: Ekonomika i pravo, 2024, no. 6, pp. 22-25. DOI: 10.37882/2223-2974.2024.06.11.

4. Gombo, T.F., Mukhametzyanov, R.R. Vzaimosvyaz obespecheniya prodovolstvennoj bezopasnosti i razvitiya sistemy obrazovaniya v Angole [The relationship between food security and the development of the education system in Angola]. Ekaterinburg: Ural'skij GAU, 2022, pp. 19-22.

5. Denisova, T.S., Kostelyanets, S.V. Zapadnaya Afrika: razvitie nauchno-tehnicheskogo obrazovaniya i problemy vnedreniya novykh tekhnologij (na primerakh Nigerii i Gany) [West Africa: Development of Scientific and Technical Education and Problems of New Technologies Implementation (Case Studies of Nigeria and Ghana)]. Kontury global'nykh transformatsij: politika, ekonomika, pravo, 2022, vol. 15, no. 4, pp. 98-115. DOI: 10.31249/kgt/2022.04.06.

6. Morozenskaya, E.V. et al. Ekonomicheskaya bezopasnost' v stranakh Afriki k Yugu ot Sakhary: vozmozhnye puti preodoleniya novykh vyzovov [Economic Security in Sub-Saharan Africa: Possible Ways to Overcome New Challenges]. Uchenye zapiski Instituta Afriki RAN, 2024, vol. 67, no. 2, pp. 82-101. DOI: 10.31132/2412-5717-2024-67-2-82-101.

7. Strany tropicheskoy Afriki: 60 let politicheskogo i ekonomicheskogo razvitiya [Tropical African Countries: 60 Years of Political and Economic Development]. Pod red. Denisova T.S. Moscow: Institut Afriki RAN, 2021. 338 p.

8. Sfera uslug v Afrike [The Service Sector in Africa]. Pod red Morozenskaya E.V. Moscow: Institut Afriki RAN, 2024. 438 p.

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

Конфликт интересов. Автор декларирует отсутствие конфликта интересов.

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

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

История статьи / Article history

Дата поступления в редакцию / Received: 04.03.2025

Поступила после рецензирования и доработки / Received: 25.03.2025
Дата принятия к печати / Accepted: 31.03.2025

Сведения об авторе

Гаврилова Нина Германовна – младший научный сотрудник Центра изучения проблем переходной экономики. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт Африки Российской академии наук (Институт Африки РАН).

Контактная информация: ФГБУН Институт Африки РАН, 123001, Центральный федеральный округ, г. Москва, ул. Спиридоновка, д. 30/1, e-mail: Ninagavrilova1976@gmail.com; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0176-7804>.

Information about the author

Nina G. Gavrilova – Junior Researcher, Center for Transition Economy Studies. Institute for African Studies of the Russian Academy of Sciences.

Contact information: Institute of African Studies of the Russian Academy of Sciences, 123001, Central Federal District, Moscow, Spiridonovka str., 30/1, e-mail: Ninagavrilova1976@gmail.com; ORCID ID: 0000-0003-0176-7804.



DOI 10.51215/2411-6483-2025-54-54-63

УДК 621.311.001.57; 536.24.01; 697.92

Научная статья

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МУЛЬТИКРИТЕРИАЛЬНОГО МЕТОДА ДЛЯ ВЫБОРА КОНСТРУКЦИЙ СИСТЕМ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ

^{1,2} Н.Н. Грачева, ¹ А.Н. Токарева, ¹ Д.С. Чайка, ¹ Я.Н. Зайцев

¹Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ,
г. Зерноград, Ростовская область, Россия

²Донской Государственный технический университет,
Ростов-на-Дону, Россия

Аннотация. Для выбора наиболее рациональных элементов систем энергообеспечения рекомендуется применять мультикритериальный метод с использованием результатов графического анализа. Использование данной методики позволяет снизить трудоемкость проводимых исследований. Рассмотрены примеры использования мультикритериального метода при выборе воздухораспределителей системы воздушного отопления ремонтной мастерской и теплоизоляционных материалов для наружной стены этого здания.

Представлены четыре конструкции воздухораспределителей, при использовании которых достигается необходимая схема циркуляции воздуха в мастерской. Выбор воздухораспределителя проводился по теплофизическим аэродинамическим, акустическим и экономическим характеристикам, величины которых должны стремиться к минимальному значению. Для всех четырех воздухораспределителей построены лепестковые диаграммы по указанным характеристикам. Минимальная площадь диаграммы показывает, какой из воздухораспределителей является наиболее эффективным.

При выборе теплоизоляционного материала для увеличения тепловой защиты здания учитывались теплофизические, физические, механические, геометрические, экономические, теплозащитные свойства, а также свойства надежности и морозостойкости. Все показатели разделены на две группы. Показатели первой группы должны иметь наименьшее значение. Для показателей второй группы предпочтительными являются максимальные величины. Для обеих групп показателей для всех рассматриваемых шести теплоизоляционных материалов с высокими теплозащитными характеристиками также были построены лепестковые диаграммы.

Использование универсальной системы автоматизированного проектирования КОМПАС-График позволило определить площади построенных в среде Microsoft Excel графиков. Величина каждой полученной площади оценена в баллах. Максимальная сумма баллов площадей обеих групп показателей позволила установить наиболее эффективный материал для усиления тепловой защиты здания ремонтной мастерской.

Ключевые слова: лепестковая диаграмма, мультикритериальный метод, воздухораспределитель, теплоизоляционный материал, площадь.

Для цитирования: Грачева Н.Н., Токарева А.Н., Чайка Д.С., Зайцев Я.Н. Использование мультикритериального метода для выбора конструкций систем энергообеспечения. *Электронный научно-практический журнал “Актуальные вопросы аграрной науки”*. 2025; 1(54):54-63. DOI 10.51215/2411-6483-2025-54-54-63.

USING THE MULTICRITERIA METHOD FOR SELECTING POWER SUPPLY SYSTEM DESIGNS

^{1,2}Natalia N. Gracheva, ¹Anna N. Tokareva, ¹Darya S. Chaika, ¹Yaroslav N. Zaytsev

¹Azov-Black Sea Engineering Institute, Donskoy State Agrarian University,
Zernograd, Rostov Region, Russia

²Don State Technical University,
Rostov-on-Don, Russia

Abstract. To select the most rational elements of energy supply systems, it is recommended to apply a multicriteria method using the results of graphical analysis. The use of this technique makes it possible to reduce the complexity of the conducted research. Examples of using the multicriteria method in the selection of air distributors for the air heating system of a repair shop and thermal insulation materials for the exterior wall of this building are considered.

Four designs of air distributors are presented, using which the necessary air circulation scheme in the workshop is achieved. The air distributor was selected based on thermophysical, aerodynamic, acoustic and economic characteristics, the values of which should strive to a minimum value. For all four air distributors in the Microsoft Excel environment, petal diagrams are constructed according to the specified characteristics. The minimum area of the diagram shows which of the air distributors

When choosing a thermal insulation material to increase the thermal protection of the building, thermophysical, physical, mechanical, geometric, economic, thermal protection properties, as well as reliability and frost resistance properties were taken into account. All indicators were divided into two groups. The indicators of the first group should have the lowest value. The maximum values are preferred for the indicators of the second group. Petal diagrams were also constructed for both groups of indicators for all the considered six thermal insulation materials with high thermal protection characteristics.

The use of the universal computer-aided design system COMPASS-Graph made it possible to determine the areas of graphs constructed in the Microsoft Excel environment. The size of each area received was estimated in points. The maximum sum of the points of the areas of both groups of indicators allowed us to establish the most effective material to enhance the thermal protection of the repair shop building.

Key words: petal diagram, multicriteria method, air distributor, thermal insulation material, area.

For citation: Gracheva N.N., Tokareva A.N., Chaika D.S., Zaytsev Ya.N. Using the multicriteria method for selecting power supply system designs. *Electronic scientific-Practical journal “Actual issues of agrarian science”*. 2025; 1(54):54-63. DOI 10.51215/2411-6483-2025-54-54-63.

Введение. В результате расчетов по подбору оборудования систем энергообеспечения часто приходится сталкиваться с тем, что требуемым условиям обеспечения технологического процесса удовлетворяет довольно широкий ряд узлов и материалов. Поэтому, для того чтобы определить использование какого из подходящих элементов является наиболее эффективно, необходимо провести технико-экономическую оценку для целого ряда конструкций. Это существенно увеличивает трудоемкость выполнения и объем выпускных квалификационных работ. В связи с этим

большой интерес вызывает мультикритериальный метод с использованием результатов графического анализа [2].

Проведенные по данной методике исследования [5] позволили установить, применение какого из хладагентов нового поколения обеспечивает наибольший эффект в системах теплоснабжения на базе теплонасосных установок.

Поэтому данный подход было решено использовать при выборе оборудования систем энергообеспечения и материалов здания мастерской по ремонту холодильно-вентиляционного оборудования. Размеры мастерской составляют: длина $l_{\text{п}}=95$ м, ширина $b_{\text{п}}=35$ м, высота $h_{\text{п}}=12$ м.

Цель исследований – повышение энергоэффективности здания ремонтной мастерской путем обоснованного выбора воздухораспределителей системы воздушного отопления и использования в наружных стенах теплоизоляционного материала с наилучшими теплофизическими, механическими, геометрическими, строительными и экономическими характеристиками

Методы исследования – мультикритериальный метод, графоаналитический метод.

Основные результаты. В результате исследований установлено, что условиям обеспечения требуемой циркуляции воздуха в производственном помещении соответствуют:

- перфорированная решётка с выпрямителем и регулятором потока КПУ 650х200;
- двухрядная решетка с регулируемыми жалюзи КДУ 650х200;
- панельный сопловый воздухораспределитель 1ВПС 595х595;
- круглый сопловый диффузор ДПУ-С-250.

Выбор оптимального воздухораспределителя проводился по теплофизическим (избыточная температура Δt), аэродинамическим (потери давления ΔP), акустическим (уровень звуковой мощности $P_{\text{зв}}$) и экономическим (цена, C) характеристикам.

Характеристики воздухораспределителей представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики воздухораспределителей

Table 1 – Characteristics of air distributors

Воздухораспределитель	Избыточная температура Δt , °C	Потери давления ΔP , Па	Уровень звуковой мощности, $P_{\text{зв}}$, ДБ	Стоимость, тыс. руб
КПУ 650х200	1.63	20.31	37.93	3.50
КДУ 650х200	1.38	14.90	36.50	3.46
ДПУ-С-250	0.67	89.89	51.96	1.41
1ВПС 595х595	15.92	124.77	50.26	8.11

Для всех показателей в среде Microsoft Excel построены лепестковые диаграммы, представленные на рисунке 1.

Так как все эти показатели должны стремиться к минимальному значению, то оптимальным воздухораспределителем будет тот, у которого площадь полученной фигуры наименьшая. В данном случае минимальная площадь получилась при использовании воздухораспределителя КДУ 650х200. Таким образом, в системе воздушного отопления мастерской наиболее целесообразно применять воздухораспределители КДУ 650х200.

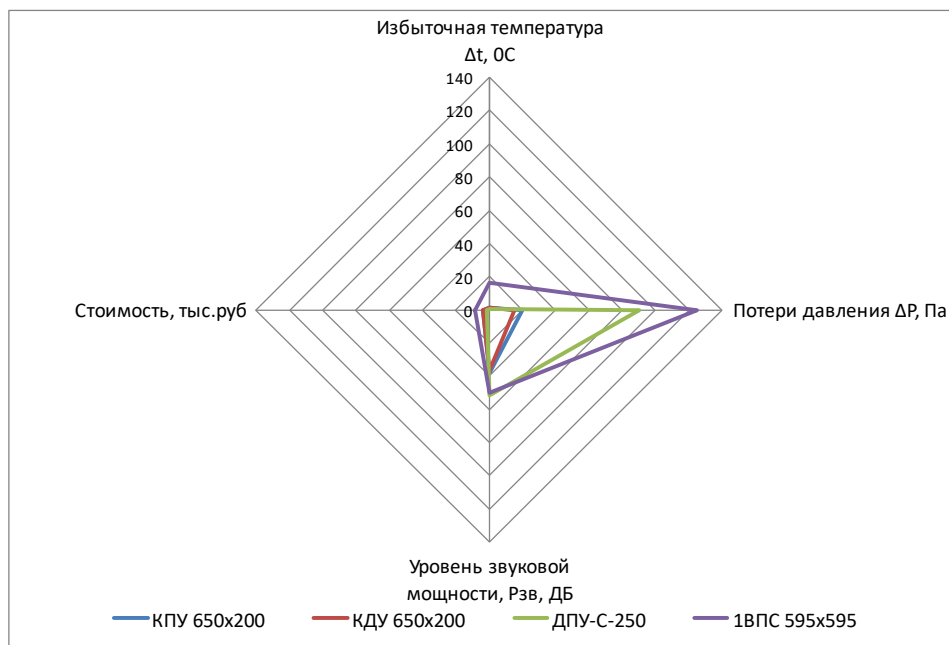


Рисунок 1 – Лепестковая диаграмма характеристик воздухораспределителей

Figure 1 – Characteristics of air distributors

Проведенная технико-экономическая оценка подтвердила эффективность использования данного воздухораспределителя по отношению к трем другим конструкциям.

Мультикритериальный метод с использованием результатов графического анализа также использован при определении оптимального теплоизоляционного материала для усиления тепловой защиты наружных стен мастерской. В настоящее время наиболее широкое распространение получили стекловатные минераловатные изделия, пенополистирол и пеноплекс. В последнее время набирает популярность материал пеностекольной группы – пенокварц.

Критерии для определения наиболее оптимального материала представляют собой:

- характеристики, выбранные по справочным данным [3, 6] (коэффициент теплопроводности, плотность, паропроницаемость, теплоусвоение, теплоемкость, срок службы, прочность на сжатие, стойкость к замораживанию);
- стоимостные характеристики;
- характеристики, полученные в результате расчетов по требованиям

тепловой защиты зданий [3, 4] (толщина, термическое сопротивление, экономия тепловой энергии).

Часть из вышеперечисленных показателей для оптимального варианта должна иметь наименьшее значение, а вторая часть показателей – максимальную величину. Поэтому все характеристики используемых материалов разделены на две группы: критерии с максимальным значением и критерии с минимальным значением.

Характеристики теплоизоляционных материалов приведены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2 – Характеристики теплоизоляционных материалов с минимальным значением

Table 2 – Characteristics of thermal insulation materials with minimum value

Материал	Коэффициент теплопроводности $\lambda, \frac{Вт}{м \cdot ^\circ C}$	Плотность, $\rho, \frac{кг}{м^3}$	Паропроницаемость, $\mu, \frac{мг}{м \cdot ч \cdot Па}$	Толщина, $\delta, м$	Стоимость 1 $м^3, тыс.руб$
Пенополиуретан	0.031	40	0.05	0.03	43
Пенополистирол	0.039	17	0.05	0.015	6.5
Пеноплекс	0.034	35	0.005	0.02	11.5
Пенокварц	0.042	100	0.006	0.04	30
Минеральная вата	0.041	40	0.32	0.02	5.2
Стекловолокно	0.05	12	0.59	0.02	3.5

Таблица 3 – Характеристики теплоизоляционных материалов с максимальным значением

Table 3 – Characteristics of thermal insulation materials with maximum value

Материал	Теплоусвоение, S	Теплоемкость, C	Срок службы,	Прочность на сжатие,	Стойкость к замораживанию/оттаиванию,	Термическое сопротивление	Снижение удельных потерь теплоты
	$\frac{Вт}{м^2 \cdot ^\circ C}$	$\frac{кДж}{кг \cdot ^\circ C}$	лет	МПа	Циклы	$\frac{м^2 \cdot ^\circ C}{Вт}$	$\frac{Вт}{м^2}$
Пенополиуретан	0.37	1.47	15	0.23	15	1.62	17.68
Пенополистирол	0.26	1.34	30	0.1	15	2.18	23.60
Пеноплекс	0.33	1.5	20	0.16	20	1.86	20.64
Пенокварц	0.63	0.84	100	1.0	100	1.62	17.76
Минеральная вата	0.51	0.84	15	0.09	5	1.98	21.90
Стекловолокно	0.18	0.84	50	0.04	130	2.14	23.31

По данным таблиц 2 и 3 также построены лепестковые диаграммы. Так

как численные значения показателей отличались на три порядка, то было принято решение, построить их по целому числу стандартной формы записи. Например, величину теплопроводности пенополиуретана 0.37 представляем как $3.7 \cdot 10^{-2}$, и на соответствующей шкале откладывается участок, соответствующий значению 3.7. Для срока службы пенополиуретана соответственно будет отложен участок, соответствующий значению 1.5, так как в стандартной форме записи срок службы пенополиуретана будет выглядеть как $1.5 \cdot 10^1$.

Исключение сделано только для такой величины как стойкость к замораживанию, так как ее величина колеблется от 5 до 130 циклов. Поэтому цифра 130 была представлена в стандартной форме и величина отрезка соответствовала значению 1.3, в то время как стойкость к замораживанию минеральной ваты представлена отрезком, соответствующим значению 0.05.

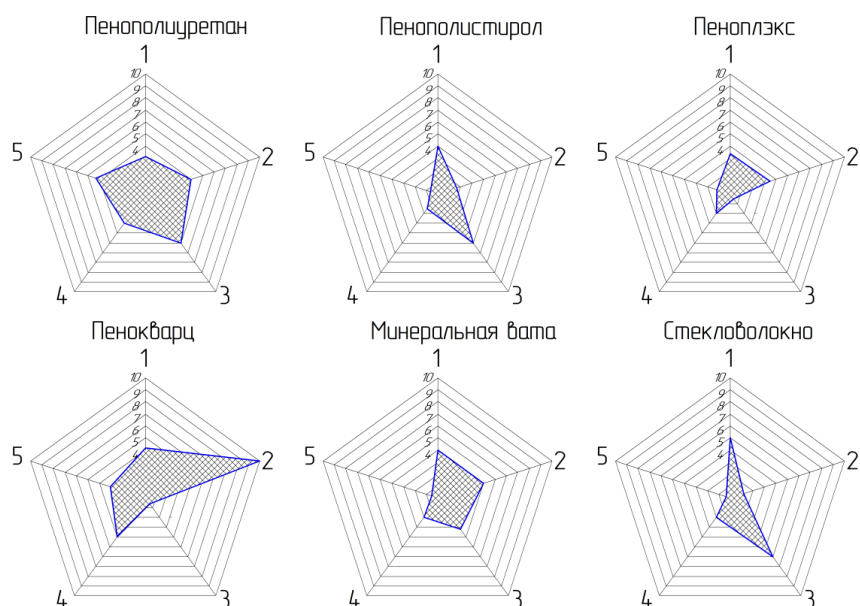
Построенные в среде Microsoft Excel лепестковые диаграммы, в отличие от ранее рассматриваемого примера, существенно отличались по конфигурации друг от друга, и определить какая из площадей будет минимальной или максимальной являлось затруднительным. Поэтому лепестковые диаграммы построены отдельно для каждого рассматриваемого теплоизоляционного материала. Полученные графики экспортированы в универсальную систему автоматизированного проектирования КОМПАС-График, где все диаграммы были выполнены в одинаковом масштабе (рис. 2).

После построения диаграмм в данной системе измерена площадь каждой из них. Минимальная площадь диаграммы для характеристик с минимальным значением получала 6 баллов, максимальная соответственно – 1 балл. Для графиков с максимальным значением характеристик наоборот, диаграмма с наибольшей площадью получала 6 баллов, минимальная – 1 балл. Диаграмма, у которой сумма баллов получилась максимальной, соответствует наиболее эффективному теплоизоляционному материалу для рассматриваемых условий. Результаты исследований представлены в таблице 4.

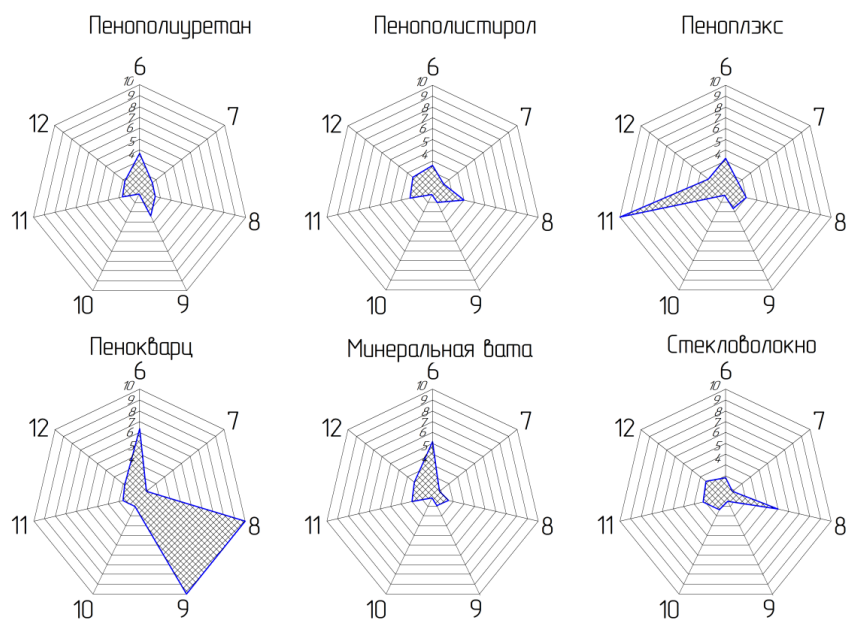
Таблица 4 – Результаты исследований по определению наиболее эффективного теплоизоляционного материала

Table 4 – Results of studies to determine the most effective thermal insulation material

Материал	Диаграмма характеристик с минимальным значением		Диаграмма характеристик с максимальным значением		Итого баллов
	Площадь, мм ²	Балл	Площадь, мм ²	Балл	
Пенополиуретан	2028.55	2	497.67	3	5
Пенополистирол	712.64	5	509.63	4	9
Пеноплекс	564.4	6	742.725	5	11
Пенокварц	2060.85	1	2522.97	6	7
Минеральная вата	1047.2	3	405.66	2	5
Стекловолокно	750.88	4	369.78	1	5



а



б

а-характеристики с минимальным значением, б-характеристики с максимальным значением
 1-коэффициент теплопроводности, 2-плотность, 3-паропроницаемость, 4-толщина,
 5-удельная стоимость, 6-теплоусвоение, 7-теплоемкость, 8-срок службы,
 9-прочность на сжатие, 10-стойкость к замораживанию,
 11-термическое сопротивление, 12-снижение удельных потерь тепловой энергии

Рисунок 2 – Изображение лепестковых диаграмм характеристик теплоизоляционных материалов в системе КОМПАС-График

Figure 2 – Image of petal diagrams of characteristics of heat-insulating materials in the COMPASS-Graph system

Из таблицы 4 следует, что оптимальным вариантом для мастерской, расположенной в южном регионе страны, является пеноплэкс. Этот материал

набрал наибольшее количество баллов. В пользу пеноплекса свидетельствуют также рекомендации строителей и ученых [1, 6] по применению данного теплоизоляционного материала.

Таким образом, при проведении дальнейших работ по совершенствованию тепловой защиты рассматриваемого здания будут рассматриваться ограждающие конструкции с теплоизоляционным слоем из пеноплекса.

Заключение. На основе мультикритериального метода и графического анализа установлено, что для повышения энергоэффективности здания мастерской по ремонту холодильно-вентиляционного оборудования наиболее целесообразно в системе воздушного отопления использовать в качестве воздухораспределителей двухрядные решетки КДУ650х200 с регулируемыми жалюзи, а тепловую защиту наружных стен усилить теплоизоляционной прослойкой из пеноплекса.

Работа выполнена в рамках инициативной НИР на базе Азово-Черноморского инженерного института ФГБОУ ВО Донской ГАУ.

Список литературы

1. Аманова, Б.Н. Анализ современных высокоэффективных теплоизоляционных материалов в ограждающих конструкциях зданий Западно-Казахстанской области / Б.Н. Аманова // Восточно-Европейский научный журнал. – 2023. – № 3-2 (88). – С. 48-54.
2. Деменев, А.В. Оценка показателей качества холодильных агентов, используя инфографическое моделирование / А.В. Деменев, А.И. Данилов // Интернет-журнал "Науковедение" – 2013. – №1. – URL: <https://naukovedenie.ru/PDF/53tvn113.pdf> (дата обращения 21.04.2024).
3. СП 50.13330.2024 "Тепловая защита зданий". Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. – URL: https://www.mss-tver.ru/docs/snip/SP_50_13330_2024.pdf (дата обращения 11.01.2025).
4. "СП 60.13330.2020. Свод правил. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. СНиП 41-01-2003". – URL: <https://xn--j1agcjjg.xn--p1ai/upload/%D0%A1%D0%9F%2060.13330.2020.pdf> (дата обращения 11.01.2025).
5. Токарева, А.Н. Выбор холодильного агента группы гидрофторлефинов для теплонасосной установки теплицы / А.Н. Токарева, М.С. Демченко, А.П. Мартынов // Инженерное обеспечение сельского хозяйства: проблемы, достижения, перспективы: матер. I Междунар. научно-практ. конф., посвящ. 70-летию освоения целинных и залежных земель в Алтайском крае. 22-23 октября. – Барнаул: РИО Алтайского ГАУ, 2024. – С.104-107.
6. Ярцев, В.П. Эксплуатационные свойства и долговечность теплоизоляционных материалов / В.П. Ярцев, А.А. Мамонтов, С.А. Мамонтов // Кровельные и изоляционные материалы. – 2013. – №1. – С.8-11.

References

1. Amanova, B.N. Analiz sovremennyh vysokoeffektivnyh teploizolyacionnyh materialov v ograzhdayushchih konstrukciyah zdaniy Zapadno-Kazahstanskoy oblasti [Analysis of modern high-performance thermal insulation materials in enclosing structures of buildings of West Kazakhstan region]. Vostochno-Evropejskij nauchnyj zhurnal, 2023, no. 3-2 (88), pp. 48-54.

2. Demenev, A.V., Danilov, A.I. Ocenka pokazatelej kachestva holodil'nyh agentov, ispol'zuya infograficheskoe modelirovanie [Evaluation of refrigerant quality attributes using infographic modeling]. <https://naukovedenie.ru/PDF/53tvn113.pdf>

3. SP 50.13330.2024 “Teplovaya zashchita zdaniy”. Aktualizirovannaya redakciya SNiP 23-02-2003. [SP 50.13330.2024 "Thermal protection of buildings." Updated version of SNiP 23-02-2003]. https://www.mss-tver.ru/docs/snip/SP_50_13330_2024.pdf (data obrashcheniya 11.01.2025).

4. “SP 60.13330.2020. Svod pravil. Otoplenie, ventilyaciya i kondicionirovanie vozduha. SNiP 41-01-2003 [“SP 60.13330.2020. Code of practice. Heating, ventilation and air conditioning. SNiP 41-01-2003”]. <https://xn--j1agcjg.xn--p1ai/upload/%D0%A1%D0%9F%2060.13330.2020.pdf>. (data obrashcheniya 11.01.2025).

5. Tokareva, A.N. et all. Vybor holodil'nogo agenta gruppy gidroftorlefinov dlya teplonosnoj ustanovki teplicy [Selection of hydrofluorolefin group refrigerant for greenhouse heat pump plant]. Barnaul: RIO Altajskogo GAU, 2024, pp. 104-107.

6. Yarcev, V.P. et all. Ekspluatacionnye svoystva i dolgovechnost' teploizolyacionnyh materialov [Performance and durability of thermal insulation materials]. Krovel'nye i izolyacionnye materialy, 2013, no. 1, pp. 8-11.

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: 27.02.2025

Поступила после рецензирования и доработки / Revised: 27.03.2025

Дата принятия к печати / Accepted: 31.03.2025

Сведения об авторах

Грачева Наталья Николаевна – кандидат технических наук, заведующий кафедрой “Математика и биоинформатика”. Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ.

Контактная информация: Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ, 347740, Россия, Ростовская область, г. Зерноград, тел. 89286051374, e-mail: grann72@mail.ru; ORCID ID: 0000-0003-3699-7255.

Токарева Анна Николаевна – кандидат технических наук, доцент кафедры “Электроэнергетика и теплоэнергетика”. Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ.

Контактная информация: Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ, 347740, Россия, Ростовская область, г. Зерноград, тел. 89045079811, e-mail: tanna_ing@mail.ru; ORCID ID: 0000-0002-0383-7039.

Чайка Дарья Сергеевна – магистрант кафедры “Электроэнергетика и теплоэнергетика”. Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ.

Контактная информация: Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ, 347740, Россия, Ростовская область, г. Зерноград, тел. 89187815205, e-mail: dasha.chayka.02@bk.ru; ORCID ID: 0009-0008-0671-6188.

Зайцев Ярослав Николаевич – магистрант кафедры “Электроэнергетика и теплоэнергетика”. Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ.
Контактная информация: Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ, 347740, Россия, Ростовская область, г. Зерноград, тел. 89186313305, e-mail: yarikmaloy@yandex.ru; ORCID ID: 0009-0006-3018-0606.

Information about authors

Natalia N. Gracheva – Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Mathematics and Bioinformatics. Azov-Black Sea Engineering Institute of the Don State Agrarian University.

Contact information: Azov-Black Sea Engineering Institute, Donskoy State Agrarian University, 347740, Russia, Rostov region, Zernograd, tel. 89286051374, e-mail: grann72@mail.ru ; ORCID ID: 0000-0003-3699-7255.

Anna N. Tokareva– Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Electric Power and Thermal Power Engineering. Azov-Black Sea Engineering Institute of the Don State Agrarian University.

Contact information: Azov-Black Sea Engineering Institute, Donskoy State Agrarian University, 347740, Russia, Rostov region, Zernograd, tel. 89045079811, e-mail: tanna_ing@mail.ru ; ORCID ID: 0000-0002-0383-7039.

Darya S. Chaika – is a master's student at the Department of Electric Power and Thermal Power Engineering. Azov-Black Sea Engineering Institute of the Don State Agrarian University.

Contact information: Azov-Black Sea Engineering Institute, Donskoy State Agrarian University, 347740, Russia, Rostov region, Zernograd, tel. 89187815205, e-mail: dasha.chayka.02@bk.ru ; ORCID ID: 0009-0008-0671-6188.

Yaroslav N. Zaitsev – is a master's student at the Department of Electric Power and Thermal Power Engineering. Azov-Black Sea Engineering Institute of the Don State Agrarian University.

Contact information: Azov-Black Sea Engineering Institute, Donskoy State Agrarian University, 347740, Russia, Rostov region, Zernograd, tel. 89186313305, e-mail: yarikmaloy@yandex.ru ; ORCID ID: 0009-0006-3018-0606



DOI 10.51215/2411-6483-2025-54-64-74

УДК 631.15:004.9

Научная статья

О СИСТЕМЕ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ПЛАНИРОВАНИЯ АГРАРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Я.М. Иваньо, С.А. Петрова

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

Аннотация. В работе рассмотрена система поддержки принятия решений для прогнозирования и планирования аграрного производства на разных уровнях агрегирования – от хозяйства до сельскохозяйственной зоны. В частности, в Иркутской области агроландшафтные районы включают в себя муниципальные районы, в которые входят разные категории хозяйств. При этом агроландшафтные районы входят в три сельскохозяйственные зоны. Описано информационное обеспечение системы, которое включает в себя данные производственных процессов, зондирования земельных ресурсов, статистических сборников, агрономических и гидрометеорологических сведений, экспертные оценки. В качестве методов и моделей предложены: многоуровневая регрессия, построение законов распределения вероятностей, выделение благоприятных и неблагоприятных событий, прогнозирование, многоуровневая оптимизация производства аграрной продукции в условиях неопределенности, машинное обучение, нейронные сети. Использование систем искусственного интеллекта для получения закономерностей изменчивости динамико-стохастических рядов биологических, климатических и производственно-экономических характеристик позволяет создать базу знаний. Алгоритмы реализации моделей способствуют получению управленческих решений для сложных систем в виде прогнозов и планов на многолетнюю среднесрочную перспективу. Структура системы поддержки принятия решений включает в себя: базу данных, которая формируется из внутренних и внешних источников; методы, модели и алгоритмы с управлением; интерфейс пользователя с взаимодействием с лицом, принимающим решение, и экспертами. Для реализации системы поддержки принятия решений предлагается использовать опыт авторов в создании программных комплексов: “Эколого-математическое моделирование аграрного производства”, “Многоуровневое прогнозирование показателей аграрного производства”, “Планирование в условиях биологических рисков”, “Управление рисками аграрного производства”.

Ключевые слова: система поддержки принятия решения, база знаний, моделирование, прогнозы, сельское хозяйство.

Для цитирования: Иваньо Я.М., Петрова С.А. О системе поддержки принятия решений для прогнозирования и планирования аграрного производства. *Электронный научно-практический журнал “Актуальные вопросы аграрной науки”*. 2025; 1(54):64-74. DOI 10.51215/2411-6483-2025-54-64-74.

ABOUT THE DECISION SUPPORT SYSTEM FOR FORECASTING AND PLANNING AGRICULTURAL PRODUCTION

Yaroslav M. Ivanyo, Sofya A. Petrova

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

Abstract. The paper considers a decision support system for forecasting and planning agricultural production at different levels of aggregation – from a farm to an agricultural zone. In particular, in the Irkutsk region, agro-landscape areas include municipal districts that contain different categories of farms. At the same time, agro-landscape areas are included in three agricultural zones. The information support of the system is described, which consists of data on production processes, land resource probing, statistical collections, agronomic and hydrometeorological information, expert assessments. The following methods and models are proposed: multi-level regression, construction of probability distribution laws, identification of favorable and unfavorable events, forecasting, multi-level optimization of agricultural production under uncertainty, machine learning, neural networks. The use of artificial intelligence systems to obtain patterns of variability of dynamic-stochastic series of biological, climatic and production-economic characteristics allows creating a knowledge base. Algorithms for implementing models allow obtaining management decisions for complex systems in the form of forecasts and plans for a multi-year medium-term perspective. The structure of the decision support system includes: a database formed from internal and external sources; methods, models and algorithms with control; a user interface with interaction with the decision maker and experts. To implement the decision support system, it is proposed to use the authors' experience in creating software packages: “Ecological and mathematical modeling of agricultural production”, “Multi-level forecasting of agricultural production indicators”, “Planning in conditions of biological risks”, “Risk management of agricultural production”.

Keywords: decision support system, knowledge base, modeling, forecasts, agriculture.

For citation: Ivanyo Ya.M., Petrova S.A. About the decision support system for forecasting and planning agricultural production. *Electronic scientific-Practical journal “Actual issues of agrarian science”*. 2025; 1(54):64-74. DOI 10.51215/2411-6483-2025-54-64-74.

Введение. Системы поддержки принятия решений (СППР) широко используются для управления в разных сферах человеческой деятельности. Они представляют собой человеко-компьютерные системы для коммуникаций и электронных форм представления данных, документов, знаний и моделей в решении задач принятия решений [23]. С их помощью можно извлекать знания в виде закономерностей для повышения эффективности принятия управленческих решений [24].

В статье [10] довольно подробно проанализированы разные виды систем поддержки принятия решений, определены основные ее элементы и их взаимодействие. Эти системы широко применяются в энергетике с использованием знаний [8]; образовании – для распределения ограниченных ресурсов [4]; бизнесе – для успешного функционирования хозяйствующего субъекта [5]. Краткий обзор зарубежных систем поддержки принятия

решений в информационно-технологической отрасли приведен в статье [18], в котором одним из направлений развития СППР является использование web-технологий для обеспечения быстрого и недорогого доступа к данным и экспертным знаниям, доступным по всему миру [8].

Развитие сельского хозяйства предполагает разработку и внедрение СППР в разные отрасли с разработкой алгоритмов, методов, моделей [12], применением систем искусственного интеллекта [1, 2, 19] и географических информационных систем для обоснования управленческих решений [15].

Развитие СППР с учетом внедрения новых технологий, систем искусственного интеллекта расширяет рынок продаж этих систем. Согласно [21] рынок интеллектуальных решений к 2031 году достигнет 39.3 млрд. долларов. При этом темпы его ежегодного роста превышают немногим 15% за период 2022-2031 гг.

В продолжение развития систем поддержки принятия решений для прогнозирования и планирования аграрного производства предлагается создание концепции архитектуры СППР на основе разработанных, в том числе авторами статьи: баз данных, математических моделей, прогностических результатов и оптимальных решений для разных условий деятельности сельскохозяйственного товаропроизводителя на разных уровнях агрегирования, что является **целью этой работы**. Что касается **задач** для достижения цели, то они включают в себя:

- 1) описание информационного обеспечения системы;
- 2) обобщение методов, математических моделей, машинного обучения, нейронных сетей и алгоритмов для решения управленческих задач;
- 3) рассмотрение некоторых разработанных программных комплексов для создания СППР.

Научной новизной работы является разработка концепции СППР - выделение основных компонентов, наполнение их содержанием и определение взаимодействия между компонентами, для получения управленческих решений в виде прогнозов и планов производства аграрной продукции.

Материалы и методы. При подготовке статьи использованы материалы разных авторов по вопросам понятия, архитектуры, классификации систем поддержки принятия решений. Выделены СППР, применяемые в сельском хозяйстве с учетом развития искусственного интеллекта. Проанализированы материалы, связанные с разработкой информационного обеспечения для систем поддержки принятия решений. Обобщены методы, математические модели, алгоритмы, разработанные, в том числе авторами работы, для управления производством аграрной продукции. Рассмотрены программные комплексы, которые могут быть использованы для разработки СППР по прогнозированию и планированию производства аграрной продукции.

В работе использованы методы математического моделирования, статистической обработки данных, математического программирования в условиях неопределенности. Для работы с большим объемом данных привлечены методы машинного обучения и нейронных сетей. Применены технологии проектирования информационных систем, формирования баз данных, разработки программного обеспечения.

Основные результаты. Обычно СППР включают в себя следующие компоненты: данные и документы с внешних и внутренних источников с управлением; методы, модели, алгоритмы с управлением; интерфейс пользователя с взаимодействием с лицом, принимающим решение, и экспертами. Управление данными и моделями связано с управлением знаниями [10].

Внутренними источниками сведений для формирования базы данных и документов являются:

- производственно-экономические характеристики за многолетний период для разных уровней агрегирования (хозяйство, муниципальный район);
- собранные климатические характеристики, в том числе историко-архивные), охватывающие определенную территорию;
- многолетние сведения об опасных биологических агентах;
- карты для вычисления коэффициентов негативного влияния эрозионных процессов на урожайность сельскохозяйственных культур;
- сведения о загрязнении почвы промышленными и сельскохозяйственными объектами и др.

К внешним источникам формирования базы данных относятся:

- производственно-экономические характеристики Росстата, регионального министерства сельского хозяйства, организаций, крестьянских (фермерских) хозяйств, постоянно дополняющие внутренние данные;
- климатические характеристики территориальной гидрометеорологической службы, позволяющие дополнять внутренние данные;
- запрашиваемые сведения об опасных биологических агентах, пополняющие внутренние данные;
- сведения об эрозионных процессах и загрязнении почв из разных источников, в том числе регионального министерства природных ресурсов и экологии.

Управление данными заключается в определении закономерностей изменчивости временных рядов производственно-экономических, климатических, экологических и биологических характеристик. Предлагается многоуровневое моделирование временных рядов разных характеристик [7, 11] при условии большого объема исходного ряда не менее 20-25 значений для оценки изменчивости локальных минимумов, локальных максимумов и уровней всего ряда.

На основании многоуровневого моделирования временных рядов возникают ситуации, когда характеристика представляет собой случайную величину или обладает значимыми многоуровневыми трендами. В первом случае значения ряда делятся на три уровня: усредненный (среднее значение выборки), усредненный минимальный (среднее локальных минимумов) и усредненный максимальный (среднее локальных максимумов). Значения, располагающиеся ниже усредненного минимального уровня и выше усредненного максимального уровня, относятся к неблагоприятным (благоприятным) и благоприятным (неблагоприятным) событиям. К случайным характеристикам относятся, например, климатические.

Во втором случае строятся значимые многоуровневые тренды, которые делят ряд на последовательности: усредненный уровень (тренд всего ряда), нижний уровень (тренд локальных минимумов) и верхний уровень (тренд локальных максимумов). Значения расположенные выше верхнего уровня и ниже нижнего, представляют собой благоприятные (неблагоприятные) и неблагоприятные (благоприятные) события. К характеристикам с такими особенностями относятся некоторые производственно-экономические и экологические.

В некоторых случаях характеристика может приниматься в качестве постоянной величины при условии слабой вариации уровней ряда. Малые выборки трудно описывать трендами или законами распределения вероятностей, поэтому их характеристики рассматривают в виде интервальных оценок с верхними и нижними значениями.

Выявление закономерностей многолетней изменчивости разных характеристик позволяет решать задачи прогнозирования на разных уровнях, описывающих благоприятные, неблагоприятные и усреднённые условия ведения сельского хозяйства. При этом многоуровневое моделирование может быть использованы на разных ступенях агрегирования: хозяйство, муниципальный район, агроландшафтный район, сельскохозяйственная зона.

Кроме того, вероятностной оценке подвергаются благоприятные и неблагоприятные события. Если исходные ряды – случайные, то определяются вероятности уровней хвостов, расположенные выше средних локальных максимумов и ниже средних локальных минимумов. Если же ряд обладает многоуровневыми трендами, то оцениваются положительные и отрицательные разности между фактическими данными и значениями трендов локальных максимумов и локальных минимумов.

Таким образом, многоуровневое моделирование позволяет получать прогнозы благодаря многоуровневым трендам и оценивать вероятностные события [7]. Для этого используются следующие выражения: линейное, степенное, логарифмическое, экспоненциальное, параболическое, логистическое и асимптотическое.

Помимо предложенных многоуровневых трендов для прогнозирования производственно-экономических характеристик, в том числе урожайности

сельскохозяйственных культур, применимо машинное обучение и нейронные сети для решения этой задачи [6]. Полученные результаты прогнозирования урожайности на основе использования метеорологических факторов, влияющих на результивный признак, показывают перспективу применения систем искусственного интеллекта.

Для случайных рядов определяются квантили характеристики, соответствующие задаваемым вероятностям.

Помимо трендовых и вероятностных моделей разработаны многоуровневые параметрические модели с неопределенными характеристиками, на основании которых можно получать планы для разных условий деятельности сельскохозяйственного товаропроизводителя, используя прогностические значения трендов [3, 9]. При планировании производства сельскохозяйственной продукции с учётом событий применимы задачи стохастического программирования, определяющие оптимальные планы в условиях высоких рисков и хороших условий работы.

Многоуровневые модели математического программирования применимы на разных ступенях агрегирования [9], позволяя планировать производство в хозяйствах, муниципальных районах, агроландшафтных районах, сельскохозяйственных зонах. В частности, для Иркутской области разработана система земледелия, основанная на делении территории на агроландшафтные районы, которые входят в сельскохозяйственные зоны [17]. Агроландшафтное районирование определяет разные стороны рационального использования земельных ресурсов [16].

Сельское хозяйство подвержено влиянию многих природных и антропогенных факторов, влияющих на результаты деятельности сельскохозяйственного товаропроизводителя, поэтому в СППР предлагается использовать эколого-математические модели, позволяющие оптимизировать производство аграрной продукции с учетом загрязнения почвы и эрозионных процессов [11]. При этом модель может описывать сочетание орошаемого и неорошаемого земледелия для получения продукции.

Неопределенность многих характеристик предполагает использования экспертных оценок. В работе [22] приведен пример оптимизации заготовки дикорастущих ресурсов для планирования. Поскольку Иркутская область обладает значительным потенциалом дикоросов, одним из направлений получения дополнительной высококачественной продовольственной продукции является их заготовка. На наш взгляд, перспективным является направление сочетания производства сельскохозяйственной продукции и заготовки дикоросов.

Алгоритмы реализации описанных моделей способствуют получению управленческих решений, прежде всего, для планирования производства сельскохозяйственной продукции в разных условиях (усредненные, благоприятные, неблагоприятные), в том числе с учетом экстремальных

событий. Другими словами, лицо, принимающее решения, получает разные варианты планов или ситуаций, в которых может оказаться хозяйство, муниципальный район, агроландшафтный район, сельскохозяйственная зона.

Переходя к интерфейсу системы поддержки принятия решений можно использовать опыт разработки программных комплексов по прогнозированию и планированию производства аграрной продукции. С помощью предложенного программного обеспечения [13] возможно прогнозировать урожайность сельскохозяйственных культур для благоприятных, неблагоприятных и усредненных условий деятельности сельскохозяйственного товаропроизводителя. Программу “Эколого-математическое моделирование аграрного производства” [14] можно использовать в качестве модуля СППР для прогнозирования и планирования производства.

Таким образом, взаимодействие базы данных, пополняемое с внешних источников, с методами моделирования и прогнозирования определяет прогнозы, из которых выбираются лучшие по критериям качества модели и прогноза. Аналогичным образом могут быть получены планы для разных условий деятельности сельскохозяйственных товаропроизводителей на разных ступенях агрегирования.

Заключение. Определена концепция системы поддержки принятия решений для прогнозирования и планирования производства аграрной продукции в разных условиях деятельности товаропроизводителей на разных ступенях агрегирования, включающая в себя данные и документы с внешних и внутренних источников с управлением; методы, модели, алгоритмы с управлением; интерфейс пользователя с взаимодействием с лицом, принимающим решение, и экспертами

Описаны внутренние и внешние данные и документы для формирования базы данных СППР: производственно-экономические, климатические, биологические, экологические с постоянным пополнением с внешних источников.

Обобщены математические модели, позволяющие решать задачи многоуровневого прогнозирования и планирования на разных ступенях агрегирования (хозяйство, муниципальный район, агроландшафтный район, сельскохозяйственная зона, регион), а также с учетом вероятностных экстремальных событий.

Рассмотрены программные комплексы, разработки которых можно использовать при создании программного обеспечения для СППР.

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

Список литературы

1. Аксенов, А.Г. Анализ интеллектуальных систем поддержки принятия решений в сельском хозяйстве / А.Г. Аксенов // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2019. – № 3 (36). – С. 46-51.
2. Асалханов, П.Г. О концепции разработки системы поддержки принятия решений для отраслей сельского хозяйства / П.Г. Асалханов, Н.В. Бендик // Актуальные вопросы аграрной науки. – 2022. – № 43. – С. 35-42.
3. Барсукова, М.Н. Приложения параметрического программирования для решения задач оптимизации получения продовольственной продукции / М.Н. Барсукова, Я.М. Иваньо // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2017. – Т. 21. – № 4 (123). – С. 57-66.
4. Веб-DSS для распределения ресурсов в сфере высшего образования / К.Л. Мартинс, П. Зарате, А. Тейшейра де Алмейда и [др.] // Международный журнал системных технологий поддержки принятия решений (IJDSST)13(4). – 2021. – Т.13. – Вып. 4. – 23 с.
5. Зайцев, С.В. Системы поддержки принятия решения как основа успешного функционирования хозяйствующего субъекта в современном бизнесе / С.В. Зайцев // Мягкие измерения и вычисления. – 2020. – Т. 37, – № 12. – С. 77-83.
6. Замараев, А.О. Машинное обучение в решении задач прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур / А.О. Замараев, Е.С. Климов, Я.М. Иваньо // В сб.: Комплексное развитие территорий в условиях цифровой трансформации: матер. междунар. научно-практ. конф., посвящ. 90-летию ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ. – п. Молодежный, 2024. – С. 59-65.
7. Иваньо, Я.М. Моделирование многоуровневой динамики урожайности сельскохозяйственных культур / Я.М. Иваньо, С.А. Петрова // Вестник КрасГАУ. – 2024. – № 12 (213). – С. 66-77.
8. Массель, Л.В. Экосистема знаний для поддержки исследований и управления развитием энергосистем / Л.В. Массель // В сб.: XIV Всероссийское совещание по проблемам управления. – Москва, 2024. – С. 3224-3231.
9. Многоуровневое моделирование производства растениеводческой продукции на разных ступенях агрегирования / Я.М. Иваньо, С.А. Петров, М.Н. Полковская, И.А. Собилов // Вестник ИрГСХА. – 2024. – № 125. – С. 25-36.
10. Овчинников, В.В. Архитектура и таксономия систем поддержки принятия решений / В.В. Овчинников, С.А. Станкевич, С.Н. Никольский // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2018. – № 3 (43). – С. 37-46.
11. Оптимизация производства сельскохозяйственной продукции при сочетании орошаемых и неорошаемых земель / Я.М. Иваньо, Е.А. Ковалева, Ю.М. Краковский, С.А. Петрова // Достижения науки и техники АПК. – 2024. – Т. 38. – № 5. – С. 48-54.
12. Рахматуллин, Р.Р. Разработка алгоритмов решения задач оптимизации производства для программного обеспечения системы поддержки принятия решений в сельском хозяйстве / Р.Р. Рахматуллин, Е.А. Спешилова, А.А. Чумаков // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2023. – Т. 11. – № 3 (42). – С. 22-23.
13. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2022665666 Российская Федерация. Многоуровневое прогнозирование показателей аграрного производства: № 2022665000: заявл. 10.08.2022: опубл. (зарег.) 18.08.2022 / Я.М. Иваньо, А.А. Ромме, М.Н. Барсукова; заявитель Иркутский ГАУ. – 1 с.
14. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2021660517 Российская Федерация. Эколого-математическое моделирование аграрного производства: № 2021614806 : заявл. 01.04.2021: опубл. (зарег.) 28.06.2021 / Е.А. Ковалева, Я.М. Иваньо, А.В. Теплов; заявитель Иркутский ГАУ. – 1 с.

15. Современные тенденции в развитии геоинформационных систем для поддержки решений в сельском хозяйстве / В.Л. Баденко, Г.В. Баденко, Ю.В. Волкова, Н.С. Муромцева // Вестник факультета землеустройства Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2020. – № 6. – С. 5-8.

16. Солодун, В.И. Агроэкологические аспекты формирования структуры использования пашни в Иркутской области / В.И. Солодун, В.В. Луговнина // География и природные ресурсы. – 2023. – Т. 44. – № 3. – С. 111-116.

17. Солодун, В.И. Сельскохозяйственное районирование и использование агроландшафтов в земледелии Иркутской области: монография / В.И. Солодун. – Иркутск: Изд-во Иркутский ГАУ, 2018. – 200 с.

18. Тананов, В.А. Анализ зарубежных систем поддержки принятия решений в информационно-технологической отрасли / В.А. Тананов // Региональная и отраслевая экономика. – 2023. – №5 (223). – С. 387-392.

19. Ялунина, Е.Н. Совершенствование процесса принятия управленческих решений в сельском хозяйстве с применением систем искусственного интеллекта / Е.Н. Ялунина, Н.К. Прядилина, Е.А. Скворцов // Аграрный вестник Урала. – 2024. – Т. 24. – № 3. – С. 440-449.

20. Dastres, R., Soori, M. Advances in Web-Based Decision Support Systems / International Journal of Engineering and Future Technology. 2022, no. 19, pp. 2-15.

21. Decision Intelligence Market Research, 2031. – URL: <https://www.alliedmarketresearch.com/decision-intelligence-market-A53623>.

22. Ivanyo, Ya.M., Petrova, S.A. Optimization models of food processing wild-growing products with expert assessments. Critical Infrastructures: Contingency Management, Intelligent, Agent-based, Cloud Computing And Cyber Security (IWCI 2019). Proceedings of the VIth International Workshop. Melentiev Energy Systems Institute of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. – 2019, pp. 108-113.

23. Power, D.J. Decision support systems: a historical overview / Handbook on Decision Support Systems 1. – Springer, 2008, pp. 121-140

24. Sprague, R.H., Carlson, E.D. Building effective decision support systems. – Prentice Hall Professional Technical Reference, 1982, 329 p.

References

1. Aksenov, A.G. Analiz intellektual'nykh sistem podderzhki prinyatiya resheniy v sel'skom khozyaystve [Analysis of intelligent decision support systems in agriculture]. Elektrotekhnologii i elektrooborudovaniye v APK, 2019, no. 3 (36), pp. 46-51.

2. Asalkhanov, P.G., Bendik, N.V. O kontseptsii razrabotki sistemy podderzhki prinyatiya resheniy dlya otrasley sel'skogo khozyaystva [On the concept of developing a decision support system for agricultural sectors]. Aktual'nyye voprosy agrarnoy nauki, 2022, no. 43, pp. 35-42.

3. Barsukova, M.N., Ivanyo, Ya.M. Prilozheniya parametricheskogo programmirovaniya dlya resheniya zadach optimizatsii polucheniya prodovol'svennoy produktsii [Applications of parametric programming for solving problems of optimization of food production]. Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2017, vol. 2, no. 4 (123), pp. 57-66.

4. Martins, K.L. et all. Veb-DSS dlya raspredeleniya resursov v sfere vysshego obrazovaniya [Web DSS for Resource Allocation in Higher Education]. Mezhdunarodnyy zhurnal sistemnykh tekhnologiy podderzhki prinyatiya resheniy (IJDSS)13(4), 2021, vol. 13, issue. 4, 23 p.

5. Zaytsev, S.V. Sistemy podderzhki prinyatiya resheniya kak osnova uspeshnogo funktsionirovaniya khozyaystvuyushchego sub"yekta v sovremennom biznese [Decision support

systems as the basis for successful functioning of an economic entity in modern business].
Myagkiye izmereniya i vychisleniya, 2020, vol. 37, no. 12, pp. 77-83.

6. Zamarayev, A.O. et all. Mashinnoye obucheniye v reshenii zadach prognozirovaniya urozhaynosti sel'skokhozyaystvennykh kul'tur [Machine learning in solving problems of forecasting crop yields]. Molodezhnyy, 2024, pp. 59-65.

7. Ivanyo, Ya.M., Petrova, S.A. Modelirovaniye mnogourovnevoy dinamiki urozhaynosti sel'skokhozyaystvennykh kul'tur [Modeling of multilevel dynamics of agricultural crop yields]. Vestnik KrasGAU, 2024, no. 12 (213), pp. 66-77.

8. Massel', L.V. Ekosistema znaniy dlya podderzhki issledovaniy i upravleniya razvitiyem energosistem [Knowledge ecosystem to support research and management of energy systems development]. Moscow, 2024, pp. 3224-3231.

9. Ivanyo, Ya.M. et all. Mnogourovnevoye modelirovaniye proizvodstva rasteniyevodcheskoy produktsii na raznykh stupenyakh agregirovaniya [Multilevel modeling of crop production at different levels of aggregation]. Vestnik IrSAA, 2024, no. 125, pp. 25-36.

10. Ovchinnikov, V.V. Arkhitektura i taksonomiya sistem podderzhki prinyatiya resheniy [Architecture and taxonomy of decision support systems]. Prikaspiyskiy zhurnal: upravleniye i vysokiye tekhnologii, 2018, no. 3 (43), pp. 37-46.

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

12. Rakhmatullin, R.R. et all. Razrabotka algoritmov resheniya zadach optimizatsii proizvodstva dlya programmogo obespecheniya sistemy podderzhki prinyatiya resheniy v sel'skom khozyaystve [Development of algorithms for solving production optimization problems for software of decision support system in agriculture]. Modelirovaniye, optimizatsiya i informatsionnyye tekhnologii, 2023, vol. 11, no. 3 (42), pp. 22-23.

13. Ivanyo, Ya.M. et all. Svidetel'stvo o registratsii programmy dlya EVM RU 2022665666 Rossiyskaya Federatsiya. Mnogourovnevoye prognozirovaniye pokazateley agrarnogo proizvodstva [Multilevel forecasting of agricultural production indicators:]. No. 2022665000: zayavl. 10.08.2022: opubl. (zareg.) 18.08.2022, zayavitel' Irkutsk SAU, 1 p.

14. Kovaleva, Ye.A. et all. Svidetel'stvo o registratsii programmy dlya EVM RU 2021660517 Rossiyskaya Federatsiya. Ekologo-matematicheskoye modelirovaniye agrarnogo proizvodstva [Ecological and mathematical modeling of agricultural production]: No. 2021614806 : zayavl. 01.04.2021: opubl. (zareg.) 28.06.2021, zayavitel' Irkutsk SAU, 1 p.

15. Badenko, V.L. et all. Sovremennyye tendentsii v razvitii geoinformatsionnykh sistem dlya podderzhki resheniy v sel'skom khozyaystve [Modern trends in the development of geographic information systems to support decisions in agriculture]. Vestnik fakul'teta zemleustroystva Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, 2020, no. 6, pp. 5-8.

16. Solodun, V.I., Lugovnina, V.V. Agroekologicheskiye aspekty formirovaniya struktury ispol'zovaniya pashni v Irkutskoy oblasti [Agroecological aspects of the formation of the structure of arable land use in the Irkutsk region]. Geografiya i prirodnyye resursy, 2023, vol. 44, no. 3, pp. 111-116.

17. Solodun, V.I. Sel'skokhozyaystvennoye rayonirovaniye i ispol'zovaniye agrolandshaftov v zemledelii Irkutskoy oblasti: monografiya [Agricultural zoning and use of agrolandscapes in agriculture of the Irkutsk region: monograph]. Irkutsk: Izd-vo Irkutsk SAU, 2018, 200 p.

18. Tananov, V.A. Analiz zarubezhnykh sistem podderzhki prinyatiya resheniy v informatsionno -tekhnologicheskoy otrasli [Analysis of foreign decision support systems in the information technology industry]. Regional'naya i otraslevaya ekonomika, 2023, no. 5 (223), pp. 387-392.

19. Yalunina, Ye.N. et all. Sovershenstvovaniye protsessa prinyatiya upravlencheskikh resheniy v sel'skom khozyaystve s primeneniym sistem iskusstvennogo intellekta [Improving the process of making management decisions in agriculture using artificial intelligence systems]. Agrarnyy vestnik Urala, 2024, vol. 24, no. 3, pp. 440-449.

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

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие конфликта интересов.

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

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

История статьи / Article history:

Дата поступления в редакцию / Received: 21.03.2025

Поступила после рецензирования и доработки / Revised: 25.03.2025

Дата принятия к печати / Accepted: 31.03.2025

Сведения об авторах

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

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

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

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

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, e-mail: iymex@rambler.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4118-7185>.

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

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



DOI 10.51215/2411-6483-2025-54-75-89

УДК 004.415.2: 631

Научная статья

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ СТАТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РАБОЧИХ ЛОПАТОК ПАРОВЫХ ТУРБИН С ПОВРЕЖДЕНИЯМИ В ВИДЕ ТРЕЩИН

О.В. Репецкий, Хон Ир Ким

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

Аннотация. В настоящее время математическое моделирование и численный анализ ресурсных характеристик турбомашин являются одним из важных направлений исследований при создании новых турбомашин и удлинении использования турбомашин с расстройкой параметров. Причиной расстройки параметров является разнообразие геометрических форм лопаток, которое возникает в конструкциях из-за отклонения технологии изготовления и износа при эксплуатации и других факторов. В этой связи для основного исследования характерно учитывать влияние существующей случайной расстройки роторов турбомашин в виде конструктивных геометрических дисбалансов и механических свойств лопаток. Важным элементом расстройки может являться нарушение циклической симметрии из-за эксплуатационных повреждений в виде: трещин, забоин, погнутостей и других дефектов. Целью данного исследования является математическое моделирование и численный анализ разных вариантов трещин при учёте их расположения на лопатке, геометрических форм лопаток, отклонения массы и негативных влияний колебаний роторов энергетических и транспортных турбомашин при учёте вращения и температуры.

В настоящей работе приведен анализ первой части ресурсных характеристик лопаток паровых турбин (статических напряжений с учетом давления пара и оборотов вращения) с эксплуатационными повреждениями в виде трещин разной величины для дальнейшего исследования усталостной прочности и блочных моделей расстройки.

Ключевые слова: математическое моделирование, численный анализ, расстройка параметров, трещина, паровая турбомашина.

Для цитирования: Репецкий О.В., Ким Хон Ир Математическое моделирование и численный анализ статических и динамических характеристик рабочих лопаток паровых турбин с повреждениями в виде трещин. *Электронный научно-практический журнал “Актуальные вопросы аграрной науки”*. 2025; 1(54):75-89. DOI 10.51215/2411-6483-2025-54-75-89.

MATHEMATICAL MODELING AND NUMERICAL ANALYSIS OF STATIC AND DYNAMIC CHARACTERISTICS OF STEAM TURBINE BLADES WITH DAMAGE IN THE FORM OF CRACKS

Oleg V. Repetskii, Hong Il Kim

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

Abstract. At present, mathematical modeling and numerical analysis of the resource characteristics of turbomachines are one of the important areas of research in the creation of new turbomachines and extending the use of turbomachines with parameter mismatch. The reason for the mismatch of parameters is the variety of geometric shapes of the blades, which occurs in designs due to deviations in manufacturing technology and wear during operation and other factors. In this regard, it is typical for the main study to take into account the influence of the existing random misalignment of turbomachine rotors in the form of structural geometric imbalances and mechanical properties of the blades. An important element of misalignment can be a violation of cyclic symmetry due to operational damage in the form of cracks, nicks, bends and other defects. The purpose of this study is mathematical modeling and numerical analysis of different variants of cracks taking into account their location on the blade, geometric shapes of the blades, mass deviations and negative infusions of oscillations of rotors of power and transport turbomachines taking into account rotation and temperature.

This paper presents an analysis of the first part of the resource characteristics of steam turbine blades (static stresses taking into account steam pressure and rotation speed) with operational damage in the form of cracks of different sizes for further study of fatigue strength and block models of misalignment.

Keywords: mathematical modeling, numerical analysis, parameter misalignment, crack, steam turbomachine.

For citation: Repetskii O.V., Kim Hong Il Mathematical modeling and numerical analysis of static and dynamic characteristics of steam turbine blades with damage in the form of cracks. *Electronic scientific-Practical journal "Actual issues of agrarian science"*. 2025; 1(54):75-89. DOI 10.51215/2411-6483-2025-54-75-89.

Введение. Для повышения ресурсных характеристик осевых и радиальных турбомашин с расстройкой геометрических и механических параметров учитывают негативное влияние существующей случайной расстройки на вынужденную реакцию роторов турбомашин. **Целью работы** является изучение конструктивных вариаций осевых и радиальных роторов турбомашин, изменений геометрических и эксплуатационных свойств лопаток, для минимизации явлений дисбаланса, снижения динамической нагрузки и оптимизации их ресурса в зависимости от случайной расстройки параметров влияния и повреждений [2, 3]. Для этого использован метод конечных элементов [1-3].

В математических моделях и численных алгоритмах для прогнозирования долговечности рабочих колес с расстройкой параметров проанализированы

вынужденные колебания моделей дисков с лопатками с разными вариантами расстройки. Дополнительно исследовано влияния производственного допуска и стоимости изготовления рабочего колеса, проанализирован вид расположения лопатки и отклонения массы на уровне блочного расположения лопаток по ободу диска [2].

В данной статье излагается метод математического моделирования и численного анализа ресурсных характеристик турбомашин с расстройкой параметров на уровне исследования статического напряженно-деформированного состояния (НДС), собственных частот и форм колебаний в виде эксплуатационных повреждений и дефектов на примере трещины.

Материалы и результаты исследования. На первой стадии работы проведён анализ статики и свободных колебаний для одной лопатки модели паровой турбины. Исследованы изменения геометрической формы лопатки, такие как размер и расположение трещины. Рабочее колесо данной паровой турбины [3] изготовлено из нержавеющей стали 304 и имеет следующие механические характеристики: модуль Юнга – $1.93 \cdot 10^5$ МПа; плотность – 7900 кг/м^3 ; коэффициент Пуассона – 0.25.

На следующем этапе, будет проведён анализ для разных лопаток в системе рабочего колеса с учетом эксплуатационных характеристик турбомашин (скорости вращения, температуры, давления).

В общем, данный анализ турбомашин проведён методом конечных элементов [1-3]. Уравнения движения благодаря этому методу для статики и свободных колебаний могут быть представлены в виде:

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

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

где, δ – вектор перемещений; K_E и M – матрицы жёсткости и массы, соответственно; K_G – матрица геометрической жёсткости, зависящая от скорости и температуры; K_R – дополнительная матрица жёсткости, возникающая в результате вращения; F_Ω , F_T , F_G – векторы, соответствующие силам вращения, температуры и давления газа соответственно, C – матрица демпфирования.

Для анализа ресурсных характеристик турбомашин с расстройкой параметров вычислены деформации по форме колебаний лопатки, частоты свободных колебаний и статические напряжения.

Общий вид и конечноэлементная модель (КЭМ) рабочей лопатки паровой турбины представлены на рисунке 1 [3].

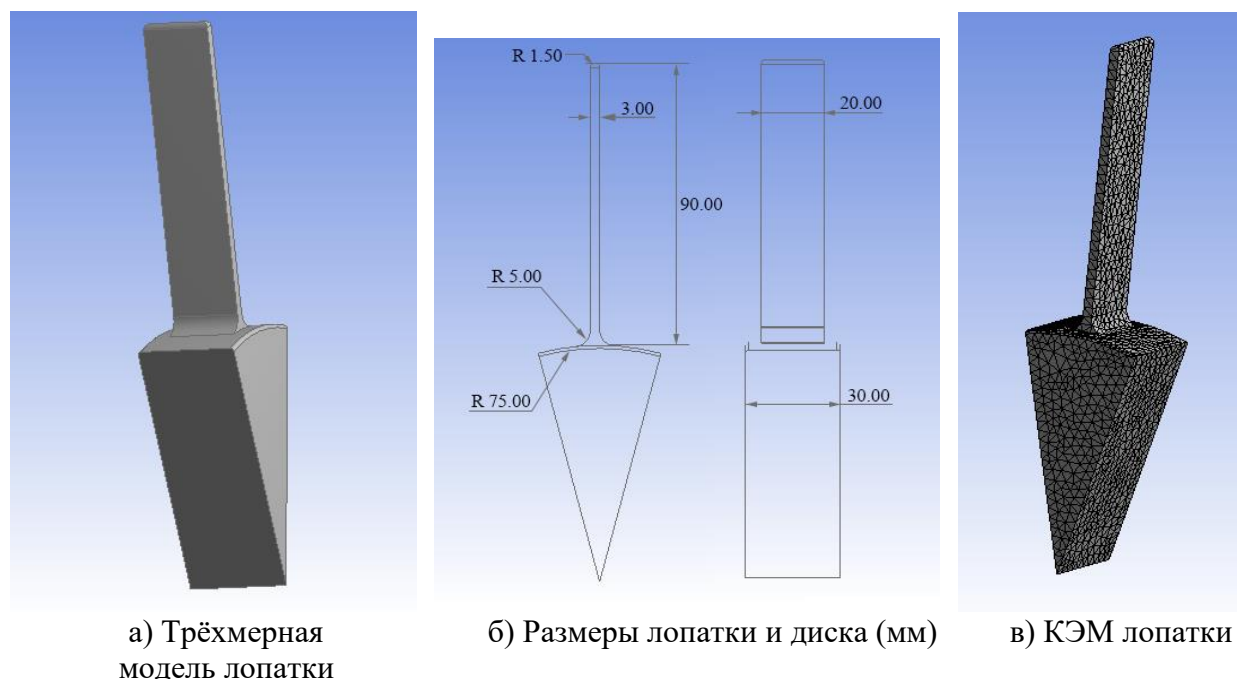


Рисунок 1 – Общий вид и КЭМ рабочей лопатки паровой турбины

Figure 1 – General view and FEM of a steam turbine working blade

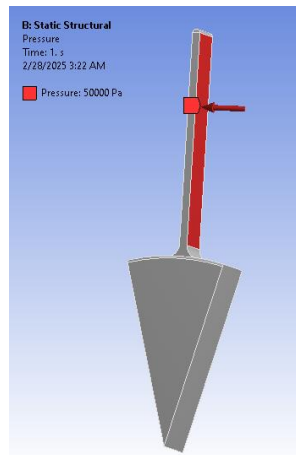
Численные исследования выполнены в программе ANSYS. На рис. 2 показаны результаты расчета статических напряжений от давления пара 0.5 МПа. В таблицах 1 и 2 представлен результат расчета собственных частот колебаний (Гц) с учетом давления пара.

Таблица 1 – Результат расчета собственных частот с учетом давления пара

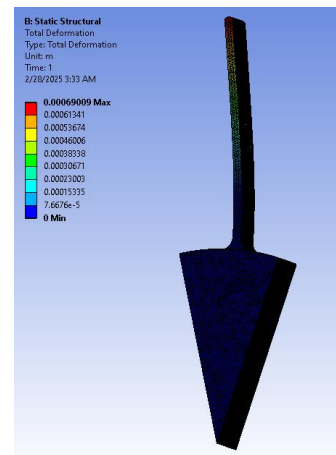
Table 1 – The result of calculating natural frequencies taking into account the steam pressure

Форма колебаний	Собственные частоты колебаний
1	323.53
2	1968.5
3	2012.7
4	2672.2
5	5591.1
6	8188.5

Влияние вращения на частоты собственных колебаний идеальной лопатки представлено в таблице 3.



а) Условие закрепления и статическое напряжение от давления пара 0.5 Мпа



б) Результат расчета статических напряжений

Рисунок 2 – Результат расчета статических напряжений

Figure 2 – Result of static stress calculation

Таблица 2 – Первые 6 форм колебаний лопатки

Table 2 – The first 6 modes of blade oscillations

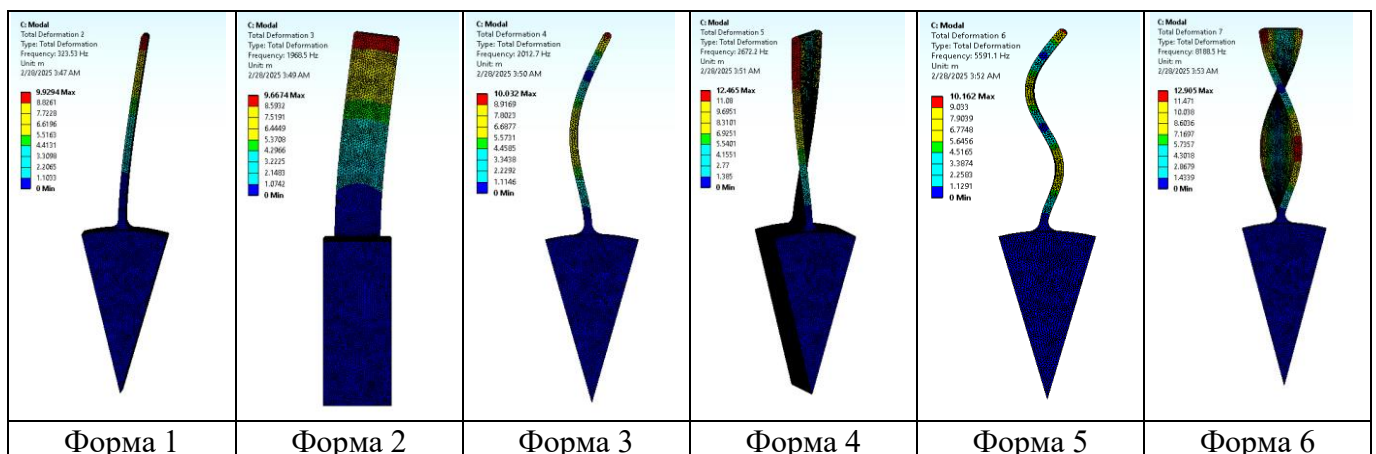


Таблица 3 – Результаты расчета собственных частот (Гц) на оборотах

Table 3 – Results of calculation of natural frequencies (Hz) at revolutions

Форма колебаний	Без вращения	100. рад/с	500. рад/с	1000. рад/с
1	324.42	324.42	324.42	324.42
2	1937.3	1937.3	1506.1	1076.6
3	2019.	2019.	2019.	2019.
4	2753.6	2753.6	3530.5	4864.2
5	5613.7	5613.7	5613.7	5613.7
6	8265.4	8265.4	8081.3	7719.1
7	10392	10392	10646	11252
8	10897	10897	10897	10897
9	14037	14037	14037	14037
10	14339	14339	14362	14445

Резонансная диаграмма (диаграмма Кэмпбелла) изображена на рисунке 3.

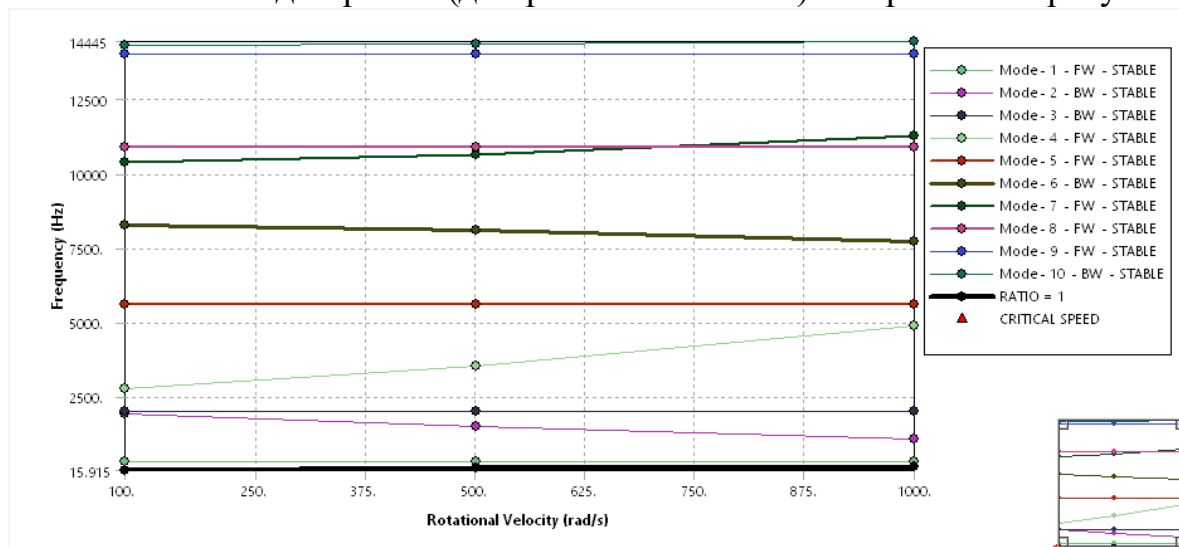
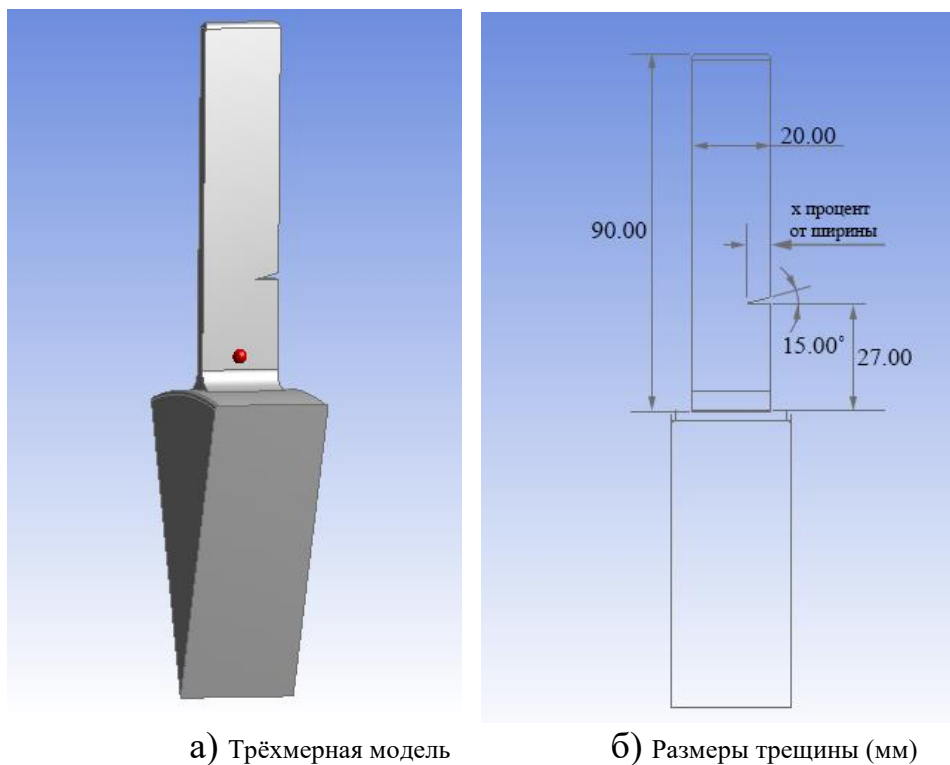


Рисунок 3 – Резонансная диаграмма

Figure 3 – Resonance diagram

Следующим этапом исследования стал анализ статического напряженно-деформированного состояния (НДС) и свободных колебаний с учетом моделирования эксплуатационного повреждения в виде трещины без вращения и с учетом вращения. Общий вид трещины показан на рисунке 4.



а) Трёхмерная модель

б) Размеры трещины (мм)

Рисунок 4 – Общий вид трещины

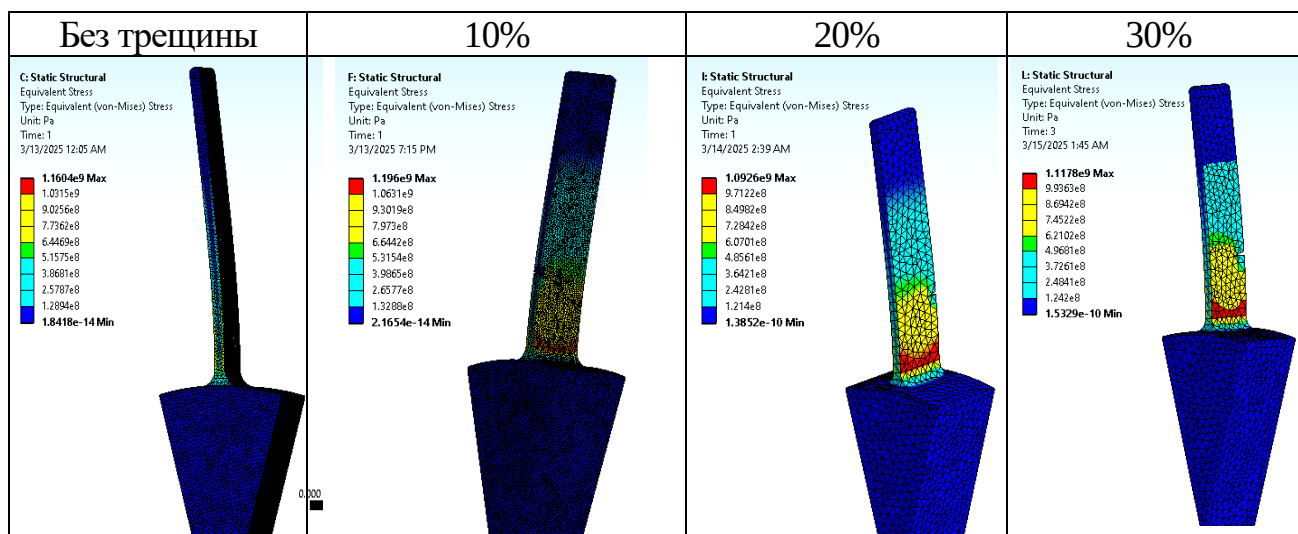
Figure 4 – General view of the crack

Ее геометрические характеристики и расположение имеют следующие параметры: длина трещины равна 10, 20 и 30 процентов от ширины (хорды) лопатки (2, 4 и 6 мм), а ширина раскрытия трещины: 0.5, 1.1 и 1.6 мм.

Статические напряжения от влияния газовой нагрузки представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты расчета статических напряжений без и с трещиной

Table 4 – Results of calculation of static stresses with and without a crack



Частоты и формы свободных колебаний от влияния газовой нагрузки с учетом и без учета оборотов вращения представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Результат расчета собственных частот (Гц)

Table 5 – Result of calculation of natural frequencies (Hz)

Без вращения			
1	2	3	4
Без вращения	Трещина 10%	Трещина 20%	Трещина 30%
324.42	323.52	320.98	316.53
1976.6	1951.7	1875.8	1755.2
2019.	2017.9	2014.5	2007.6
2699.2	2691.7	2667.8	2617.4
5613.7	5598.2	5558.	5492.9
8274.2	8271.3	8263.1	8249.5
10380	10341	10219	10013
10897	10876	10817	10713
14037	13960	13691	13235
14338	14326	14293	14219

Окончание таблицы 5

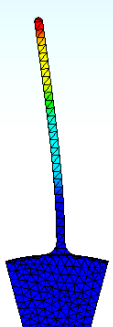
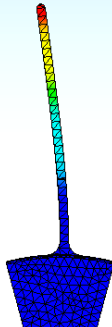
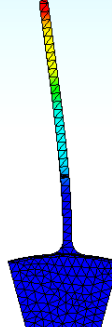
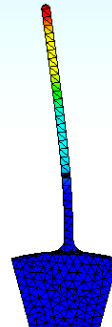
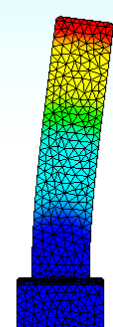
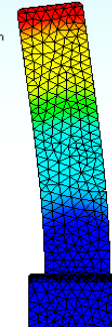
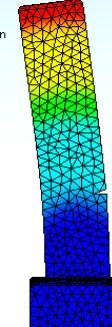
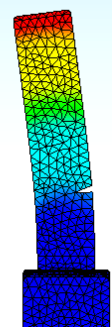
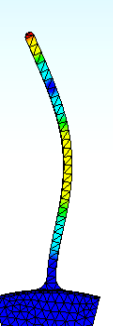
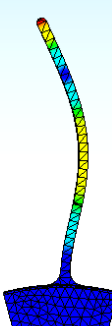
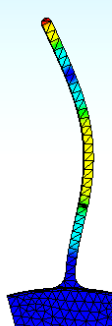
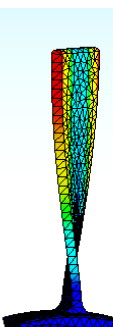
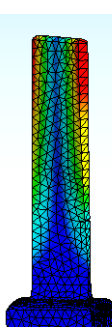
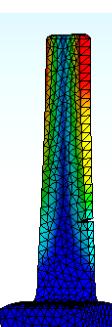
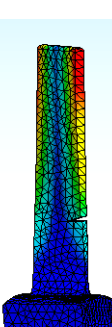
End of table 5

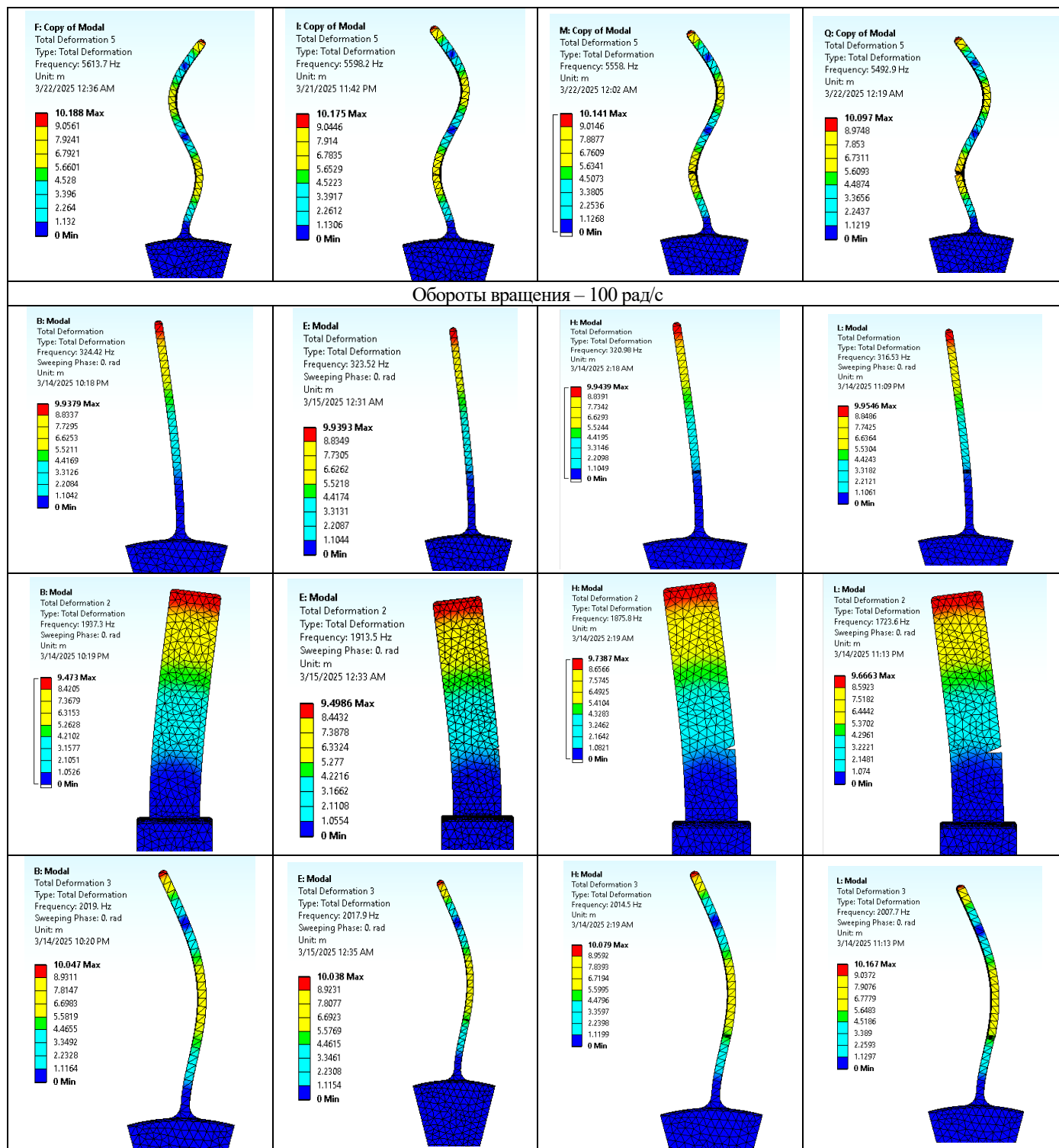
Обороты вращения – 100 рад/с			
324.42	323.52	320.98	316.53
1937.3	1913.5	1840.6	1723.6
2019.	2017.9	2014.5	2007.7
2753.6	2745.1	2718.4	2664.8
5613.7	5598.2	5558.	5492.9
8265.4	8262.2	8253.5	8239.
10392	10352	10232	10027
10897	10876	10817	10713
14037	13960	13691	13235
14339	14327	14294	14220
Обороты вращения – 500 рад/с			
324.42	323.52	320.98	316.53
1506.1	1488.2	1433.1	1341.8
2019.	2017.9	2014.6	2008.1
3530.5	3517.8	3478.9	3408.7
5613.7	5598.2	5558.	5492.9
8081.3	8075.3	8058.1	8029.5
10646	10611	10503	10316
10897	10876	10817	10713
14037	13960	13687	13227
14362	14349	14317	14246
Обороты вращения – 1000 рад/с			
324.42	323.52	320.98	316.53
1076.6	1062.7	1020.1	949.43
2019.	2017.9	2014.6	2008.2
4864.2	4850.2	4806.8	4728.9
5613.7	5598.2	5558.	5492.9
7719.1	7710.9	7688.3	7653.4
11252	11225	11138	10976
10897	10876	10817	10713
14037	13959	13676	13204
14445	14430	14399	14335

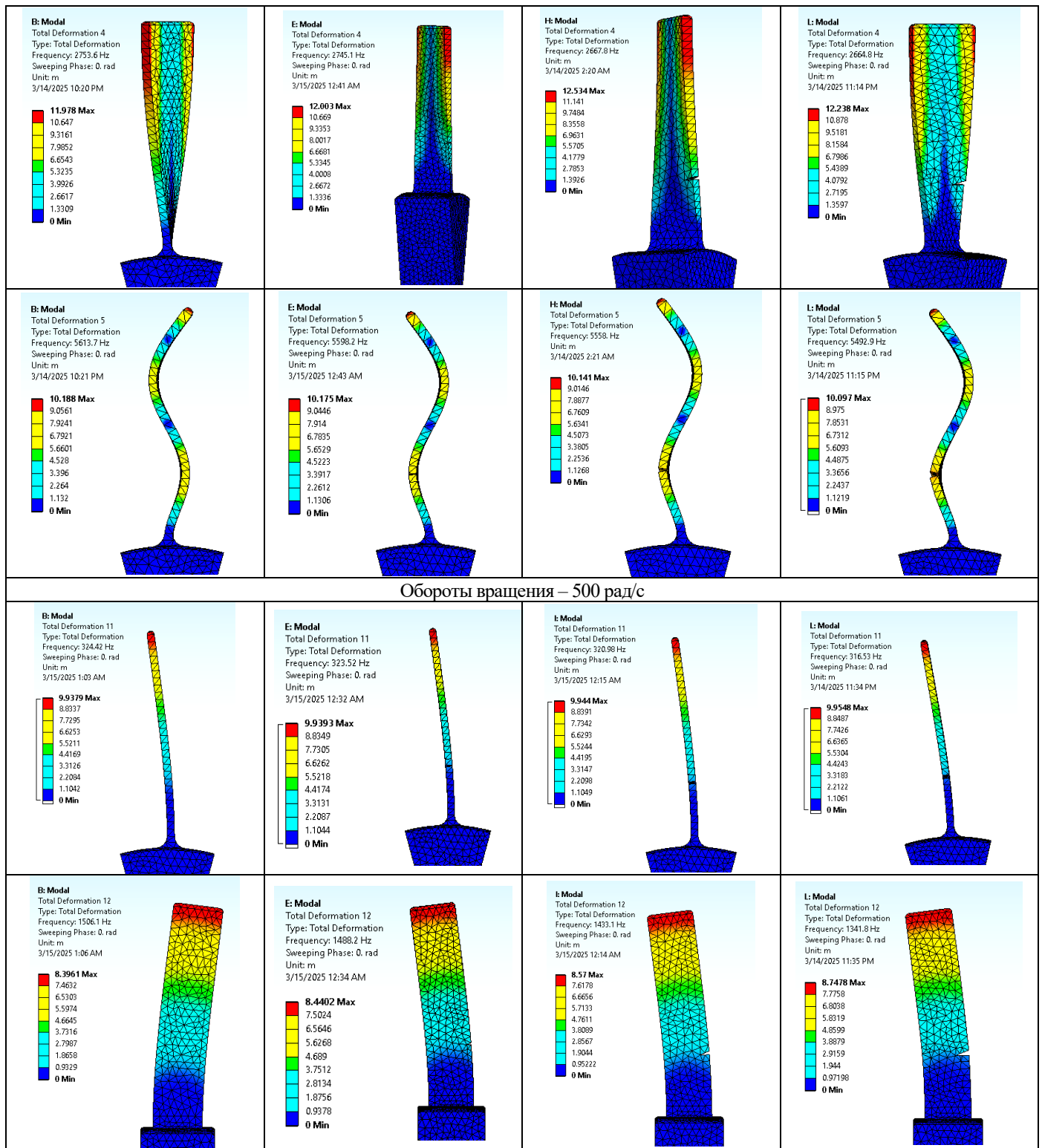
В таблице 6 изображены первые 5 форм колебаний лопадки с учетом и без учета вращения при разных размерах трещины.

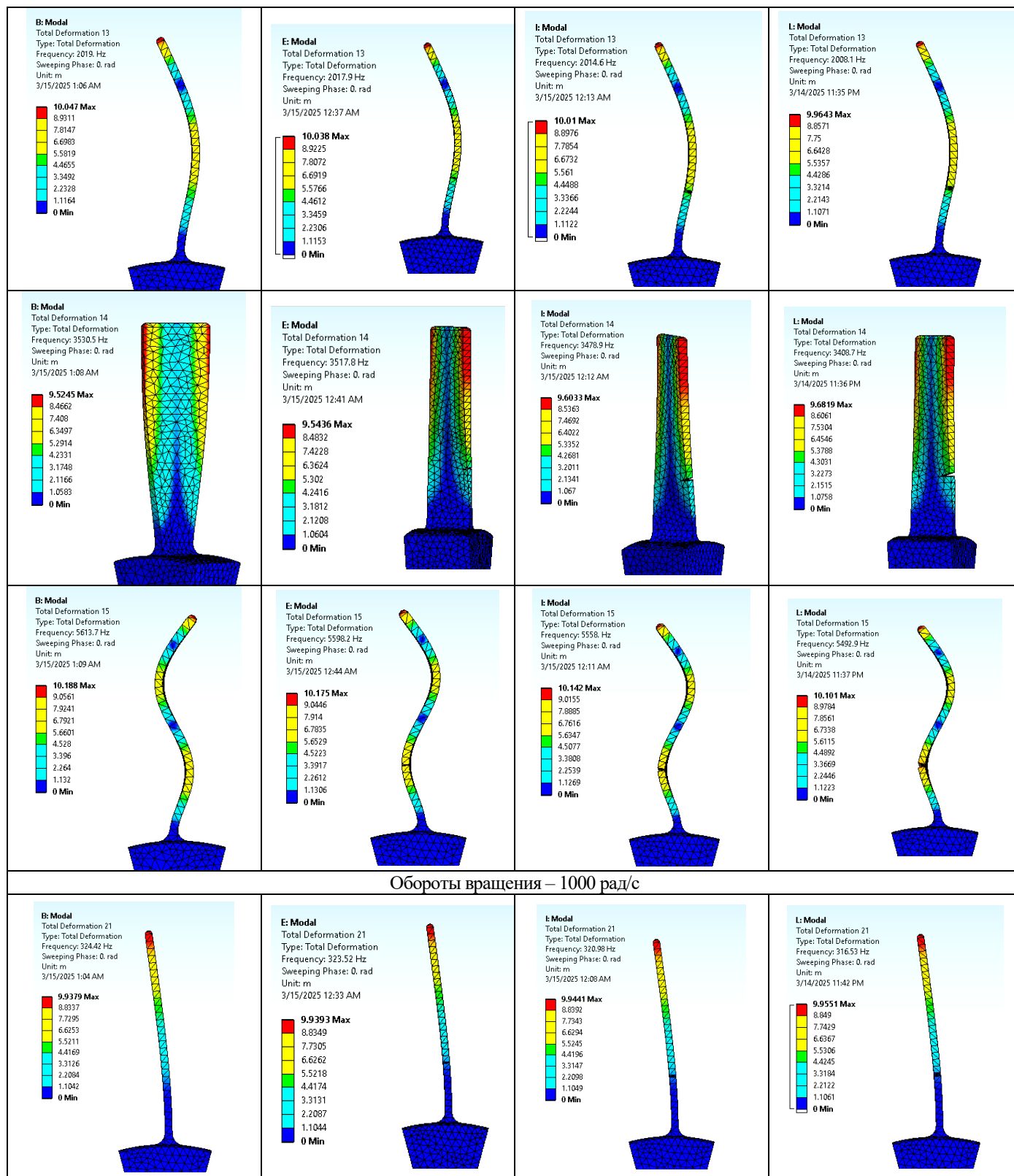
Таблица 6 – Первые 5 форм колебаний лопатки

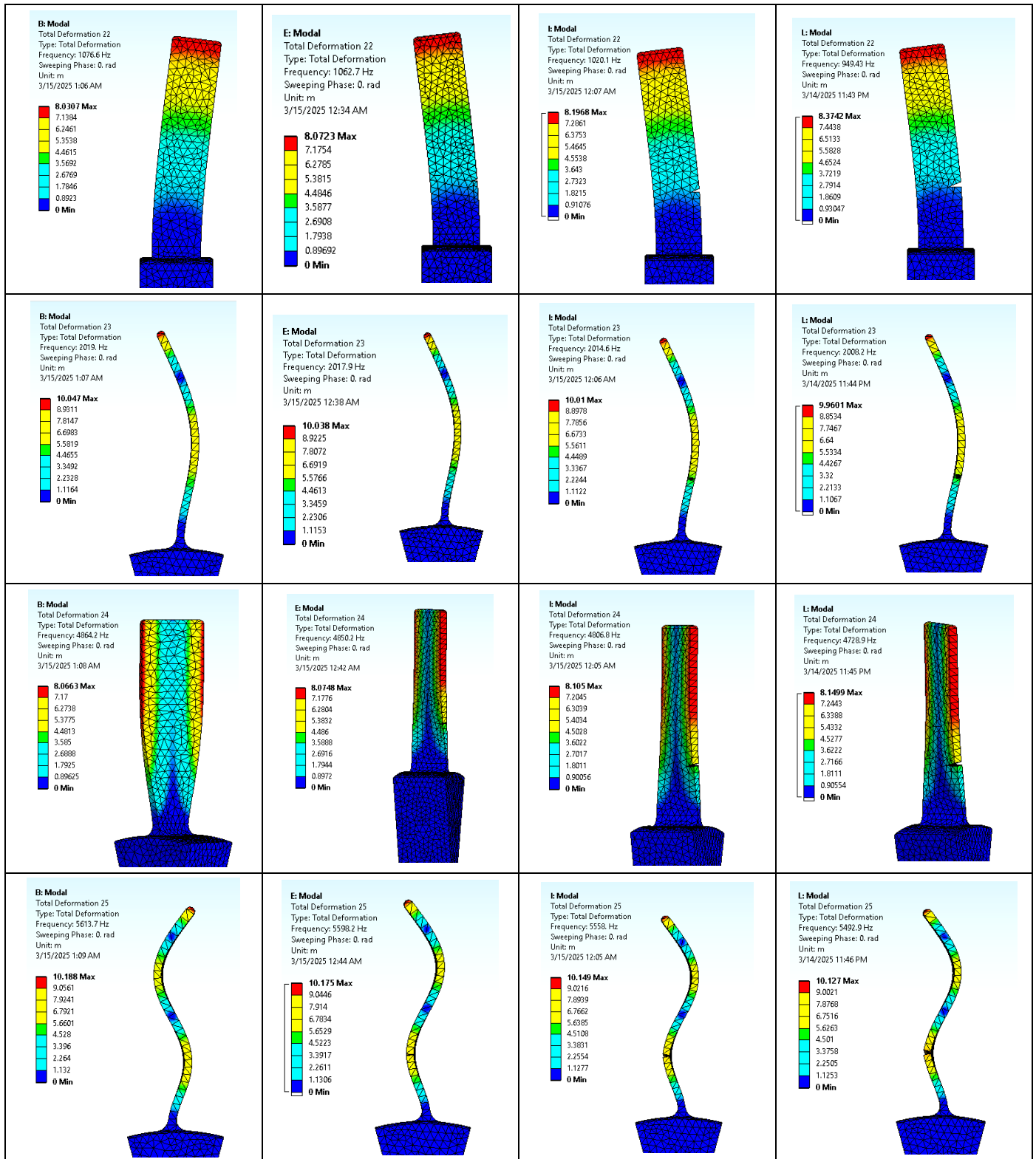
Table 6 – The first 5 modes of blade oscillations

Без вращения			
Исходный вид	Трещина 10%	Трещина 20%	Трещина 30%
F: Copy of Modal Total Deformation Type: Total Deformation Frequency: 324.42 Hz Unit: m 3/22/2025 12:32 AM 	I: Copy of Modal Total Deformation Type: Total Deformation Frequency: 323.52 Hz Unit: m 3/21/2025 11:34 PM 	M: Copy of Modal Total Deformation Type: Total Deformation Frequency: 320.98 Hz Unit: m 3/21/2025 11:58 PM 	Q: Copy of Modal Total Deformation Type: Total Deformation Frequency: 316.53 Hz Unit: m 3/22/2025 12:15 AM 
F: Copy of Modal Total Deformation 2 Type: Total Deformation Frequency: 1976.6 Hz Unit: m 3/22/2025 12:33 AM 	I: Copy of Modal Total Deformation 2 Type: Total Deformation Frequency: 1951.7 Hz Unit: m 3/21/2025 11:39 PM 	M: Copy of Modal Total Deformation 2 Type: Total Deformation Frequency: 1875.8 Hz Unit: m 3/21/2025 11:59 PM 	Q: Copy of Modal Total Deformation 2 Type: Total Deformation Frequency: 1755.2 Hz Unit: m 3/22/2025 12:16 AM 
F: Copy of Modal Total Deformation 3 Type: Total Deformation Frequency: 2019. Hz Unit: m 3/22/2025 12:34 AM 	I: Copy of Modal Total Deformation 3 Type: Total Deformation Frequency: 2017.9 Hz Unit: m 3/21/2025 11:39 PM 	M: Copy of Modal Total Deformation 3 Type: Total Deformation Frequency: 2014.5 Hz Unit: m 3/22/2025 12:00 AM 	Q: Copy of Modal Total Deformation 3 Type: Total Deformation Frequency: 2007.6 Hz Unit: m 3/22/2025 12:17 AM 
F: Copy of Modal Total Deformation 4 Type: Total Deformation Frequency: 2699.2 Hz Unit: m 3/22/2025 12:35 AM 	I: Copy of Modal Total Deformation 4 Type: Total Deformation Frequency: 2691.7 Hz Unit: m 3/21/2025 11:40 PM 	M: Copy of Modal Total Deformation 4 Type: Total Deformation Frequency: 2667.8 Hz Unit: m 3/22/2025 12:01 AM 	Q: Copy of Modal Total Deformation 4 Type: Total Deformation Frequency: 2617.4 Hz Unit: m 3/22/2025 12:18 AM 









Выводы. В статье проведен анализ ресурсных характеристик турбомашин с расстройкой параметров. Приведена математическая модель лопаточного диска с дефектом в виде трещины лопатки, а также выполнен анализ влияния присутствия трещины на статические и динамические характеристики лопаточного диска.

Результат расчета статических напряжений показал, что максимальная деформация появилась на конце лопатки и этот размер достаточно небольшой.

Согласно таблице 4, чем больше размер трещины, тем больше приведенное напряжение. Из таблицы 5 следует, чем больше размер трещины, тем меньше собственная частота. На резонансной диаграмме (рис. 3) имеются частоты, которые не растут с увеличением оборотов вращения. Этот феномен связан с формами колебаний в плоскости максимальной жесткости [2, 3].

В дальнейшей работе планируется исследовать процесс развития трещины при усталостном нагружении и проанализировать влияние присутствия дефекта на долговечность рабочих лопаток осевых и радиальных компрессоров и турбин.

Благодарность. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда, проект № 24-29-00135, <https://rscf.ru/project/24-29-00135/>

Список литературы

1. Зенкевич, О. Метод конечных элементов в технике / О. Зенкевич // Москва: Мир, 1975. – С. 541.
2. Репецкий, О.В. Компьютерный анализ динамики и прочности турбомашин // О.В. Репецкий. – Иркутск: Из-во ИрГТУ. – 1999. – 301 с.
3. Mashiachidi, M.H., Desai, D.A. Fatigue life prediction of mistuned steam turbine blades subjected to deviations in blade geometry // Science, Engineering and Technology. 2023, vol. 3, no. 2, pp. 24-35.

References

1. Zenkevich, O. Metod konechnykh jelementov v tehnikе [Finite element method in engineering]. Moscow: Mir, 1975, 541 p.
2. Repetskii, O.V. Komp'yuternyy analiz dinamiki i prochnosti turbomashin [Computer analysis of the dynamics and strength of turbomachines]. Irkutsk, 1999, 301 p.

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

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие конфликта интересов.

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

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

История статьи / Article history:

Дата поступления в редакцию / Received: 25.03.2025

Поступила после рецензирования и доработки / Revised: 27.03.2025

Дата принятия к печати / Accepted: 31.03.2025

Сведения об авторах

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

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

Ким Хон Ир – аспирант. Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского.

Контактная информация: ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, 664038, Россия, Иркутская область, Иркутский район, п. Молодежный, тел. 89242949621, e-mail: khonir@mail.ru.

Information about authors

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

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

Hong-Il Kim – is a postgraduate student. Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky.

Contact information: FSBEI HE Irkutsk SAU, 664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk district, Molodezhny, tel. 89242949621, e-mail: khonir@mail.ru.

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

Условия опубликования статьи

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

Правила оформления статьи

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

Структура статьи

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

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

16. Нумерация страниц статьи обязательна.

Регистрация статей

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

Порядок рецензирования статей

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

Порядок рассмотрения статей

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

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

2. Статьи принимаются по установленному графику:

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

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

3. Поступившие статьи рассматриваются редакционным советом в течение месяца.

4. Редакционный совет правомочен отправить статью на дополнительное рецензирование.

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

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

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

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

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

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

Conditions for publishing an article

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

Article formatting rules

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

Article structure

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

Registration of articles

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

The procedure for reviewing articles

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

Order of consideration of articles

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ЭЛЕКТРОННЫЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
“АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ АГРАРНОЙ НАУКИ”

Выпуск 1(54)

март

Технический редактор – Н.В. Спиридонова

Перевод – П.Г. Асалханов

Лицензия на издательскую деятельность

ЛР № 070444 от 11.03.98 г.

Дата выхода: 31.03.2025.

Усл. печ. л. 6.

Адрес редакции, издателя, типографии:

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