



МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «Иркутский государственный аграрный университет  
имени А.А. Ежевского»

**ЭЛЕКТРОННЫЙ  
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ**

**«АКТУАЛЬНЫЕ  
ВОПРОСЫ АГРАРНОЙ  
НАУКИ»**

**Выпуск 39  
июнь**

**п. Молодёжный  
2021**

Научно-практический журнал “Актуальные вопросы аграрной науки”, 2021, выпуск 39, июнь.

Scientific-Practical journal “Actual issues of agrarian science”, 2021, 39th edition, June.

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

It is edited under the decision of the Scientific Council of the Irkutsk State Academy of Agriculture since November, 2011.

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

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

**Ответственный секретарь:** Б.Ф. Кузнецов – д.т.н.

**Члены редакционного совета:** С.Н. Шуханов – д.т.н.; В.Н. Хабардин – д.т.н.; Ю.М. Краковский – д.т.н.; В.И. Зоркальцев – д.т.н.; С.Н. Степаненко – д.ф.-м.н. (Одесский государственный экологический университет, г. Одесса, Украина).

**Chief editor:** Ya.M. Ivanyo – D. Sc. in engineering.

**Deputy chief editor:** M.K. Buraev – D. Sc. in engineering.

**Executive secretary:** B.F. Kuznetsov – D. Sc. in engineering.

**The members of the editorial board:** S.N. Shukhanov – D. Sc. in engineering; V.N. Khabardin – D. Sc. in engineering; Yu.M. Krakovsky – D. Sc. in engineering; V.I. Zorkaltsev – D. Sc. in engineering; S.N. Stepanenko – D. Sc. in physics and mathematics (Odessa State Ecological University, Ukraine).

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

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.

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия. Свидетельство о регистрации средства массовой информации Эл № ФС77 – 76761.

The journal is registered by the Federal Agency for Supervision in the sphere of Communications, Information Technologies and Mass Media Communications. Certificate of registration of mass media is El № FS77 – 76761.

Журнал включен в Российский индекс научного цитирования электронной библиотеке LIBRARY.RU.

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

Статьи проверены с использованием Интернет-сервиса “Антиплагиат”

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

## СОДЕРЖАНИЕ

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

- Бочкарев В.А., Очиров В.Д.* Влияние влажности углей на показатели работы котельных агрегатов 5
- Громалова В.О., Федотов А.И., Овчинникова Н.И., Быкова М.А.* Применение корреляционно-регрессионного анализа для оценки видимости водителем при загрязненных фарах автомобиля в зимнее время года 13
- Федотов В.А.* Исследование процесса приготовления “яблочных сухариков” при изменении координат в системе “излучатель – объект” 19
- Хабардин В.Н.* Определение сроков технического обслуживания машины по результатам оценки и прогнозирования качества масла в двигателе 25

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

- Барсукова М.Н., Репеха А.Ю.* Разработка информационной системы оценки лесных ресурсов Иркутской области 33
- Иваньо Я.М., Попов Д.А.* Прогнозирование показателей эффективности научно-исследовательской деятельности аграрного университета для улучшения управленческих решений 42
- Петрова С.А., Матибарчук В.Э.* Проектирование мобильного приложения по оптимизации производства аграрной продукции 51
- Репецкий О.В.* Моделирование преднамеренной расстройки и анализ статических и динамических характеристик энергетических турбомашин 62

## CONTENTS

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

- Bochkarev V.A., Ochirov V.D.* Influence of coal moisture on the operating indicators of boiler units 5
- Gromalova V.O., Fedotov A.I., Ovchinnikova N.I., Bykova M.A.* Application of correlation-regression analysis to assess the visibility of the driver with dirty car headlights in the winter season 13
- Fedotov V.A.* Research of the process of cooking “apple croutons” when changing coordinates in the “radiator – object” system 19
- Khabardin V.N.* Determination of machine maintenance terms by the results of assessment and prediction of the oil quality in the engine 25

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

- Barsukova M.N., Repekha A.Yu.* Development of an information system for forest resources assessment in the Irkutsk region 33
- Ivanyo Ya. M., Popov D.A.* Forecasting indicators of efficiency of research activity of agrarian university for improving management solutions 42
- Petrova S.A., Matibarchuk V.E.* Designing the mobile application on optimizing of agricultural products production 51
- Repetckii O.V.* Simulation of intentional detuning and analysis of the static and dynamic characteristics of power turbomachine 62

УДК 662.66-913.2:621.182

## ВЛИЯНИЕ ВЛАЖНОСТИ УГЛЕЙ НА ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ КОТЕЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ

<sup>1,2</sup> В.А. Бочкарев, <sup>1</sup> В.Д. Очиров

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ,

*п. Молодежный, Иркутский район, Иркутская область, Россия*

<sup>2</sup>Иркутский национальный исследовательский технический университет,  
*г. Иркутск, Россия*

Сушка угля повышенной влажности перед подачей в топку позволяет улучшить его технологические качества. В работе представлена методика определения габаритов шахты для подсушки угля. При пылеугольном сжигании твердого топлива подсушивающая шахта размещается в котельном цехе на тракте от бункера сырого угля до мельницы, а при слоевом сжигании – между бункером сырого угля и пневмомеханическим забрасывателем топлива. При прохождении сырого угля через подсушивающую шахту его влажность снижается на 6-8%, что в свою очередь, позволяет уменьшить расход тепла на сушку и испарение влаги при горении топлива. В подсушивающей шахте установлено несколько рядов элементов, чередующихся таким образом, что посредством специальных камер через один ряд элементов подается подсушивающий агент, а через другой – отсасывается. В качестве сушильного агента используется смесь холодного воздуха и дымовых газов, отсасываемых из газохода котельного агрегата. Процесс сушки угля в подсушивающей шахте происходит равномерно и без его подгорания, что позволяет на выходе сохранить исходное качество и физико-химические свойства топлива. Исходными данными для выполнения расчетов являются марка котельного агрегата, характеристика сжигаемого топлива, схема приготовления при пылеугольном сжигании и схема подачи угля в котельный агрегат при слоевом сжигании. Определение площади теплообмена, высоты и ширины подсушивающей шахты основано на составлении теплового баланса котельного агрегата, определении расхода угля при номинальной нагрузке котельного агрегата и выборе количества подсушивающих шахт.

*Ключевые слова:* влажность угля, сушка угля, сжигание угля, котельный агрегат, подсушивающая шахта.

## INFLUENCE OF COAL MOISTURE ON THE OPERATING INDICATORS OF BOILER UNITS

<sup>1,2</sup>Bochkarev V.A., <sup>1</sup>Ochirov V.D.

<sup>1</sup>Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky,  
*Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia*

<sup>2</sup>Irkutsk National Research Technical University,  
*Irkutsk, Russia*

Drying coal with high moisture content before feeding it into the furnace improves its technological qualities. The paper presents a method for determining the dimensions of a mine

for drying coal. During pulverized coal combustion of solid fuel, the drying shaft is located in the boiler shop on the path from the raw coal bunker to the mill, and in layered combustion, between the raw coal bunker and the pneumatic mechanical fuel spreader. The moisture content of raw coal when passing through the drying shaft is reduced by 6-8%. This, in turn, allows to reduce heat consumption for drying and evaporation of moisture during fuel combustion. In the drying shaft, several rows of elements are installed, alternating in such a way that a drying agent is supplied through one row of elements by means of special chambers, and sucked out through the other. A mixture of cold air and flue gases sucked from the boiler unit flue is used as a drying agent. The process of drying coal in the drying mine occurs evenly and without burning it, which allows the output to preserve the original quality and physicochemical properties of the fuel. The initial data for performing calculations are the brand of the boiler unit, the characteristics of the fuel burned, the preparation scheme for pulverized coal combustion and the scheme for supplying coal to the boiler unit during layer combustion. Determination of the heat exchange area, height and width of the drying shaft is based on compiling the heat balance of the boiler unit, determining the coal consumption at the rated load of the boiler unit and choosing the number of drying mines.

*Keywords:* coal moisture, coal drying, coal combustion, boiler unit, drying mine.

**Введение.** Инновационное развитие промышленного производства и сельского хозяйства предполагает применение современных технических средств и технологий [1-3, 5, 11, 12].

К основным характеристикам энергетических углей, которые влияют на показатели работы котельных агрегатов, относятся: влажность, зольность, выход летучих веществ, низшая теплота сгорания, содержание серы, состав минеральных примесей и другие.

Влага является нежелательным составляющим балласта органических топлив, она снижает теплоту сгорания, создает значительные трудности при транспортировке, размоле, сжигании и уменьшает КПД котельного агрегата. При горении топлива, влага, содержащаяся в нем, сначала высушивается, а затем превращается в перегретый водяной пар. На испарение и перегрев влаги расходуется часть тепла, вследствие этого понижается температура факела.

Присутствие водяного пара в топочных газах имеет и некоторое положительное влияние на процесс горения. При высоких температурах дымовых газов в топке водяные пары ускоряют процесс горения коксовых частиц посредством его газификации. Водяной пар повышает степень черноты продуктов сгорания и тем самым интенсифицирует радиационный теплообмен в топочной камере [8, 9].

**Материалы и методы исследования.** Расход тепла на испарение влаги топлива принимается равным 2510 кДж/кг (600 ккал/кг) [6]. В действительности эти затраты тепла значительно больше.

Для подсушки бурых углей перед подачей в котел Восточным институтом топливоиспользования разработан способ подсушки угля в шахте с просасыванием топочных газов через слой угля посредством специального дымососа [7]. Схема опытной установки показана на рисунке.

В металлическую шахту 2 поступает топливо из бункера сырого угля

под влиянием собственного веса. В шахте установлено несколько рядов элементов 1, чередующихся таким образом, что посредством специальных камер 3 и 4 через один ряд элементов 1а подается подсушивающий агент, а через другой 1б – отсасывается. В качестве сушильного агента используется смесь холодного воздуха и дымовых газов, отсасываемых из газохода котла. Так как дымовые газы содержат некоторое количество угольной мелочи, в отсасывающем газоходе предусмотрен шнек для удаления выпадающего уноса 5.

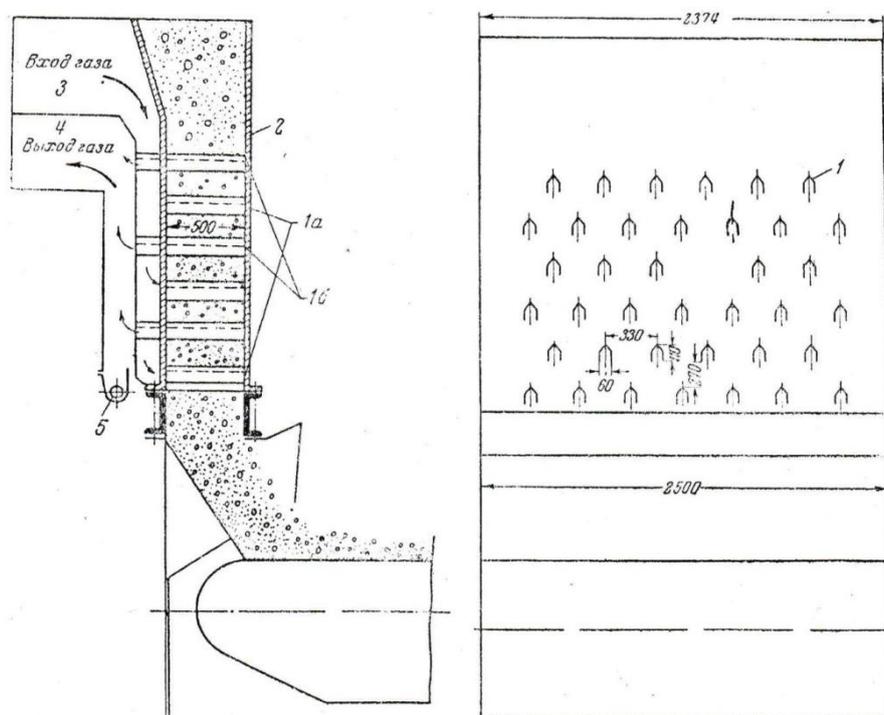


Рисунок – Подсушивающая шахта: 1а – подача подсушивающего агента; 1б – отсос подсушивающего агента; 2 – металлическая шахта; 3 – камера для входа сушильного агента; 4 – камера для выхода сушильного агента; 5 – шнек для удаления выпадающего уноса

Съем влаги в сушильной шахте изменялся от 4% при температуре сушильной смеси 200 °С до 10% при температуре 350 °С. Скорость газа, проходящего через слой (отнесенная к свободному сечению шахты), изменялась в пределах 0.8-1.3 м/с. Расход электроэнергии на привод дымососа составил 3-3.5 кВт·ч на 1 тонну сырого угля.

При предварительной подсушке угля необходимо определить габариты подсушивающей шахты таким образом, чтобы ее можно было смонтировать в котельном цехе на тракте от бункера сырого угля до мельницы при пылеугольном сжигании. При слоевом сжигании подсушивающая шахта должна быть установлена между бункером сырого угля и пневмомеханическим забрасывателем топлива.

**Основные результаты.** Перед выполнением расчетов необходимо иметь следующие данные:

- 1) описание котельного агрегата;
- 2) характеристики сжигаемого топлива;
- 3) описание схемы пылеприготовления при пылеугольном сжигании;
- 4) описание схемы подачи угля в котел при слоевом сжигании.

Кроме того, нужно составить тепловой баланс котла, определить расход угля при номинальной нагрузке на котле и выбрать количество подсушивающих шахт. Принимаем, что установка подсушивающей шахты позволит снизить влажность угля на 6-8%.

Расход топлива на одну подсушивающую шахту равен:

$$B_{\text{ш}} = \frac{B_{\text{к}}}{n}, \text{ кг/ч}, \quad (1)$$

где  $B_{\text{к}}$  – расход угля при номинальной нагрузке на котле, кг/ч;  $n$  – количество подсушивающих шахт.

Сушка угля происходит за счет прохождения через слой угля горячих дымовых газов в подсушивающей шахте. Подсушивающую шахту предполагается установить на тракте после бункера сырого угля.

В подсушивающей шахте происходит подогрев угля от  $t_{\text{н}} = 20$  °С до  $t_{\text{к}} = 100$  °С, так как влага испаряется при температуре 100 °С. Количество тепла, необходимое для нагрева угля, определяется по формуле:

$$Q_{\text{тл}} = B_{\text{ш}}(t_{\text{к}} - t_{\text{н}}) \cdot (C_{\text{тл}}^{100} - C_{\text{тл}}^{20}), \text{ кДж/ч}, \quad (2)$$

где  $t_{\text{н}}$  и  $t_{\text{к}}$  – начальная и конечная температура угля, °С;  $C_{\text{тл}}^{100}$  и  $C_{\text{тл}}^{20}$  – теплоемкость рабочей массы топлива при температурах 100 и 20 °С.

Количество испаренной влаги при снижении влажности с  $W_1$  до  $W_2$  определяется по формуле:

$$\Delta B = \frac{W_1 - W_2}{100 - W_2} \cdot B_{\text{ш}}, \text{ кг/ч}, \quad (3)$$

где  $W_1$  – начальная влажность угля, %;  $W_2$  – влажность угля после подсушивающей шахты, %.

Количество тепла на испарение 6% влаги определяется по формуле:

$$Q_w = \Delta B \cdot 2258, \text{ кДж/ч}, \quad (4)$$

где 2258 кДж/кг – скрытая теплота парообразования при давлении 0,1 МПа (1 кгс/см<sup>2</sup>) [9].

Суммарное количество тепла, необходимое на подогрев угля и испарение 6%, равно:

$$Q = Q_{\text{тл}} + Q_w, \text{ кДж/ч.} \quad (5)$$

Такое количество тепла, с запасом 20%, должно подводиться к сушильной шахте дымовыми газами с температурой  $t_r$ . Дымовые газы, после подсушки в сушильной камере, далее поступают в конвективную шахту котла перед воздухоподогревателем.

При снижении влажности угля на 6% рассчитывается элементный состав угля с использованием коэффициента пересчета  $K_{\text{п}}$

$$K_{\text{п}} = \frac{100 - W^{\text{п}} - 6}{100 - W^{\text{п}}}. \quad (6)$$

где  $W^{\text{п}}$  – влажность угля, %.

Элементный состав угля при снижении влажности определяется путем умножения элементного состава при влажности  $W^{\text{п}}$  на коэффициент  $K_{\text{п}}$ .

По полученным значениям элементного состава при пониженной влажности  $W_2^{\text{п}}$  угля, определяется объем теоретически необходимого количества воздуха  $V^0$  и теоретические объемы продуктов сгорания  $V_{\text{N}_2}^0$ ,  $V_{\text{RO}_2}$ ,  $V_{\text{H}_2\text{O}}^0$ .

Количество тепла, которое содержится в дымовых газах при температуре  $t_r$  и коэффициенте избытка воздуха  $\alpha = 1.3$  определяется по формуле:

$$Q_r = B_{\text{ш}} \cdot V_r \cdot C_r \cdot t_r, \text{ кДж/ч,} \quad (7)$$

где  $V_r$  – объем дымовых газов,  $\text{м}^3/\text{кг}$ ;  $C_r$  – среднее значение теплоемкости продуктов сгорания углей,  $\text{кДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$ .

Среднее значение теплоемкости продуктов сгорания углей  $C_r$  в диапазоне температур 400-700 °С составляет 0.35 ккал/ $(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$  или 1.47 кДж/ $(\text{м}^3 \cdot \text{К})$  [10].

Из последнего уравнения определяется объемный расход дымовых газов  $V_{\text{ш}}$ , поступающих в подсушивающую шахту

$$V_{\text{ш}} = B_{\text{ш}} \cdot V_r = \frac{Q_r}{t_r \cdot C_r}, \text{ м}^3/\text{ч.} \quad (8)$$

Количество тепла  $Q_{\text{ш}}$ , воспринимаемое углем в подсушивающей шахте, определяется по формуле:

$$Q_{\text{ш}} = \alpha_{\Sigma} \cdot F \cdot \Delta t, \text{ кДж/ч,} \quad (9)$$

где  $\alpha_{\Sigma}$  – общий коэффициент теплоотдачи в слое, Вт/(м<sup>2</sup>·°С);  $F$  – площадь теплообмена в подсушивающей шахте, м<sup>2</sup>;  $\Delta t$  – температурный напор, °С.

Общий коэффициент теплоотдачи в слое определяется как:

$$\alpha_{\Sigma} = \alpha_{\kappa} + \alpha_{\lambda}, \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{°С)}, \quad (10)$$

где  $\alpha_{\kappa}$  – коэффициент конвективного теплообмена в неподвижном слое, Вт/(м<sup>2</sup>·°С);  $\alpha_{\lambda}$  – коэффициент теплоотдачи лучеиспусканием, Вт/(м<sup>2</sup>·°С).

Коэффициент конвективного теплообмена в неподвижном слое может быть рассчитан по формулам В.Н. Тимофеева [4], Вт/(м<sup>2</sup>·°С):

$$\alpha_{\kappa} = 0,106 \cdot \frac{\lambda \cdot w}{\nu} \text{ если } Re = \frac{w \cdot \delta}{\nu} < 200, \quad (11)$$

и

$$\alpha_{\kappa} = 0,61 \cdot \frac{\lambda}{\delta^{0,33}} \left( \frac{w}{\nu} \right)^{0,67} \text{ если } Re = \frac{w \cdot \delta}{\nu} > 200, \quad (12)$$

где  $w$  – скорость газов при их средней температуре отнесенная к полному сечению шахты, м/с;  $\delta$  – средний диаметр частиц угля, м;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности дымовых газов, Вт/(м·°С);  $\nu$  – коэффициент кинематической вязкости газов, м<sup>2</sup>/с.

К полученному коэффициенту теплоотдачи конвекцией следует для расчета общего коэффициента теплоотдачи в слое  $\alpha_{\Sigma}$  прибавить коэффициент теплоотдачи лучеиспусканием, который для слоя в интервале температур от 500 °С до 1200 °С обычно находится в пределах 1-5 Вт/(м<sup>2</sup>·°С) [4]. При более низкой температуре его можно не учитывать.

При расчете коэффициента теплоотдачи в слое расчеты выполняются для частиц диаметром 10, 20, 30 и 40 мм. В соответствии с [9] рекомендуются следующие характеристики дробленого угля после дробилок:  $R_5 = 20\%$ ;  $R_{10} = 5\%$ ; максимальный размер куска угля после дробилок 15 мм.

Скорость газов в подсушивающей шахте принять 0.8 м/с, учитывая рекомендации [7]. Незначительная скорость газов в угольном слое способствует тому, чтобы унос мелких фракций угля был незначительным.

Значения коэффициента теплопроводности дымовых газов и коэффициента кинематической вязкости газов принимаются при температуре  $t_r$  согласно [9].

После определения критерия  $Re$  строится график зависимости  $Re = f(\delta)$ . Для частиц у которых  $Re$  больше или меньше 200 определяется значение  $\alpha_{\kappa}$  и далее  $\alpha_{\Sigma}$ .

В итоге количество тепла, воспринимаемое углем в подсушивающей шахте, определяется по формуле

$$Q_{\text{ш}} = \alpha_{\Sigma} \cdot F \cdot \Delta t = (\alpha_{\Sigma}^1 \cdot n_1 + \alpha_{\Sigma}^2 \cdot n_2) \cdot F \cdot \Delta t, \text{ кДж/ч}, \quad (13)$$

где  $\alpha_{\Sigma}^1$  – общий коэффициент теплоотдачи в слое при  $Re < 200$ , Вт/(м<sup>2</sup>·°С);  $\alpha_{\Sigma}^2$  – общий коэффициент теплоотдачи в слое при  $Re > 200$ , Вт/(м<sup>2</sup>·°С);  $n_1$  – доля частиц в угле у которых  $Re < 200$ ;  $n_2$  – доля частиц в угле у которых  $Re > 200$ ;  $\Delta t$  – температурный напор, °С.

$$\Delta t = \frac{t_{\text{г}} + 100}{2}, \text{ °С}. \quad (14)$$

**Вывод.** Из уравнения (13) определяется площадь теплообмена  $F$ , м<sup>2</sup>. Расстояние между рядами элементов в подсушивающей шахте по высоте составляет 270 мм, а между элементами в ряду по ширине – 330 мм. На основании этих значений определяются габариты сушильной камеры – высота и ширина.

#### Список литературы

1. Батищев С.В. Применение инноваций в решении вопросов энергосбережения на предприятиях АПК / С.В. Батищев, Г.С. Кудряшев, А.Н. Третьяков // Инновации в сельском хозяйстве. – 2016. – № 1 (16). – С. 66-68.
2. Бочкарев В.А. Повышение эффективности слоевого сжигания топлива / В.А. Бочкарев, В.Д. Очиров // Инновации в сельском хозяйстве. – 2015. – № 5 (15). – С. 85-88.
3. Бочкарев В.А. Улучшение экологических показателей котлов со слоевым сжиганием / В.А. Бочкарев, К.А. Морозов // Вестник ИрГСХА. – 2009. – № 37. – С. 56-60.
4. Вознесенский А.А. Повышение эффективности установок промышленной теплотехники / А.А. Вознесенский. – М.-Л.: Энергия, 1965. – 344 с.
5. Кудряшев Г.С. Инновации при снижении энергоемкости на предприятиях АПК на примере СХ ОАО “Белореченское” / Г.С. Кудряшев, А.Н. Третьяков, О.Н. Шпак, П.Н. Билдагаров // Инновации в сельском хозяйстве. – 2015. – № 2 (12). – С. 92-95.
6. Михайлов Н.М. Вопросы сушки топлива на электростанциях / Н.М. Михайлов. – М.-Л.: ГЭИ, 1957. – 152 с.
7. Ницкевич Е.А. Проектирование котельных установок / Е.А. Ницкевич. – М.-Л.: ГЭИ, 1951. – 404 с.
8. Расчет и проектирование пылеприготовительных установок котельных агрегатов (Нормативные материалы). – Л.: ЦКТИ, 1971. – 308 с.
9. Тепловой расчет котлов (Нормативный метод) / Издание 3-е, переработанное и дополненное. – СПб.: Изд-во НПО ЦКТИ, 1998. – 256 с.
10. Тепловые расчеты печей и сушилок силикатной промышленности / Под ред. Д.Б. Гинзбурга, В.Н. Зимина. – М.: Изд-во литературы по строительству, 1964. – 496 с.
11. Тихомиров А.В. Основные направления по совершенствованию систем и средств энергообеспечения сельхозобъектов / А.В. Тихомиров, Е.К. Маркелова, Д.А. Тихомиров // Агротехника и энергообеспечение. – 2017. – № 3 (16). – С. 34-42.
12. Шелехов И.Ю. Энергоэффективная конструкция проточного водонагревателя / И.Ю. Шелехов, И.В. Алтухов, В.Д. Очиров // Электротехнологии и электрооборудование в

### References

1. Batishchev S.V., Kudryashev G.S., Tretyakov A.N. Primenenie innovatsii v rechenii voprosov energosberejenia na predpriatiakh APK [Application of innovations in solving energy saving issues at agricultural enterprises]. Innovatsii v sel'skom khozyaystve, 2016, no. 1, (16), pp. 66-68.
2. Bochkarev V.A., Ochirov V.D. Povichenie effektivnosti sloevogo sjigania topliva [Improving the efficiency of layered fuel combustion]. Innovatsii v sel'skom khozyaystve, 2015, no. 5 (15), pp. 85-88.
3. Bochkarev V.A., Morozov K.A. Ulushenie ekologicheskikh pokazateley kotlov so sloevim sjiganiem [Improvement of ecological indicators of coppers with layer combustion]. Vestnik IrGSKHA, 2009, no. 37, pp. 56-60.
4. Voznesensky A.A. Povichenie effektivnosti ustanovok promichlennoy teplotehniki [Improving the efficiency of industrial heat engineering installations]. M.-L.: Energiya, 1965, 344 p.
5. Kudryashev G.S., Tretyakov A.N., Shpak O.N., Bildagarov P.N. Innovatsii pri snizhenii energoemkosti na predpriatiykh APK na primere SCH OAO "Belorechenskoe" [Innovations with a decrease in energy consumption at agricultural enterprises on the example of agricultural enterprises of JSC "Belorechenskoe"]. Innovatsii v sel'skom khozyaystve, 2015, no. 2 (12), pp. 92-95.
6. Mikhailov N.M. Voprosi suchki topliva na elektrostanciyakh [Problems of fuel drying at power plants]. M.-L.: GEI, 1957, 152 p.
7. Nitskevich E.A. proektirovanie kotelnich ustanovok [Designing of boiler plants]. M.-L.: GEI, 1951, 404 p.
8. Raset i proektirovanie pileprigotovitelnykh ustanovok kotelnich agregatov [Calculation and design of dust preparation plants of boiler units] (Normative materials). L.: CKTI, 1971, 308 p.
9. Teplovoi raset kotlov [Thermal calculation of boilers] (Standard method). 3rd edition revised and supplemented. SPb.: Izd-vo NPO TSKTI, 1998, 256 p.
10. Ginzburg D.B., Zimin V.N. Teplovie raseti peshei I suchilok silikatnoi promichlennosti [Thermal calculations of furnaces and dryers of the silicate industry]. M.: Izd-vo literatury po stroitel'stvu, 1964, 496 p.
11. Tikhomirov A.V., Markelova E.K., Tikhomirov D.A. Osnovnie napravleniya po sovershenstvovaniyu sistem I sredstv energoobespesheniya selchozobektov [The main directions for improving the systems and means of energy supply of agricultural facilities]. Agrotekhnika i energoobespesheniye, 2017, no. 3 (16), pp. 34-42.
12. Shelekhov I.Yu., Altukhov I.V., Ochirov V.D. Energoeffektivnaia konstruktsiya protoshnogo vodonagrevatelya [Energy-efficient design of a flow-through water heater]. Elektrotekhnologii i elektrooborudovaniye v APK, 2020, T. 67, no. 4 (41), pp. 3-8.

Дата поступления в редакцию 1 июня 2021 г., дата принятия в печать 28 июня 2021 г.

### Сведения об авторах

**Бочкарев Виктор Александрович** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры энергообеспечения и теплотехники. ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ (664038, Россия, Иркутская обл., Иркутский р-н, пос. Молодежный, тел. 8(3952)237360, e-mail: v\_bochkarev@mail.ru).

**Очилов Вадим Дансарунович** – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой энергообеспечения и теплотехники. ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ (664038, Россия, Иркутская обл., Иркутский р-н, пос. Молодежный, тел. 8(3952)237360, e-mail: ochirov@igsha.ru).

**Information about authors**

**Bochkarev Viktor A.** – Candidate of Technical Sciences, Ass. Prof. of the Department of Power Supply and Heat Engineering, Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky (Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia, 664038, tel. 8(3952)237360, e-mail: v\_bochkariev@mail.ru).

**Ochirov Vadim D.** – Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Power Supply and Heat Engineering, Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky (Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia, 664038, tel. 8(3952)237360, e-mail: ochirov@igsha.ru).

УДК 629.113.001:519.237.5

**ПРИМЕНЕНИЕ КОРРЕЛЯЦИОННО-РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА  
ДЛЯ ОЦЕНКИ ВИДИМОСТИ ВОДИТЕЛЕМ ПРИ ЗАГРЯЗНЕННЫХ  
ФАРАХ АВТОМОБИЛЯ В ЗИМНЕЕ ВРЕМЯ ГОДА**

<sup>1</sup>В.О. Громалова, <sup>1</sup>А.И. Федотов, <sup>2</sup>Н.И. Овчинникова, <sup>2</sup>М.А. Быкова

<sup>1</sup>Иркутский национальный исследовательский технический университет,  
*г. Иркутск, Россия*

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ,  
*п. Молодежный, Иркутский район, Иркутская область, Россия*

В статье рассмотрен процесс изменения видимости водителем дорожной обстановки, вызванный загрязнением внешних световых приборов за счет вылета грязевых капель из-под колес идущего впереди автомобиля при движении автотранспортных средств в зимнее время года по слабо освещенным дорогам, обработанным химическими противогололедными реагентами. В результате проведенных трехлетних экспериментальных исследований на автомобилях Toyota Fun Cargo, Nissan Qashqai и Mercedes Bens E 320 в реальных зимних дорожных условиях установлено, что изучаемый процесс может быть описан математически с помощью корреляционно-регрессионного анализа. Выявленные закономерности между расстоянием видимости водителем пешеходов, участников движения в режимах ближнего/дальнего света фар и средней степени загрязнения, средней силы света фар, скорости автомобиля, его тормозного пути позволяют применять результаты для дальнейших исследований по уменьшению дорожно-транспортных происшествий на зимних дорогах и соблюдению безопасного движения в темное время суток.

*Ключевые слова:* корреляционно-регрессионный анализ, расстояние видимости, режим ближнего/дальнего света фар.

**APPLICATION OF CORRELATION-REGRESSION ANALYSIS TO ASSESS THE  
VISIBILITY OF THE DRIVER WITH DIRTY CAR HEADLIGHTS IN THE WINTER  
SEASON**

<sup>1</sup>Gromalova V.O., <sup>1</sup>Fedotov A.I., <sup>2</sup>Ovchinnikova N.I., <sup>2</sup>Bykova M.A.

<sup>1</sup>Irkutsk National Research Technical University,  
*Lermontov st., 83, Irkutsk, Russia*

<sup>2</sup>Irkutsk state agricultural university named after A.A. Ezhevsky,  
*Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia*

The article discusses the process of changing the driver's visibility of the road situation caused

by the pollution of external lighting devices due to the release of mud drops from under the wheels of the car in front when vehicles move in the winter season on poorly lit roads treated with chemical deicing agents. As a result of three-year experimental research on Toyota Fun Cargo, Nissan Qashqai and Mercedes Bens E 320 cars in real winter road conditions, it was found that the process under study can be described mathematically using correlation-regression analysis. The revealed regularities between the distance of visibility by the driver of pedestrians, road users in the modes of low / high beam headlights and average degree of pollution, average luminous intensity of headlights, vehicle speed, and its braking distance make it possible to apply the results for further research to reduce road traffic accidents on winter roads and comply with safe driving in the dark.

*Keywords:* correlation-regression analysis, visibility distance, low / high beam headlights.

**Введение.** С наступлением зимнего периода и появления скользкости, наледей на дорогах в ряде северных регионов нашей страны становится актуальным вопрос о повышении безопасности движения автотранспортных средств (АТС) [1, 2, 3]. Все виды снежно-ледяных отложений (СЛО), которыми покрыты дороги в это время года, ликвидируют при помощи применения химических противогололедных реагентов. Практика их использования показывает, что на опорной поверхности автомобильной дороги образуются продукты обработки химическими противогололедными материалами (ПО ХПГМ) в виде “дорожных сэндвичей”, состоящих из подвижных частиц СЛО, дорожной пыли, продуктов износа шин и других грязевых веществ (рис. 1).



Рисунок 1 – Фрагмент зимней дороги г. Иркутска с “дорожным сэндвичем”

При движении автомобилей по зимним дорогам происходит загрязнение их внешних световых приборов, зеркал и стекол грязевыми каплями, возникающими из-под колес движущегося впереди транспорта. Образующаяся при этом на фарах жидкая плёнка из грязи существенно снижает их светопропускание и влияет на видимость водителем пешеходов и дорожной обстановки, а также на эксплуатационные свойства автомобилей, особенно в темное время суток и при плохой освещенности [4, 5, 6].

Целью работы является построение регрессионных моделей для оценки видимости водителем при загрязненных фарах автомобиля в зимнее время года.

**Материалы и методы.** Для изучения процесса загрязнения фар автомобилей, двигающихся по зимним дорогам, обработанными ХПГМ, применялась разработанная ранее методика экспериментальных исследований на автомобилях Toyota Fun Cargo, Nissan Qashqai и Mercedes Bens E 320 с использованием заданных дорожно-климатических условий за последние три года.

В ходе экспериментов, проводимых на неосвещенных ровных участках дорожного покрытия в темное время суток с применением прозрачных экранов для обеих автомобильных фар, был получен ряд статистических данных следующим показателям: расстояние видимости водителя в режимах ближнего и дальнего света, средняя степень загрязнения фар, средняя сила света, скорость автомобиля, тормозной путь. В результате статистической обработки методами корреляционно-регрессионного анализа с использованием пакета программ Microsoft Excel получены аналитические выражения связи между рассматриваемыми показателями

**Результаты исследования, их обсуждение.** В соответствии с теоретическими предпосылками и методикой проведения экспериментов по определению влияния, загрязненных продуктами обработки зимних дорог химическими противогололедными материалами, внешних световых приборов на видимость водителем пешеходов и участников движения, выявлены зависимости расстояния видимости в режимах ближнего и дальнего света от степени загрязнения фар автомобиля Mercedes Bens E 320 (эксперимент 2019-2020 гг.). Графическое представление полученных регрессионных уравнений (рис. 2) подтверждает реальную дорожную ситуацию при движении транспорта в ночное время суток по обледенелым дорогам, что с увеличением степени загрязнения фар автомобиля видимость водителя ухудшается.

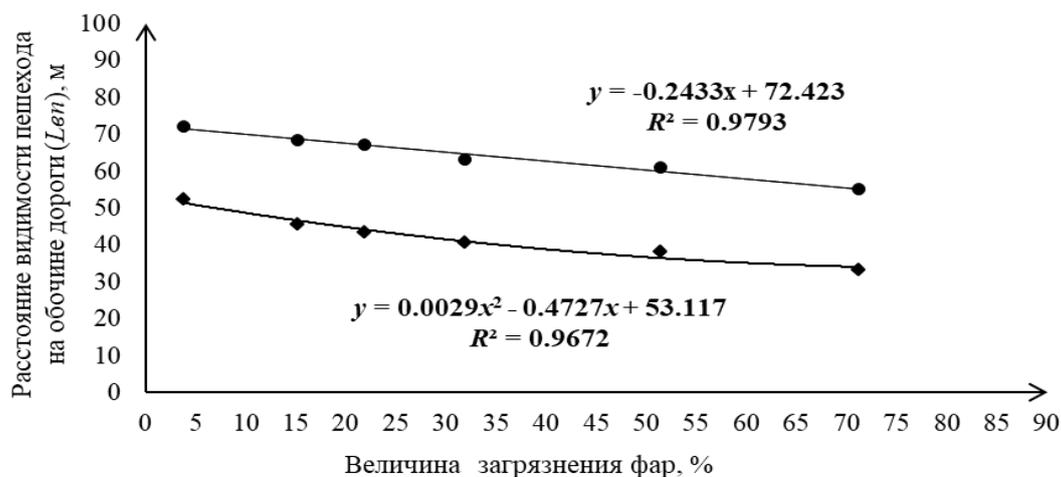


Рисунок 2 – График зависимостей расстояния видимости от величины загрязнения фар автомобиля Mercedes Bens E 320:

- - режим дальнего света;
- ◆ - режим ближнего света.

Практический интерес представляют полученные результаты, определяющие влияние загрязненных фар на максимальную скорость движения автомобиля Toyota Fun Cargo (эксперимент 2017-2018 гг.), описываемые линейными зависимостями (рис. 3).

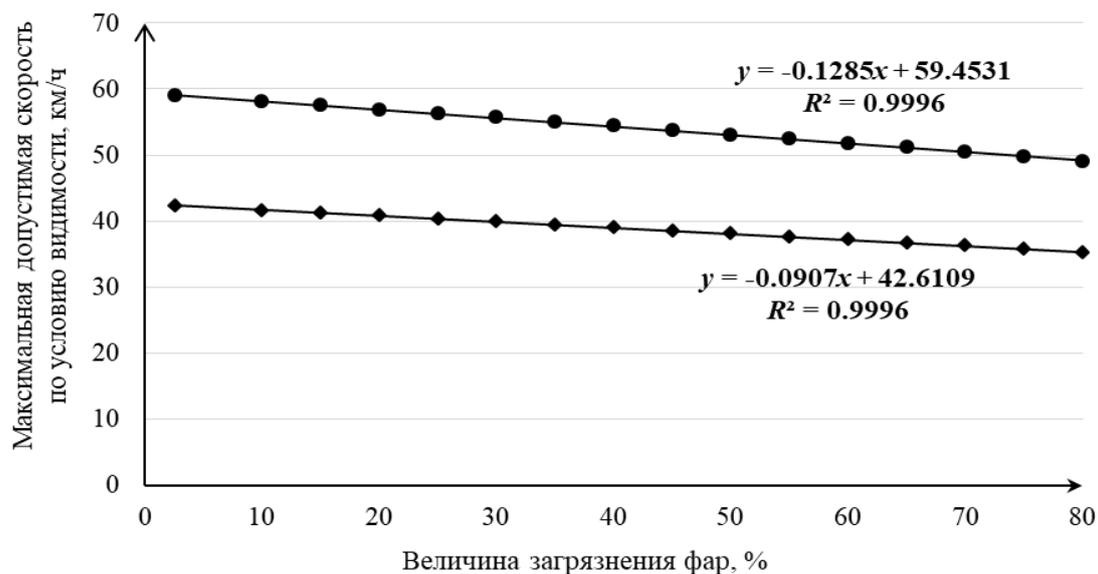


Рисунок 3 – Графики зависимостей максимально допустимых скоростей движения автомобиля Toyota FunCargo в темное время суток от величины загрязнения фар на дороге с укатанным снегом и обработанным ХПГМ:

- - режим дальнего света;
- ◆ - режим ближнего света.

Интерпретируя линейные модели, приведенные на рисунке 3, можно утверждать, что при увеличении величины загрязнения фар автомобиля на 1% его скорость снижается в среднем на 0.09 км/час в режиме ближнего света фар и на 0.13 км/час в режиме дальнего света фар.

С целью изучения причин аварийных ситуаций на зимних дорогах, обработанных противогололедными материалами, проведено исследование по определению влияния тормозного пути автомобиля Nissan Qashqai на расстояние видимости водителя в ночное время суток. Результаты моделирования показаны на рисунке 4.

Проверяя гипотезу о нормальном законе распределения с помощью критерия Пирсона для эмпирических данных расстояния видимости водителем дорожной обстановки, был получен положительный результат, что позволило определить доверительный интервал безопасного расстояния видимости в режиме ближнего света фар – (38-41.8 м) и в режиме дальнего света – (65-67.2 м).

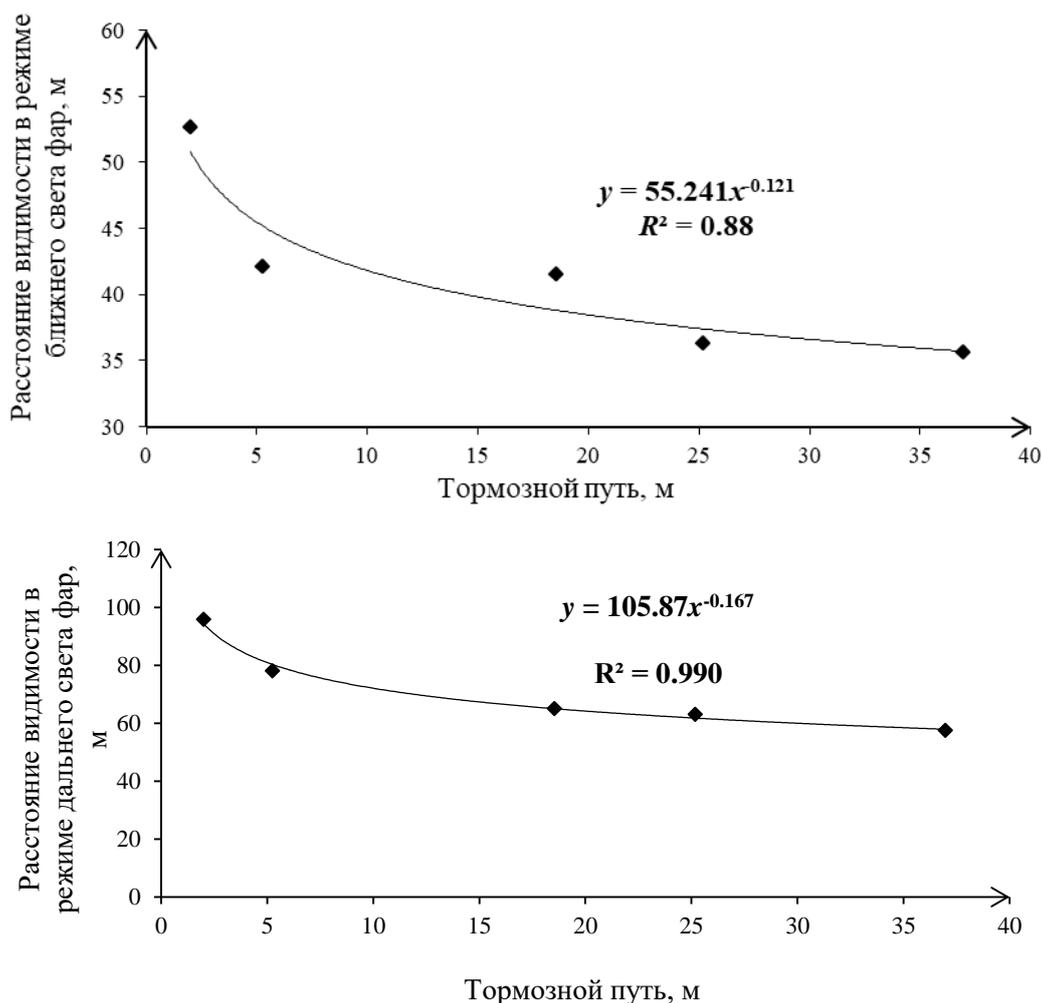


Рисунок 4 – Графики зависимостей расстояния видимости водителя в ночное время от тормозного пути Nissan Qashqai

**Выводы.** В исследованиях, посвященных безопасности движения автотранспортных средств на зимних дорогах, обработанными химическими реагентами, основное внимание уделено эксплуатационным свойствам автомобилей [7, 8, 9] без учета загрязнения внешних световых приборов и недостаточной видимости.

Выявленные авторами зависимости между расстоянием видимости водителя в режимах ближнего и дальнего света, средней степенью загрязнения фар, скоростью автомобиля и тормозным путем могут быть использованы для разработки мероприятий, устраняющих негативное влияние ХПГМ на безопасность движения в зимнее время в условиях недостаточной видимости.

Учет полученных доверительных интервалов для безопасного расстояния видимости дорожной ситуации в ночное время суток при движении по зимней дороге позволят водителям предотвратить дорожно-транспортные происшествия с трагическими последствиями.

**Список литературы**

1. *Ветрова В.В.* Влияние антигололедных реагентов на дорожные условия и безопасность движения на автомагистрали: дисс. ... канд. тех. наук. – М., 2006, 136 с.
2. *Гергенов С.М.* Исследование сцепных свойств автомобильных шин / *Гергенов С.М., Корчагин В.А., Дарханов Ж.В.* // Ползуновский альманах. – 2015. – № 2. – С. 91-95.
3. *Кустарев Г.В.* Проблемы определения сцепления колес транспортных средств с покрытием при обработке антигололедными материалами в зимнее время / *Кустарев Г.В., Морозов Р.В., Горшков А.В.* // Перспективы науки. – 2013. – №10 (49). – С. 18-21.
4. *Нюдъ А.С.* Существующие проблемы выявления и ликвидации зимней скользкости на автомобильных дорогах и мостовых сооружениях / *Нюдъ А.С., Киряков Е.И.* // Вестник ТГАСУ. – 2013. – № 2. – С. 263-272.
5. *Сарайкин А.И.* Обеспечение безопасности движения автомобиля в условиях дефицита визуальной информации: дисс. ... канд. тех. наук. – Оренбург. – 2017, 189 с.
6. *Седов А.В.* Сравнительный анализ противогололедных материалов по критерию безопасности движения // Вестник ХНАДУ. – 2005. – С. 48-51.
7. *Fedotov A.I., Korniyakov M.V., Gromalova V.O., Gergenov S.M.* // Influence Of Deicing Chemicals Contaminating Automobile Headlamps On Light Intensity / Proceedings of the International Conference "Aviamechanical engineering and transport", AVENT 2018 г., P. 141-146
8. *Gromalova V.O., Fedotov A.I., Gergenov S.M., Zedgenizov V.G., Neskromnykh V.V.* 2019. On impact of vehicle headlights contamination with products of road chemical deicing agents upon pedestrian visibility on unlit roads IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 632 012056 IOP Publishing doi:10.1088/1757-899X/632/1/012056 Volume
9. *Vlasov V.G., Fedotov A.I., Gromalova V.O., Gergenov S.M.* Mathematical description of automobile headlight contamination when driving on a wet road // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 1061, International Conference Aviation Engineering and Transportation (AviaEnT 2020) 21st-26th September 2020, Irkutsk, Russia Citation V.G. Vlasov et al. 2021 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 1061 012041

**References**

1. *Vetrova V.V.* Vliyanie antigolodnykh reagentov na dorozhnye usloviya i bezopasnost' dvizheniya na avtomagistrali [Influence of deicing agents on road conditions and road safety]. Diss. kand. tekhn. nauk: 05.23.11 MADI, M. – 2006, 136 p.
2. *Gergenov S.M., Korchagin V.A., Darhanov Zh.V.* Issledovanie scepnykh svoystv avtomobil'nykh shin [Investigation of the adhesion properties of automobile tires]. Polzunovskiy al'manah, 2015, no. 2, pp. 91-95.
3. *Kustarev G.V., Morozov R.V., Gorshkov A.V.* Problemy opredeleniya scepneniya koles transportnykh sredstv s pokrytiem pri obrabotke antigolodnymi materialami v zimnee vremya [Problems of determining the adhesion of wheels of vehicles with a coating during processing with deicing materials in winter]. MADI, M., Zhurnal "Perspektivy nauki", no.10 (49), 2013, pp. 18-21.
4. *Nyud' A.S., Kiriyakov E.I.* Sushchestvuyushchie problemy vyyavleniya i likvidatsii zimney skol'zkosti na avtomobil'nykh dorogah i mostovykh sooruzheniyah [Existing problems of identifying and eliminating winter slipperiness on roads and bridge structures]. Vestnik TGASU, Tomsk, 2013, no. 2, pp. 263-272.
5. *Sarajkin A.I.* Obespechenie bezopasnosti dvizheniya avtomobilya v usloviyah deficita vizual'noj informatsii [Ensuring the safety of vehicle movement in conditions of a lack of visual information]. Diss. kand. tekhn. nauk: 05.22.10 FGBOU VO "Orenburgskiy gosudarstvennyy universitet", Orenburg, 2017, 189 p.
6. *Sedov A.V.* Sravnitel'nyy analiz protivogolodnykh materialov po kriteriyu bezopasnosti dvizheniya [Comparative analysis of anti-icing materials according to the criterion of traffic safety]. Vestnik HNADU, Har'kov, 2005, pp. 48-51.

Дата поступления в редакцию 30 апреля 2021 г., дата принятия в печать 28 июня 2021 г.

**Сведения об авторах**

**Громалова Виктория Олеговна** – преподаватель кафедры автомобильного транспорта Института авиационного строительства и транспорта. Иркутский национальный исследовательский технический университет (664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, тел. 89832492082, e-mail: gromalova@mail.ru).

**Федотов Александр Иванович** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой автомобильного транспорта Института авиационного строительства и транспорта. Иркутский национальный исследовательский технический университет (664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, тел. +7 (3952) 40-58-53, e-mail: fai@istu.edu).

**Овчинникова Наталья Ивановна** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой математики инженерного факультета. ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ (664038, Россия, Иркутская обл., Иркутский р-н, пос. Молодежный, тел. 89500840458, e-mail: nata54@bk.ru).

**Быкова Мария Александровна** – кандидат экономических наук, доцент кафедры математики инженерного факультета. ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ (664038, Россия, Иркутская обл., Иркутский р-н, пос. Молодежный, тел. 89041533625, e-mail: krivcova\_mar@mail.ru).

**Information about authors**

**Gromalova Viktoriya O.** – Lecturer of the Department of Automobile Transport of the Institute of Aircraft Engineering and Transport, Irkutsk National Research Technical University (83, Lermontov str., Irkutsk, Russia, 664074, tel. 89832492082, e-mail: gromalova@mail.ru).

**Fedotov Alexander I.** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Automobile Transport of the Institute of Aircraft Engineering and Transport, Irkutsk National Research Technical University (83, Lermontov str., Irkutsk, Russia, 664074, tel. +7 (3952) 40-58-53, e-mail: fai@istu.edu).

**Ovchinnikova Natalia I.** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department of Mathematics, Faculty of Engineering, Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky (Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia, 664038, tel. 89500840458, e-mail: nata54@bk.ru).

**Bykova Maria A.** – Candidate of Economic Sciences, Ass. Prof. of the Department of Mathematics, Faculty of Engineering, Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky (Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia, 664038, tel. 89041533625, e-mail: krivcova\_mar@mail.ru).

УДК 664.854: 528.236:52-76

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРИГОТОВЛЕНИЯ “ЯБЛОЧНЫХ СУХАРИКОВ” ПРИ ИЗМЕНЕНИИ КООРДИНАТ В СИСТЕМЕ “ИЗЛУЧАТЕЛЬ – ОБЪЕКТ”**

**В.А. Федотов**

ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ,  
*п. Молодёжный, Иркутский район, Иркутская область, Россия*

Процесс обработки пищевых продуктов тепловым излучением является одним из самых трудозатратных. Получение качественных продуктов во многом зависит от видов источников теплового излучения и применяемой технологии производства. Сушка продукции может проводиться при использовании природных источников теплового излучения (солнце и геотермальные источники). При применении солнечной и геотермальной энергии процесс протекает длительное время. Эффективность большого разнообразия электрических источников теплового излучения зависит от многих факторов: геометрии сушильной камеры,

внутреннего покрытия самой камеры, размещения и количества тепловых излучателей, источника теплового излучения и других. При анализе информационных источников по данной теме, а также при проведении теоретических и экспериментальных исследований было выявлено, что при некоторых условиях происходило ускорение или замедление процесса приготовления продукции.

В данной работе приведены результаты исследования процесса приготовления “яблочных сухариков”, в котором применялось изменение положения между излучателем (электронагреватель кварцевый ЭНтКв [8]) и объектом исследования (яблоки сорта “Краснодар”). Процесс приготовления “яблочных сухариков” направлен на уменьшение энергопотребления. Дополнительно при ведении процесса сушки на растительную сельскохозяйственную продукцию не оказывается отрицательного воздействия. Исследования проводились на сушильной установке “ИСХИНЕЦ–2.3Ф”, созданной в НИЛ “Энергосбережение в электротехнологиях” Иркутского ГАУ. Данная установка состоит из кубической камеры, системы кварцевых излучателей, аппаратуры управления по поддержанию технологического процесса производства пищевой продукции и вытяжной вентиляционной системы.

*Ключевые слова:* сушка, ИК-излучатель, яблоко, сухарики.

## **RESEARCH OF THE PROCESS OF COOKING “APPLE CROUTONS” WHEN CHANGING COORDINATES IN THE “RADIATOR – OBJECT” SYSTEM**

**V.A. Fedotov**

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

The process of processing food products with thermal radiation is one of the most labor-intensive. Obtaining high-quality products largely depends on the types of thermal radiation sources and the applied production technology. Drying of products can be carried out using natural sources of thermal radiation (sun and geothermal sources). When using solar and geothermal energy, the process takes a long time. The effectiveness of a wide variety of electrical sources of thermal radiation depends on many factors: the geometry of the drying chamber, the inner coating of the chamber itself, the location and number of heat emitters, the source of thermal radiation, and others. When analyzing information sources on this topic, as well as during theoretical and experimental studies, it was revealed that under certain conditions there was an acceleration or deceleration of the product preparation process.

This paper presents the results of a study of the process of making “apple croutons”, in which a change in position was applied between the emitter (quartz electric heater ENtKv [8]) and the object of study (apples of the Krasnodar variety). The process of making “apple croutons” is aimed at reducing energy consumption. Additionally, when conducting the drying process, there is no negative impact on vegetable agricultural products. The studies were carried out on the “ISKHINETTS-2.3F” drying plant, created at the Energy Saving in Electrotechnology Research Laboratory of the Irkutsk State Agrarian University. This installation consists of a cube chamber, a system of quartz emitters, control equipment for maintaining the technological process of food production and an exhaust ventilation system.

*Keywords:* drying, IR-emitter, apple, croutons.

**Ведение.** Согласно приказу № 8 от 15.01.2020 г. “Об утверждении Стратегии формирования здорового образа жизни населения, профилактики и контроля инфекционных заболеваний на период до 2025 года” [6] в Российской Федерации действует программа здорового питания, которая подразумевает использование в качестве пищи полезных продуктов питания, как

животного, так и растительного происхождения. Из-за большой территории нашей страны многие продукты растительного происхождения (фрукты и овощи) транспортируются не целыми спелыми, а в переработанном виде.

В настоящее время одной из основных проблем переработки сельскохозяйственной растительной продукции является большое потребление тепловой и электрической энергии. Снижение энергопотребления при переработке сельскохозяйственной продукции является актуальной задачей. Для этого применяются новые технические и технологические решения в этой области вопроса, и для этого разработан ряд технологий по переработке плодовоовощных продуктов [1, 2, 4, 7, 8].

**Цель работы** – оценка влияния изменения координат в системе “излучатель – объект” на скорость и качество приготовления “яблочных сухариков”.

**Методика исследования.** Исследования проводились на экспериментальной ИК-установке для сушки плодов и овощей [5]. Установлен цикл по четвертой повторности, для сохранения органолептических свойств яблок при начальной температур 64 °С. С каждым последующим циклом происходило уменьшение температуры на 4°С. Циклы выполнялись до установившейся массы исследуемого объекта. В установку загружались два образца (по 1000 г, толщина нарезки 4 мм, диаметр хаотичен) с зеркальными координатами системы “излучатель – объект”. После каждого цикла координаты менялись и производились измерения массы объектов, параметров воздуха, выходящего из установки (рис. 1).



Рисунок 1 – Измерения исследуемых параметров:

*a, б* – приборы для измерения параметров воздуха; *в* – измерение массы исследуемых объектов; *г* – экспериментальная установка “ИСКХИНЕЦ-2.3Ф”

**Результаты исследования.** В первые минуты сушки наблюдалось сильное испарение свободной влаги [3], что приводило к первоначальным деформациям образцов. Через 1 час 20 минут происходило отвердевание образцов, наступал четвертый цикл. На рисунке 2 показано как происходило уменьшение массы образцов.

Масс образцов, г

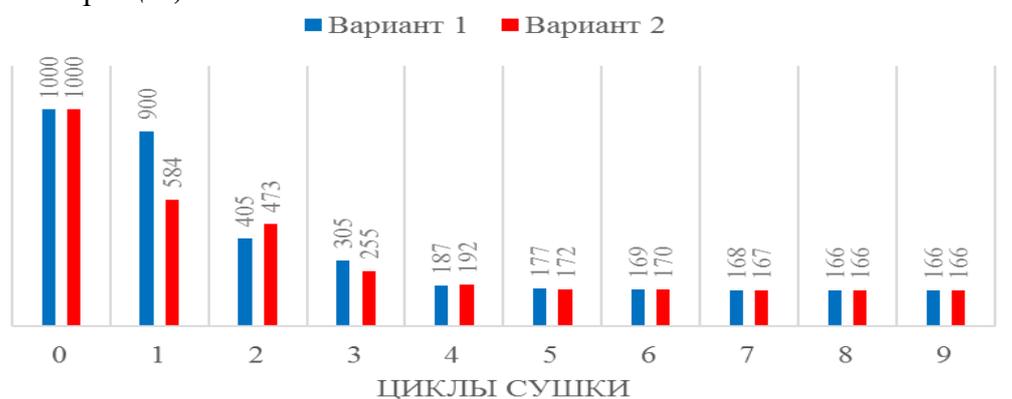


Рисунок 2 – Изменение массы исследуемых образцов

В варианте 1 образец для сушки изначально устанавливался в верхней точке системы “излучатель – объект”, а в варианте 2 образец для сушки устанавливался в нижней точке системы “излучатель – объект”. На всём протяжении сушки были проведены замеры влажности, температуры и скорости выводимой воздушной массы из сушильной установки (рис. 3). Данные замеры показывают, на какой стадии приготовления “яблочных сухариков” находятся исследуемые образцы продукции. Это даёт возможность контролировать весь процесс сушки без его частичной остановки, что в свою очередь, способствует уменьшению потребления и потерь электрической энергии.

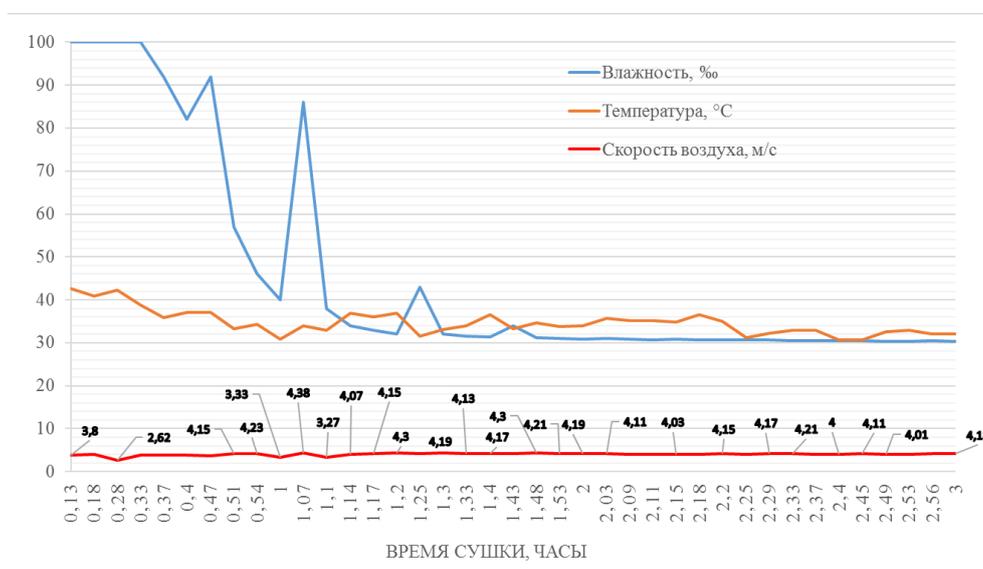


Рисунок 3 – Изменение параметров отводящего воздуха из установки

**Заключение.** Полученные результаты исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. При циклическом изменении координат системы “излучатель – объект” происходит сокращении времени сушки в два раза, что, соответственно, приводит к сокращению расхода электрической энергии.

2. На рисунках 2 и 3 наблюдается прямая зависимость изменении массы образцов и параметров выводимого воздуха от проходящих по времени циклов, что обусловлено нисходящими и скачкообразными графиками.

3. При изменении координат в системе “излучатель – объект” при сушке наблюдаются пиковые выбросы влаги в циклах 3...5 по времени 0.47, 1.07 и 1.25 часа. Это связано с тем, что происходит осаживание образцов с максимальным выходом свободной влаги, в дальнейшем данный процесс носит затухающий характер.

4. Показания гигрометра в первых двух циклах достигают величины 100 единиц, т.к. откачка воздуха проходит в повторно кратковременном режиме. За время паузы (время нагрева) воздух достигает насыщенного состояния по влажности.

5. Данный эксперимент показал, что при введении методики циклов сменны координат системы “излучатель – объект” происходит ускорение процесса сушки и это способствует уменьшению потребления электрической энергии. Сохраняются органолептические свойства “яблочных сухариков”, что свою очередь является одним из основных параметров готовой продукции.

#### Список литературы

1. *Алтухов И.В.* Влияние режимов импульсной инфракрасной обработки и сушки томатов на биотехнические условия нагрева / *И.В. Алтухов, С.М. Быкова* // Вестник КрасГАУ. – 2019 – № 10 (151). – С. 132-138.

2. *Алтухов И.В.* Методы, способы и технические средства для обработки и сушки томатов / *И.В. Алтухов, С.М. Быкова* // Актуальные вопросы аграрной науки. – 2019 – № 30 – С. 5-13.

3. *Алтухов И.В.* Обоснование режимов ИК-энергоподвода в технологии сушки моркови: монография / *И.В. Алтухов, В.Д. Очиров, В.А. Федотов.* Иркутск: Изд-во ИрГСХА, 2013. – 97 с.

4. *Алтухов И.В.* Экспериментальная ИК-установка для сушки плодов и овощей [Электронный ресурс] / *И.В. Алтухов, В.А. Федотов, В.Д. Очиров* // Вестник ИрГСХА. – 2017. – № 81/2. – С. 90-96. – Режим доступа: [http://vestnik.igsha.ru/vypuski\\_zhurnala/v81-2.php](http://vestnik.igsha.ru/vypuski_zhurnala/v81-2.php)

5. *Конарбаева З.К.* Исследование процесса сушки при производстве яблочных чипсов [Электронный ресурс] / *З.К. Конарбаева, А.К. Джанмулдаева, Ж. Жуман* // сборник статей в международной научно-практической конференции: Концепции и модели устойчивого инновационного развития общества. Изд-во: ООО “ОМЕГА САЙНС”, г. Уфа, 2020. – С. 29-31. – Режим доступа: [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_42321905\\_23025338.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_42321905_23025338.pdf)

6. Министерство здравоохранения Российской Федерации. Приказ от 15 января 2020 года № 8 “Об утверждении Стратегии формирования здорового образа жизни населения, профилактики и контроля неинфекционных заболеваний на период до 2025 года” [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/564215449>

7. Пат. 2725484 Рос. Федерация, С1 МПК А23L 3/40, 5/30, 19/10. Способ сушки моркови при приготовлении чипсов / *Очиров В.Д., Федотов В.А., Алтухов И.В., Быкова С.М.*; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ. – № 2019116464; заявл. 28.05.2019, опубл. 02.07.2020, Бюл. № 19.

8. Технический паспорт Электронагреватель кварцевый ЭНтКв [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://electro-nagrev.ru/upload/iblock/cad/trub.pdf>

### References

1. Altuhov I.V., Bykova S.M. Vliyanie rezhimov impul'snoj infrakrasnoj obrabotki i sushki tomatov na biotekhnicheskie usloviya nagreva [Influence of modes of pulsed infrared processing and drying of tomatoes on biotechnical heating conditions]. *Vestnik KrasGAU*, 2019, no. 10 (151), pp. 132-138.

2. Altuhov I.V., Bykova S.M. Metody, sposoby i tekhnicheskie sredstva dlya obrabotki i sushki tomatov [Methods, methods and technical means for processing and drying tomatoes]. *Aktual'nye voprosy agrarnoy nauki*, 2019, no. 30, pp. 5-13.

3. Altuhov I.V., Ochirov V.D., Fedotov V.A. Obosnovanie rezhimov IK-energopodvoda v tekhnologii sushki morkovi: monografiya [Substantiation of IR energy supply modes in carrot drying technology: monograph]. Irkutsk: Izd-vo IrGSKHA, 2013, 97 p.

4. Altuhov I.V., Fedotov V.A., Ochirov V.D. Eksperimental'naya IK-ustanovka dlya sushki plodov i ovoshchej [Experimental infrared device for drying fruits and vegetables]. *Vestnik IrGSKHA*, 2017, no. 81/2, pp. 90-96

5. Konarbaeva Z.K., Dzhanmuldaeva A.K., ZHuman Z.H. Issledovanie processa sushki pri proizvodstve yablochnyh chipsov [Research of the drying process in the production of apple chips]. *Sbornik statej v mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii: Konceptii i modeli ustojchivogo innovacionnogo razvitiya obshchestva*. Izd-vo: ООО “OMEGA SAJNS”, Ufa, 2020, pp. 29-31. – Режим доступа: [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_42321905\\_23025338.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_42321905_23025338.pdf)

6. Ministerstvo zdravoohraneniya rossijskoj federacii. Prikaz ot 15 yanvarya 2020 goda no. 8 “Ob utverzhdenii Strategii formirovaniya zdorovogo obraza zhizni naseleniya, profilaktiki i kontrolya neinfekcionnyh zabolevanij na period do 2025 goda” [Ministry of Health of the Russian Federation. Order of January 15, 2020 no. 8 “On approval of the Strategy for the formation of a healthy lifestyle of the population, prevention and control of non-communicable diseases for the period until 2025”]. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/564215449>

7. Пат. 2725484 Рос. Федерация, С1 МПК А23L 3/40, 5/30, 19/10. Способ сушки моркови при приготовлении чипсов [Pat. 2725484 Rus. Federacion, S1 МПК А23L 3/40, 5/30, 19/10. Method of drying carrots in the preparation of chips]. Ochirov V.D. et all; заявитель i патентообладатель ФГБОУ ВО Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Езhevского (RU). – no. 2019116464.

8. Tekhnicheskij pasport Elektronagrevatel' kvarcevyj ENtKv [Technical data sheet Quartz electric heater ENtKv]. – Режим доступа: <https://electro-nagrev.ru/upload/iblock/cad/trub.pdf>

Дата поступления в редакцию 18 февраля 2021 г., дата принятия в печать 28 июня 2021 г.

### Сведения об авторе

**Федотов Виктор Анатольевич** – кандидат технических наук, доцент-консультант кафедры энергообеспечения и теплотехники энергетического факультета. ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ (664038, Россия, Иркутская обл., Иркутский р-н, пос. Молодежный, тел. 89149594407, e-mail: skobarifed@yandex.ru).

### Information about author

**Fedotov Viktor A.** – Candidate of Technical Sciences, Ass. Prof-Consultant of the Department of Energy Supply and Heat Engineering of the Faculty of Energy. Irkutsk State Agricultural University Named after A.A. Ezhevsky (Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia, 664038, tel. 89149594407, e-mail: skobarifed@yandex.ru).

УДК 629.114.2.004.54

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРОКОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ МАШИНЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ОЦЕНКИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА МАСЛА В ДВИГАТЕЛЕ

**В.Н. Хабардин**

ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ

*п. Молодежный, Иркутский район, Иркутская обл., Россия*

Определение сроков технического обслуживания (ТО) машин – основная задача теории и практики их технической эксплуатации. От начала создания в нашей стране планово-предупредительной системы ТО и по настоящее время эта задача не имеет окончательного решения. На основе анализа истории развития ТО машин, а также с учетом современных технических возможностей, обусловленных применением компьютеров при эксплуатации машин, предложен способ определения сроков ТО машины по результатам оценки и прогнозирования качества масла в ее двигателе. В его основе – компьютерный контроль качества масла в двигателе и прогнозирование его остаточного ресурса. Установлено, что при его реализации периодичность выполнения операций первого периодического обслуживания (ТО-1) не нарушается. Периодичность второго (ТО-2) и третьего (ТО-3) обслуживания изменяется как в сторону уменьшения, так и увеличения. Однако при этом замена масла в двигателе производится по его состоянию – точно в срок, если не принимать во внимание погрешности при определении его остаточного ресурса. В конечном итоге это позволит уменьшить расход моторного масла на замену при ТО, улучшить эксплуатационную надежность двигателя. За счет этого можно повысить эффективность ТО машин.

*Ключевые слова:* машина, двигатель, техническое обслуживание, срок, масло, качество, прогнозирование.

## DETERMINATION OF MACHINE MAINTENANCE TERMS BY THE RESULTS OF ASSESSMENT AND PREDICTION OF THE OIL QUALITY IN THE ENGINE

**Khabardin V.N.**

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

Determining the timing of the maintenance (MTT) of machines is the main task of the theory and practice of their technical operation. From the beginning of the creation of a planned preventive maintenance system in our country and up to the present, this task has no final solution. Based on the analysis of the history of the development of maintenance of machines, as well as taking into account the modern technical capabilities due to the use of computers in the operation of machines, a method for determining the timing of maintenance of a machine according to the results of assessing and predicting the quality of oil in its engine is proposed. It is based on computer control of engine oil quality and forecasting of its residual resource. It was found that during its implementation, the frequency of performing the operations of the first periodic maintenance (MT-1) is not violated. The frequency of the second (MT-2) and third (MT-3) service changes both in the direction of decreasing and increasing. However, at the same time, the oil in the engine is changed according to its condition - just in time, if you do not take into account the errors in determining its residual resource. Ultimately, this will reduce the consumption of engine oil for replacement during maintenance, and improve the operational reliability of the engine. Due to this, the efficiency of machine maintenance can be increased.

*Keywords:* machine, engine, maintenance, term, oil, quality, forecasting.

Определение сроков технического обслуживания (ТО) машин – основная задача теории и практики их технической эксплуатации. Следует отметить, что с начала создания в нашей стране планово-предупредительной системы ТО (1932 г.) и по настоящее время решение этой задачи остается актуальным [11]. Так, за период с 1932 по 1964 годы число ступеней ТО тракторов уменьшилось с 8 до 2, а с 1965 года и по настоящее время у нас действует трехмерная система ТО, в основе которой лежит периодическое обслуживание ТО-1, ТО-2 и ТО-3 [1]. При этом изменялась и периодичность ТО машин, причем в сторону ее увеличения. В целом, здесь просматривается ресурсосберегающая стратегия ТО. Однако нерешенность проблемы осталась. Она состоит в том, что фактическая периодичность ТО (стратегия ТО “по состоянию”) зависит от технического состояния машины, которое определяется ее сроком службы. Например, новые машины нужно обслуживать реже, а старые чаще [8]. В связи с этим с 1970 года дальнейшее совершенствование ТО машин осуществляется на основе внедрения в технологический процесс диагностических операций [11]. В этом случае проблема не находит своего решения, поскольку применение диагностических средств носит противоречивый характер. С одной стороны средства диагностирования позволяют ускорить процесс ТО и, следовательно, сократить затраты труда на обслуживание, а с другой – они сами неизбежно становятся источниками дополнительных ресурсов (например, в виде затрат на их приобретение и эксплуатацию средств диагностирования), потребляемых при выполнении ТО [9, 10, 11]. Учитывая это, в дальнейшем было предложено определять сроки ТО машины по состоянию (по необходимости замены) моторного масла в ее двигателе [11]. Такой подход к решению проблемы обусловлен тем, что замена масла в двигателе является основной операцией, от своевременности и качества выполнения которой в значительной степени зависит надежность двигателя [2, 3, 4, 5, 6].

В основу определения сроков ТО машин положен компьютерный метод определения качества моторного масла. Его сущность заключается в следующем [7]. На лист фильтровальной бумаги наносят каплю масла, взятую щупом из системы смазки. После получения пятна на бумаге фиксируют его внешний вид с возможностью ввода полученной информации в компьютер и сравнивают его при помощи компьютера с внешним видом эталонных пятен, предварительно введенных в компьютер, на основании чего определяют качество масла (рис. 1). Эталонным пятнам, введенным в компьютер, присваивают соответствующую наработку масла с начала эксплуатации. Затем фиксируют наработку оцениваемого масла с начала эксплуатации при сравнении оцениваемого пятна с эталонным образцом, а при фиксации наработки оцениваемого масла одновременно определяют его остаточный ресурс. Остаточный ресурс масла контролируют через равные промежутки времени перед ТО с регламентированной заменой масла в

двигателе, например, при периодических ТО, не содержащих в себе операций по регламентированной замене масла в двигателе. После получения данных об остаточном ресурсе масла определяют его соотношение с наработкой машины между периодическими ТО. Если остаточный ресурс масла меньше или равен половине этой наработки, то в соответствии с технологической схемой машине назначают очередной вид обслуживания с регламентированной заменой масла в двигателе. Если остаточный ресурс масла больше половины наработки между периодическими обслуживаниями, то машине назначают очередное обслуживание, не содержащее в себе операции по регламентированной замене масла в двигателе, а также предварительный контроль остаточного ресурса масла. В результате получают дополнительную информацию, на основе которой определяют сроки ТО машины.

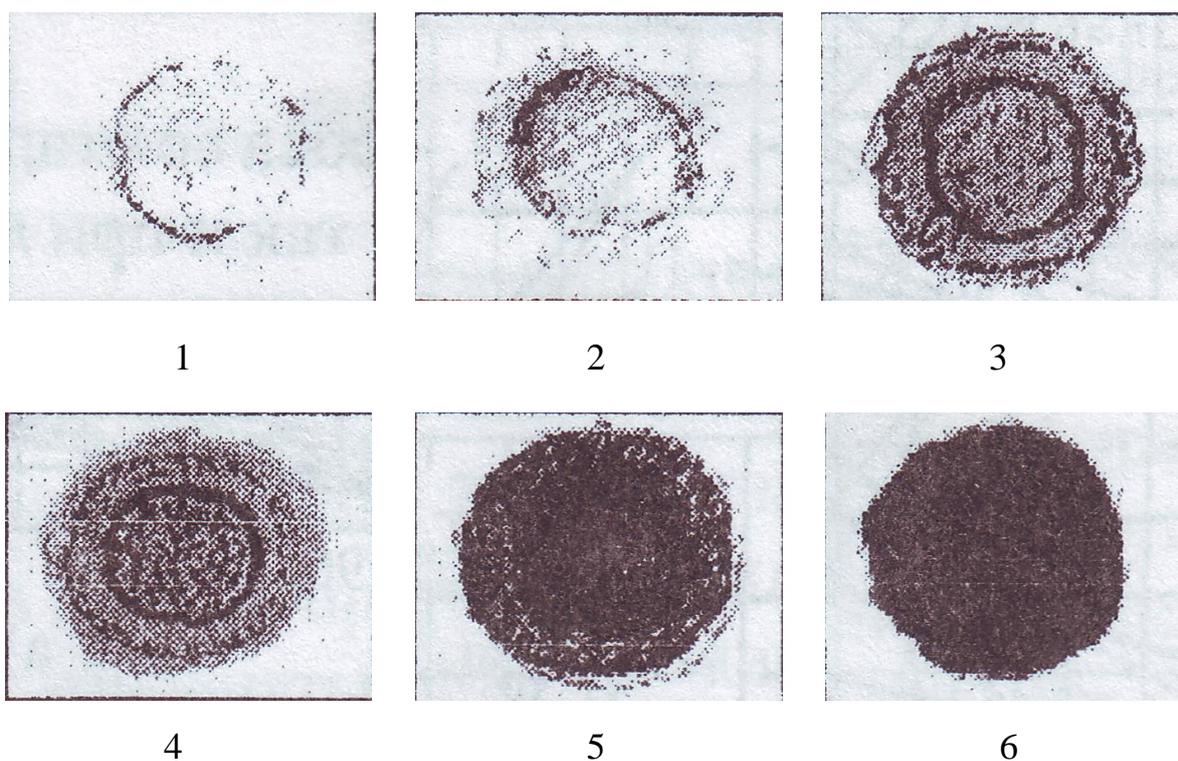


Рисунок 1 – Внешний вид (фото) пятен моторного масла на бумаге:  
1, 2, 3, 4, 5, 6 – пятна с остаточным ресурсом 100 (свежее масло),  
80, 60, 40, 20, 0 (отработанное масло) %

На практике предложенный способ определения срока ТО машины по результатам оценки и прогнозирования качества масла в ее двигателе может быть осуществлен следующим образом. Получают внешний вид эталонных пятен масла и вводят их в компьютер (рис. 1). Для этого, например, через каждые 50 ч работы двигателя, на фильтровальную бумагу наносят каплю масла, взятую из системы смазки. Выдерживают ее установленное время. Затем с помощью цифрового фотоаппарата или другого электронного средства фиксируют внешний вид каждой полученной капли и вводят эту

информацию, а также наработку масла в компьютер. Таким же образом получают и вводят в компьютер информацию о свежем масле. В результате имеют в компьютере банк информации эталонных пятен масла, показатели качества которого находятся в интервале от номинальных, до предельных значений. По такой же методике получают и вводят в компьютер данные о внешнем виде проверяемого масла. Компьютер из множества эталонных пятен выбирает то пятно, которое по информационной характеристике наиболее ближе подходит к проверяемому. Данные найденного эталонного пятна, например наработка с начала эксплуатации и остаточный ресурс, появляются на дисплее компьютера.

Остаточный ресурс масла контролируют через равные промежутки времени перед ТО с регламентированной заменой масла в двигателе, например, при периодических ТО, не содержащих в себе операций по регламентированной замене масла в двигателе. По тракторам и автомобилям к ним относится ТО-1 – первое периодическое ТО. После получения данных об остаточном ресурсе масла определяют его соотношение с наработкой машины между периодическими ТО (рис. 2). Если остаточный ресурс масла меньше или равен половине этой наработки, то в соответствии с технологической схемой машине назначают очередной вид обслуживания с регламентированной заменой масла в двигателе. По тракторам – это второе (ТО-2) и третье (ТО-3) периодические обслуживания, по автомобилям – ТО-2. Если остаточный ресурс масла больше половины наработки между периодическими обслуживаниями, то машине назначают очередное обслуживание, не содержащее в себе операции по регламентированной замене масла в двигателе (ТО-1), а также предварительный контроль остаточного ресурса масла. В результате получают дополнительную информацию – определяют сроки ТО машины.

Приведем пример практического применения предложенного способа при реализации технологии ТО тракторов с регламентированной периодичностью замены масла в двигателе через 500 ч, технологическая схема которой в соответствии с ГОСТ 20793-2009 [1] имеет вид:

$$\text{ТО-1} - \text{ТО-1} - \text{ТО-1} - (\text{ТО-2}) - \text{ТО-1} - \text{ТО-1} - \text{ТО-1} - (\text{ТО-3}), \quad (1)$$

где ТО-1, ТО-2, ТО-3 – периодические ТО – первое, второе и третье (в скобках указаны ТО, содержащие операции с регламентированной заменой масла в двигателе). Из (1) следует, что ТО-1 всегда предшествуют периодическому обслуживанию с регламентированной заменой масла в двигателе (ТО-2 и ТО-3), а наработка машины между периодическими ТО  $\tau_{\text{ТО}}$  всех видов равна 125 ч. При этом периодичность ТО-1, ТО-2 и ТО-3 составляет соответственно 125, 500 и 1000 ч.

Если учесть, что при ТО-1, предшествующим ТО с регламентированной заменой масла, должна проводиться оценка его

остаточного ресурса, то схема (1) примет вид:

$$\Delta\text{ТО-1} - \Delta\text{ТО-1} - \Delta\text{ТО-1} - (\text{ТО-2}) - \Delta\text{ТО-1} - \Delta\text{ТО-1} - \Delta\text{ТО-1} - (\text{ТО-3}), \quad (2)$$

где  $\Delta\text{ТО-1}$  – это  $\text{ТО-1}$  с предварительным контролем остаточного ресурса масла, предшествующее обслуживанию ( $\text{ТО-2}$  и  $\text{ТО-3}$ ), при которых предусмотрена регламентированная замена масла в двигателе.

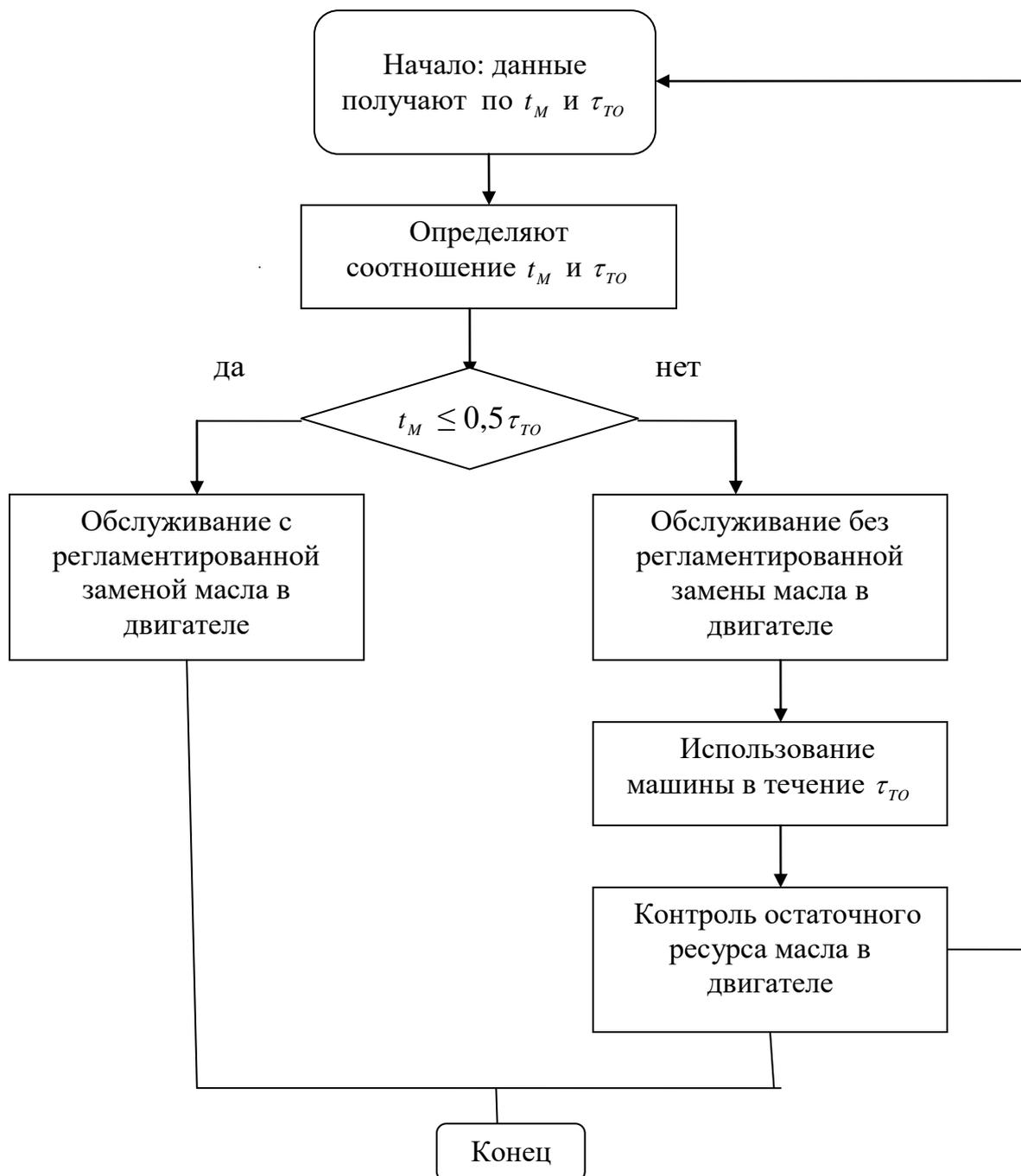


Рисунок 2 – Блок-схема определения сроков ТО машины по результатам оценки качества масла в ее двигателе:  $t_M$  – остаточный ресурс масла, ч;  $\tau_{\text{ТО}}$  – наработка машины между периодическими ТО, ч

Допустим, в момент определения ресурса масла при ТО-1 первом (через первые 125 ч после его замены – после ТО-3) остаточный ресурс масла  $t_M$  составил 200 ч, что больше произведения  $0.5 \cdot 125$  ч ( $t_M > 0.5 \tau_{TO}$ ). В этом случае назначают очередное обслуживание без регламентированной замены масла в двигателе – ТО-1, а также предварительный контроль остаточного ресурса масла. К такому обслуживанию по схеме (1) относится ТО-1 второе. Перед проведением этого ТО произведена оценка остаточного ресурса масла, который оказался равным 50 ч, что меньше произведения  $0.5 \cdot 125$  ч ( $t_M < 0.5 \tau_{TO}$ ). Учитывая это, в соответствии с технологической схемой (1) трактору назначено ТО-2 вместо ТО-1 третьего. После ТО-2 трактору по схеме (1) снова проводят ТО-1 и при этом контролируют остаточный ресурс масла. Предположим, при четвертом, пятом и шестом ТО-1 (порядковые номера ТО-1 здесь и далее даны по схеме (1)) при определении  $t_M$  оказалось, что  $t_M > 0.5 \tau_{TO}$ . Поэтому после шестого ТО-1 трактору было назначено снова ТО-1, при котором также оказалось, что  $t_M > 0.5 \tau_{TO}$ . В результате трактору назначено следующее ТО-1 с предварительным контролем остаточного ресурса масла, при котором было получено:  $t_M < 0.5 \tau_{TO}$ . На этом основании трактору вместо назначенного ранее ТО-1 проведено ТО-3. В итоге на практике может быть получена следующая технологическая схема ТО трактора

$$\text{ТО-1} - \text{ТО-1} - (\text{ТО-2}) - \text{ТО-1} - \text{ТО-1} - \text{ТО-1} - \text{ТО-1} - (\text{ТО-3}). \quad (3)$$

Следует отметить, что предлагаемый способ определения сроков ТО машины базируется на компьютерном способе определения качества моторного масла [7]. Однако он может быть основан также и при применении других известных способов. К ним, например, относится способ проверки качества моторного масла по интенсивности накопления отложений в роторе маслоочистителя [8].

Таким образом, предложен способ определения сроков ТО машины по результатам оценки и прогнозирования качества масла в двигателе. В его основе лежит контроль и прогнозирование остаточного ресурса масла в двигателе. При его реализации периодичность выполнения операций ТО-1 не нарушается. Периодичность ТО-2 и ТО-3 уменьшается при  $t_M < \tau_{TO}$  или увеличивается при  $t_M > \tau_{TO}$ . Однако при этом замена масла в двигателе производится по его состоянию – точно в срок, если не принимать во внимание погрешности при определении его остаточного ресурса. В конечном итоге это позволит уменьшить расход моторного масла на замену при ТО и улучшить эксплуатационную надежность двигателя.

Применение предложенного способа определения сроков ТО машин имеет особое значение при реализации сезонно-цикловой технологии ТО тракторов [11]. Например, если сезонная наработка трактора за весенне-

летний период превышает периодичность замены масла в двигателе (500 моточасов), то по результатам контроля его качества и оценки остаточного ресурса замена масла может быть перенесена до следующего периодического ТО или приурочена к сезонно-цикловому обслуживанию. В результате при использовании трактора в каждый сезон замена масла в двигателе осуществляется только при его подготовке к осенне-зимнему и весенне-летнему периодам эксплуатации. Это позволяет сократить расход моторного масла на ТО и предотвратить его замену в полевых условиях, что, безусловно, улучшает экологическую безопасность.

#### **Список литературы**

1. ГОСТ 20793-2009. Тракторы и машины сельскохозяйственные. Техническое обслуживание. – Взамен ГОСТ 20793-86; введ. 2011-05-01. – М.: Стандартинформ, 2011. – 19 с.
2. Гурьянов Ю.А. Метод и средства экспресс-диагностики агрегатов машин по параметрам работавшего смазочного масла / Ю.А. Гурьянов // Техника в сел. хоз-ве. 2000. – № 3. – С. 30-33.
3. Кашиникова Л.В. Интенсификация процессов старения техники при использовании недоброкачественных масел / Л.В. Кашиникова, В.В. Остриков // Техника в сел. хоз-ве. 2003. – № 3. – С. 25-27.
4. Остриков В.В. Информативность и взаимосвязь показателей качества работающих моторных масел / В.В. Остриков, Н.Н. Тупотилов, В.В. Белгородский // Техника в сел. хоз-ве. 2008. – № 3. – С. 45-47.
5. Остриков В.В. Использование смазочных материалов в АПК и контроль их качества / В.В. Остриков, В.В. Белгородский, А.Ю. Корнев // Техника в сел. хоз-ве. 2007. – № 6. – С. 40-42.
6. Остриков В.В. Смазочные моторные масла и контроль их качества / В.В. Остриков, В.В. Белгородский // Техника в сел. хоз-ве. 2007. – № 2. – С. 40-41.
7. Пат. 2390774 Рос. Федерация, G 01 N 33/28 (2006.01). Компьютерный способ определения качества моторного масла / Хабардин В.Н., Найдьши А.Ф., Беломестных В.А., Мореквас И.В., Кононученко И.А.; заявитель и патентообладатель Иркут. гос. с.-х. акад. – № 2008101328/06; заявл. 09.01.08; опубл. 27.05.10, Бюл. № 15.
8. Техническое обслуживание и ремонт машин в сельском хозяйстве: учеб. пособие для вузов / В.И. Черноиванов [и др.]; под ред. В.И. Черноиванова. – М.: ГОСНИТИ; Челябинск: ЧГАУ, 2003. – 992 с.
9. Хабардин В.Н. Современные направления развития технического обслуживания машин / В.Н. Хабардин // Техника в сел. хоз-ве. – 2009. – № 5. – С. 28-30.
10. Хабардин В.Н. Совершенствование приборов для диагностирования автотракторных двигателей с учетом ресурсосбережения: монография / В.Н. Хабардин. – Иркутск: Изд-во Иркутский ГАУ, 2019. – 144 с.
11. Хабардин В.Н. Проблемы и концепция технического обслуживания машин в сельском хозяйстве: монография / В.Н. Хабардин. – Иркутск: Изд-во Иркутский ГАУ, 2020. – 124 с.

#### **Reference**

1. GOST 20793-2009. Traktori i machine sel'skohoziaystvennie [Agricultural tractors and machines. Maintenance]. Moscow, Standartinform, 2011, 19 p.
2. Guryanov Yu.A. Metod i sredstva ekspress-dagnostiki agregatov machin po parametram rabotavchego smazoshnogo masla [Method and means of express diagnostics of

machine aggregates according to the parameters of the working lubricating oil]. *Tekhnika v sel. khoz-ve*, 2000, no. 3, pp. 30-33.

3. Kashnikova L.V., Ostrikov V.V. Intensifikatsiya processov starenia tehniki pri ispol'zovanii nedobrokashestvennih masel [Intensification of the aging process of technology when using poor-quality oils]. *Tekhnika v sel. khoz-ve*, 2003, no. 3, pp. 25-27.

4. Ostrikov V.V., Tupotilov N.N., Belogorodsky V.V. Informativnost' i vzaimosviaz' pokazatelei kashestva rabotauchih motornih masel [Informative value and relationship of quality indicators of working motor oils]. *Tekhnika v sel. khoz-ve*, 2008, no. 3, pp. 45-47.

5. Ostrikov V.V., Belogorodsky V.V., Kornev A.Yu. Ispol'zovanie smazoshnih materialov v APK i kontrol' ih kashestva [The use of lubricants in the agro-industrial complex and control of their quality]. *Tekhnika v sel. khoz-ve*, 2007, no. 6, pp. 40-42.

6. Ostrikov V.V., Belogorodsky V.V. Smazoshnie motornie masla i kontrol' ih kashestva [Lubricating motor oils and their quality control]. *Tekhnika v sel. khoz-ve*, 2007, no. 2, pp. 40-41.

7. Pat. 2390774 Ros. Federatsia, G 01 no. 33/28 (2006.01). Komp'uternii sposob opredelenia kashestva motornogo masla [Pat. 2390774 Rus. Federation G 01 no. 33/28 (2006.01). Computer method for determining the quality of motor oil]. Khabardin V.N. et al.; zayavitel' i patentoobladatel' Irkutskaya gosudarstvennaya sel'skokoziastvennaya akademiya (RU), no. 2008101328/06.

8. Tehnisheskoe obslujivanie i remont mashin v sel'skom hoziaistve: usheb. posobie dlya vuzov [Maintenance and repair of machines in agriculture: textbook. manual for universities]. V.I. Chernov et al. Moscow: GOSNITI; Chelyabinsk: ChGAU, 2003, 992 p.

9. Khabardin V.N. Sovremennye napravleniya razvinia tehnicheskogo obslujivaniya mashin [Modern directions of development of technical maintenance of machines]. *Tekhnika v sel. khoz-ve*, 2009, no. 5, pp. 28-30.

10. Khabardin V.N. Soverchenstvovanie priborov dlia diagnostirovaniya avtotraktornih dvigatelei s ushetom resursosberejenia: monografiya [Improvement of devices for diagnostics of automotive engines taking into account resource saving: monograph]. Irkutsk: Izd-vo Irkutsk GAU, 2019, 144 p.

11. Khabardin V.N. Problemy` i koncepciya texnicheskogo obsluzhivaniya mashin v sel'skom khozyajstve: monografiya [Problems and concept of maintenance of machines in agriculture: monograph]. Irkutsk: Izd-vo Irkutsk GAU, 2020, 124 p.

Дата поступления в редакцию 4 июня 2021 г., дата принятия в печать 28 июня 2021 г.

#### **Сведения об авторе:**

**Хабардин Василий Николаевич** – доктор технических наук, профессор кафедры эксплуатации машинно-тракторного парка, безопасности жизнедеятельности и профессионального обучения инженерного факультета. ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ (664038, Россия, Иркутская обл., Иркутский р-н, пос. Молодежный, тел. 89500809286, e-mail: rector@igsha.ru).

#### **Information about the author**

**Habardin Vasilij N.** – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Operation of the Machine and Tractor Fleet, Life Safety and Professional Training of the Faculty of Engineering. Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky (Molodezhny, Irkutsk, Irkutsk region, Russia, 664038, tel. 89500809286, e-mail: rector@igsha.ru).

УДК 630. 681.518.2

## РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ ЛЕСНЫХ РЕСУРСОВ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ

**М.Н. Барсукова, А.Ю. Репеха**

ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ,  
*п. Молодежный, Иркутский р-он, Иркутская обл., Россия*

Сведения о количественном и качественном состоянии лесных ресурсов, можно получить из большого числа различных источников, однако собранная информация, как правило, представлена в неструктурированном виде, на поиски которой уходит большое количество времени. В сложившейся ситуации ценность приобретают информационные системы, позволяющие обрабатывать структурированные данные. Работа посвящена описанию процесса разработки информационной системы для проведения оценки лесных ресурсов на примере Иркутской области. Этот регион является одним из самых лесистых на территории России. При этом увеличивается рост антропогенного воздействия на леса. Спроектированная информационная система позволяет накапливать, хранить, редактировать качественные и количественные данные о лесных ресурсах. В качестве исследуемой территории выбран участок “Хонгор”, расположенный в учебно-опытном охотничьем хозяйстве “Голоустное”. Используя спутниковые снимки, определены основные типы лесных массивов и подсчитаны их площади. Для количественной и качественной оценки состояния лесных массивов использован один из способов получения информации о расположении объектов на местности – автоматическое распознавание спутниковых снимков. Информационная система позволяет проводить учет численности зверей по методам зимнего маршрутного учета и прогона. Анализ результатов учета по выбранным методам, позволяет выбрать наиболее вероятную численность определённого вида животного на участке. Система позволяет получать табличную и картографическую информацию.

*Ключевые слова:* лесные ресурсы, спутниковые снимки, лес, геоинформационная система.

## DEVELOPMENT OF AN INFORMATION SYSTEM FOR FOREST RESOURCES ASSESSMENT IN THE IRKUTSK REGION

**Barsukova M.N., Repekha A.Yu.**

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

Information about the quantitative and qualitative state of forest resources can be obtained from a large number of different sources, however, the information collected is usually presented in an unstructured form, which takes a lot of time to find. In this situation, information systems that allow processing structured data are gaining value. The work is devoted to the

description of the process of developing an information system for assessing forest resources on the example of the Irkutsk region. This region is one of the most wooded in Russia. At the same time, the growth of anthropogenic impact on forests is increasing. The designed information system allows you to accumulate, store, edit qualitative and quantitative data on forest resources. The area “Khongor”, located in the educational and experimental hunting farm “Goloustnoye”, was chosen as the study area. Using satellite images, the main types of forest areas have been identified and their areas have been calculated. For a quantitative and qualitative assessment of the state of forest areas, one of the methods of obtaining information about the location of objects on the ground was used - automatic recognition of satellite images. The information system makes it possible to census the number of animals using the methods of winter route counting and running. Analysis of the results of accounting for the selected methods allows you to select the most likely number of a certain type of animal on the site. The system allows obtaining tabular and cartographic information.

*Keywords:* forest resources, satellite images, forest, geographic information system.

**Введение.** Лесные ресурсы – это накапливающиеся и хранящиеся в лесном фонде почвенные, водные, растительные, животные источники удовлетворения потребностей человека. Сведения о количественном и качественном состоянии лесных ресурсов, можно получить из разных источников – тематических карт, лесного кадастра, материалов лесоустройства, специальной литературы, научных публикаций, лесного экологического мониторинга и т.д. Ввиду того, что используемые данные для определения видов лесных ресурсов и численности диких животных не структурированы, на поиски необходимой информации уходит большое количество времени [1].

В настоящее время используются и создаются различные геоинформационные системы, в базах данных, которых находится вся необходимая для лесоустройства информация. К сожалению, актуальна проблема с доступностью информации. В большинстве случаев доступ к источникам данных ограничен [2].

Целью работы является проектирование информационной системы оценки лесных ресурсов с тестированием на примере участка, расположенного на юге Иркутской области. В соответствии с поставленной целью выделены следующие задачи:

- обзор используемых геоинформационных систем в лесном деле;
- исследование участка “Хонгор”, расположенного на территории учебно-опытного охотничьего хозяйства “Голоустное”;
- построение функциональной модели процесса оценки лесных ресурсов и базы данных, а также пользовательского интерфейса;
- определение зон лесных массивов и животного мира на участке “Хонгор” с помощью информационной системы;

**Методы и материалы.** В качестве исходных материалов при подготовке работы использовались снимки высокого и среднего пространственного разрешения за разные периоды мониторинга, данные о состоянии животного мира на выбранном участке [3].

В работе применены методы проектирования и создания информационных систем.

Для решения задач мониторинга лесохозяйственной деятельности использованы методики и технологии с использованием данных дистанционного зондирования Земли [4].

Учет животного мира проводился с помощью методов учета охотничьих зверей – прогона и зимнего маршрутного учета [5-6].

**Основные результаты.** Разработка информационной системы начинается с процесса проектирования. Создается функциональная модель процесса и декомпозиция, где каждый этап затрагивает все последующие этапы, определяя, насколько эффективным окажется процесс работы над данным ресурсом [10].

Для создания базы данных выбрана СУБД MySQL. После создания база данных необходимо разработать простой и удобный интерфейс для пользователя.

Для разработки пользовательского интерфейса использована интегрированная среда разработки программного обеспечения Borland Delphi 7 фирмы Borland Software Corporation.

После запуска программы появляется главное окно информационной системы оценки лесных ресурсов (рис. 1). Интерфейс представлен контекстным меню, состоящим из 3 пунктов: “Файл”, “Таблицы”, “О программе” [9].

Во вкладке файл реализованы все основные функции программы: “Открыть”, “Сохранить”, “Параметры” и “Выход из программы”.



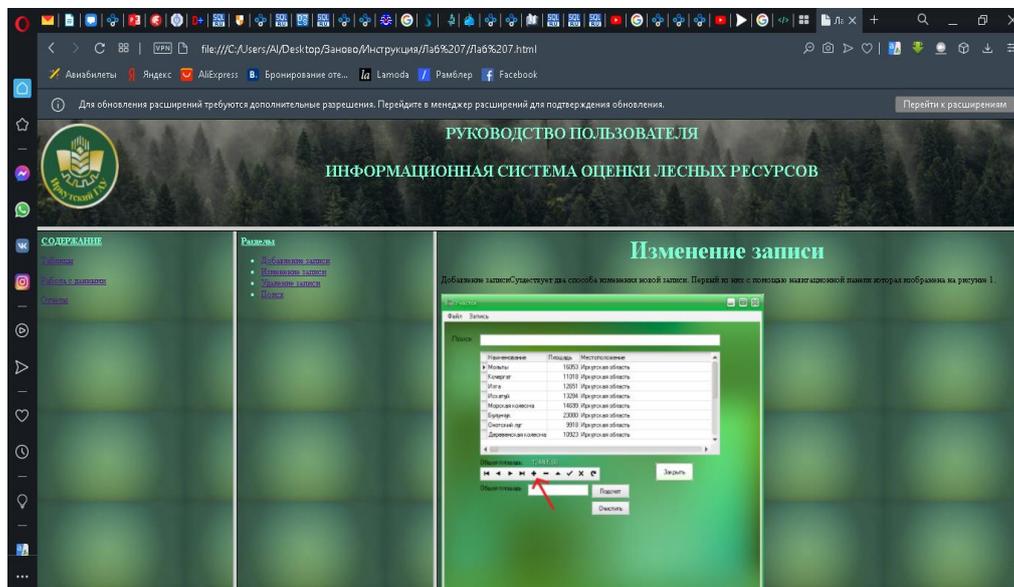
Рисунок 1 – Главное окно информационной системы оценки лесных ресурсов

Прежде чем приступить к работе в системе необходимо изучить инструкцию пользователя. Поэтому на вкладке “О программе” разработано руководство пользователя (рис. 2).

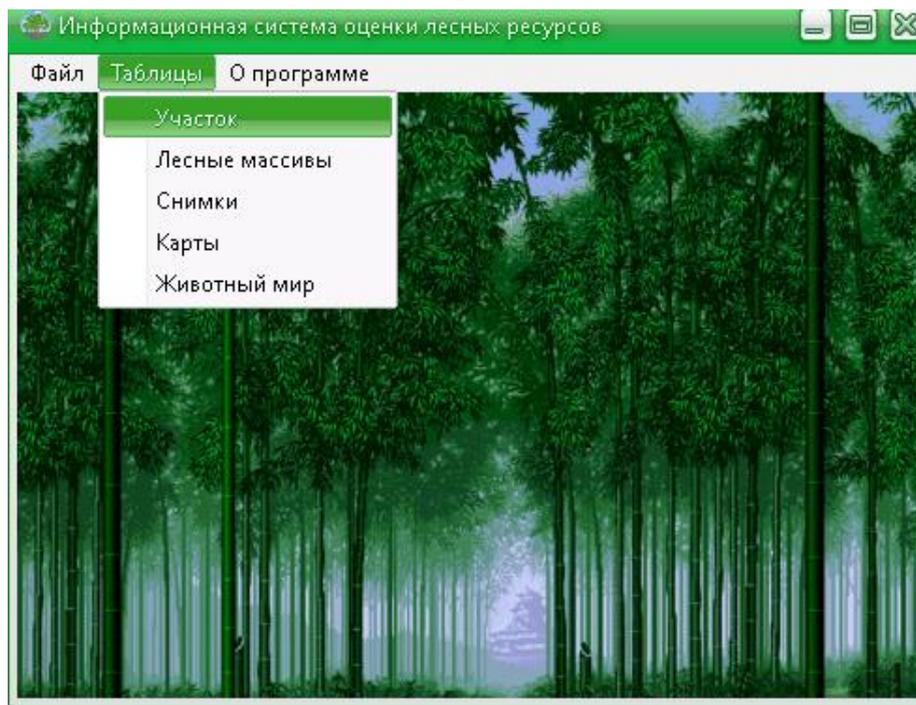
Пользователь может ознакомиться со всей информацией о том, как работать в данной системе.

После изучения инструкции, пользователь может начать работу с таблицами (рис. 3).

При нажатии на вкладку “Таблицы” раскрывается список всех таблиц, созданных в базе данных.



**Рисунок 2 – Руководство пользователя**

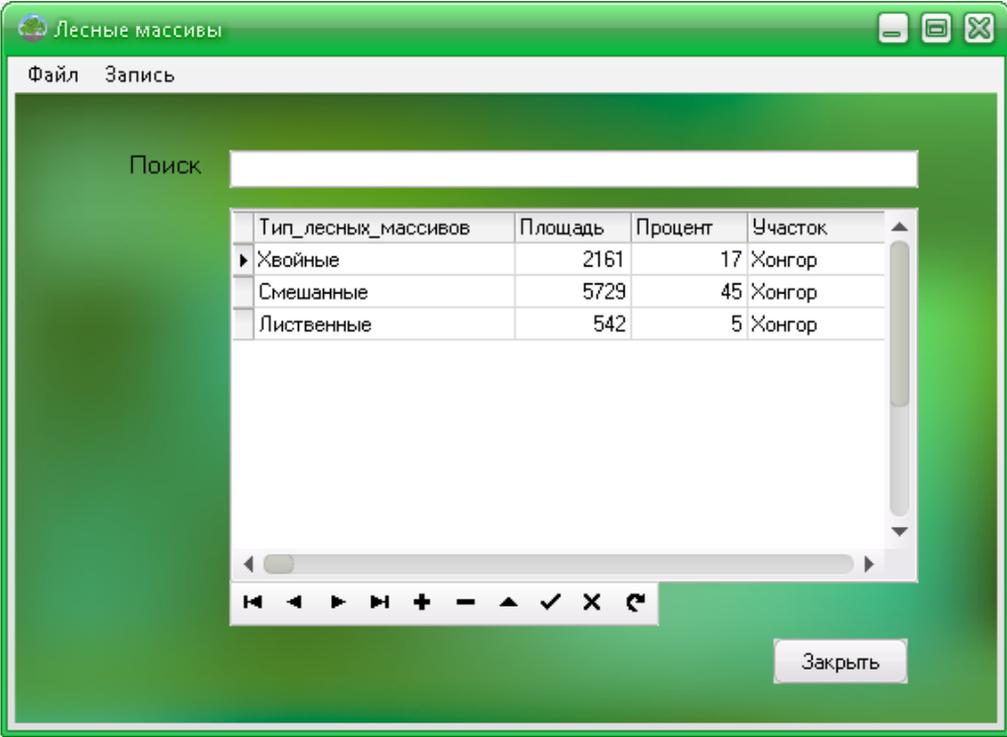


**Рисунок 3 – Перечень таблиц**

Для оценки лесных массивов разработана таблица “Лесные массивы”.

Благодаря спутниковым снимкам высокого разрешения удалось выявить, что на участке “Хонгор” располагаются три типа лесных массивов: хвойные, лиственные и смешенные. Поэтому в таблице хранятся данные о вычисленных площадях каждого типа лесного массива на определенном участке (рис. 4).

С помощью этих данных можно оценить состояние лесных массивов.



The screenshot shows a software window with a green title bar and a menu bar containing 'Файл' and 'Запись'. Below the menu is a search bar labeled 'Поиск'. The main area contains a table with the following data:

Тип_лесных_массивов	Площадь	Процент	Участок
Хвойные	2161	17	Хонгор
Смешанные	5729	45	Хонгор
Лиственные	542	5	Хонгор

Below the table is a navigation panel with various icons (back, forward, search, etc.) and a 'Закреть' button at the bottom right.

Рисунок 4 – Таблица “Лесные массивы”

На форме с таблицами расположена строка поиска, с помощью которой пользователь может найти нужные данные.

Для редактирования записи можно воспользоваться двумя способами:

– перейти на вкладку “Запись”, согласно которой можно выполнять основные функции редактирования: добавить, изменить, сохранить и удалить записи;

– использовать навигационную панель, которая расположена на всех формах рядом с таблицами.

На панели изображены символы, используя которые появляется подсказка с обозначением. С их помощью выполняется любое редактирование записи.

Для того чтобы сформировать отчет, на формах с таблицами расположена вкладка “Файл”. При нажатии на нее можно просмотреть отчет, который автоматически формируется. Его можно экспортировать в файлы pdf, Word, Excel и при необходимости распечатать.

Для оценки лесных массивов используется таблица “Снимки”. Здесь хранятся космические снимки за определенные даты различных участков. На форме с таблицей расположен отдельный блок, с помощью которого можно

выполнить запрос к базе данных для извлечения снимка нужного участка, соответствующего определенной дате (рис. 5).

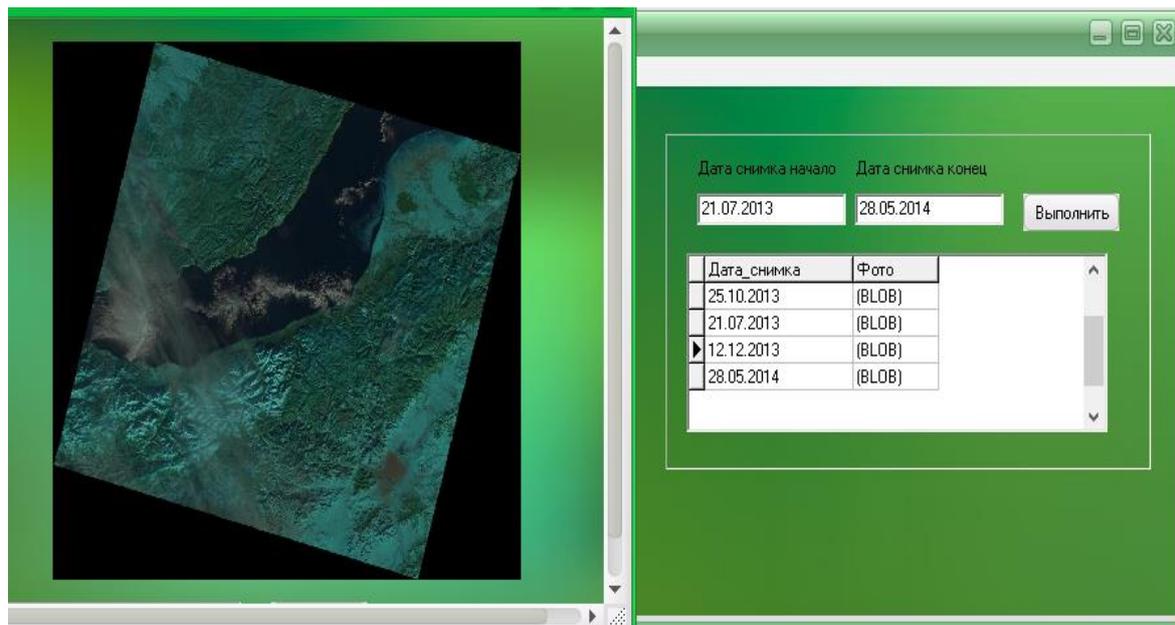


Рисунок 5– Запрос по дате

С помощью спутниковых снимков можно осуществлять оценку и мониторинг изменений различных территорий, и на основе собранных данных прогнозировать.

На рисунке 6 показана таблица “Животный мир”.

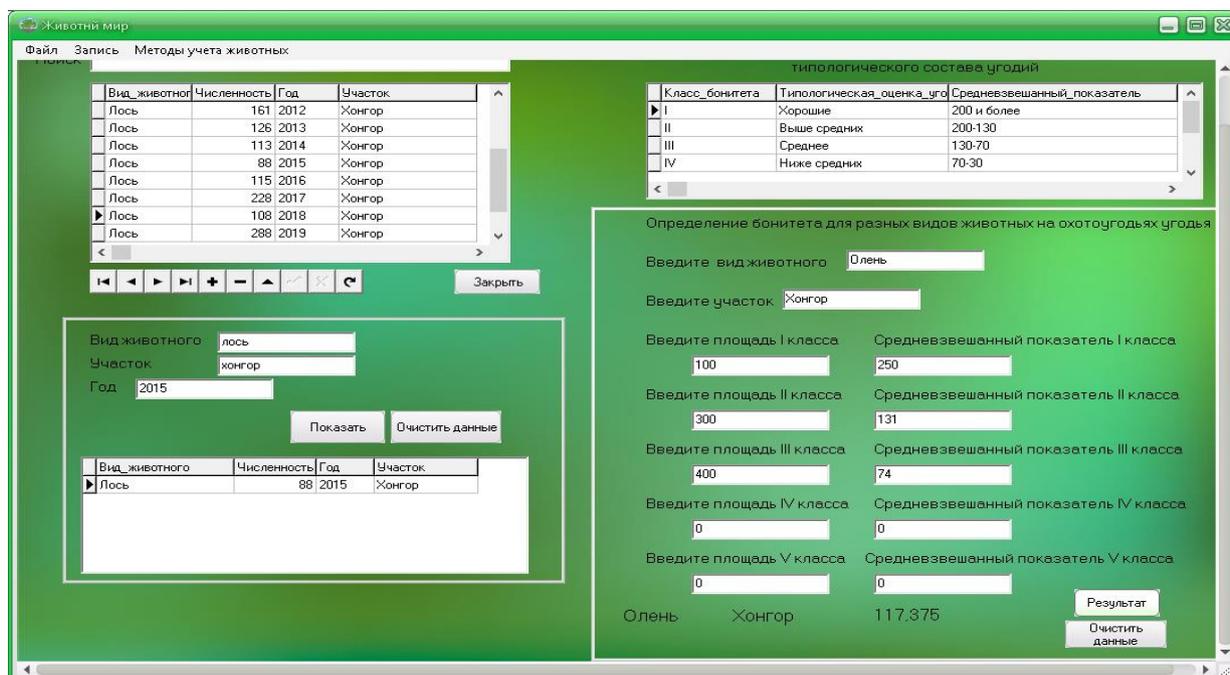


Рисунок 6 – Таблица “Животный мир”

В таблице хранятся данные о численностях животных за определенные периоды. Для поиска численности по видам животных на участке в определенный год можно выполнить запрос.

С целью оценки условий обитания животных разработан отдельный блок для расчета класса бонитета угодий, определить, пригодна ли территория для определённого вида животного [8].

Оценка численности животного мира определяется с помощью двух методов: метод зимнего маршрутного учета (ЗМУ) и метод прогона (рис. 7) [7].

Код_численности	Вид_зверя	Метод	Численность	Участок
2	Лось	Метод ЗМУ	354	Хонгор
3	Лось	Метод ЗМУ	288	Хонгор
4	Лось	Метод ЗМУ	100	Хонгор
5	Бобр	Метод ЗМУ	90	Хонгор
6	Волк	Метод прогона	15	Хонгор

**Рисунок 7 – Методы для учета численности животных**

Полученные расчеты двумя методами заносятся в таблицу “Учет численности зверей” для проведения сравнительного анализа показателей численности согласно приведенным методам.

**Выводы.** В работе описан процесс проектирования информационной системы оценки лесных ресурсов и реализация некоторых функций системы для конкретной территории юга Иркутской области. Разработанная система позволяет хранить, накапливать и изменять данные, а также проводить оценку лесных ресурсов и численности разных видов диких животных.

#### **Список литературы**

1. Барсукова Т.Л. Лесные культуры и защитное лесоразведение: практ. пос. / Барсукова Т.Л., Климович Л.К. – Гомель: Изд-во ГГУ им Ф.Скорины, 2008. – 74 с.
2. Блиновская Я.Ю. Введение в геоинформационные системы / Я.Ю. Блиновская, Д.С. Задоя. – М.: Изд-во Инфра-М, Форум, 2016. – 112 с.
3. Любимов А.В. Дистанционные (аэрокосмические) методы комплексной оценки лесных ресурсов: учеб. пособие / А.В. Любимов, С.В. Вавилов, А.В. Грязькин – СПб: Изд-во Лань, 2020. – 144 с.

4. *Малых В.А.* Управление лесным хозяйством / *В.А. Малых* – Москва: Изд-во Форум, 2014. – 145 с.
5. *Машкин В.И.* Ресурсы животного мира: учеб. пособие / *В.И. Машкин* – СПб.: Изд-во Лань, 2019. – 376 с.
6. Методические указания по осуществлению органами исполнительной власти субъектов Российской Федерации переданного полномочия Российской Федерации по осуществлению государственного мониторинга охотничьих ресурсов и среды их обитания методом зимнего маршрутного учета. Приложение к приказу Минприроды России от 11.01.2012 г. № 1. – М., 2012. 18 с.
7. Методические рекомендации по определению численности копытных, пушных животных и птиц методом зимнего маршрутного учета. Приложение 1 к приказу ФГБУ “Центрохотконтроль” от 13.11.2014 г. № 58. – М., 2014. 18 с.
8. *Музыка С.М.* Учет животных ресурсов: учеб.-метод. пособие и прогр. полевой учеб. практики для студентов факультета охотоведения по направлению 020400.62 - Биология (профиль: охотоведение, биоэкология, экологический туризм) / *С.М. Музыка, Б.Н. Дицевич.* – Иркутск: Изд-во ИрГСХА, 2012. – 92 с. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система Иркутского ГАУ. – Режим доступа: для автор. пользователей.
9. Разработка информационной системы оценки лесных ресурсов Иркутской области: магистерская диссертация по направлению подгот. 09.04.03 – Прикладная информатика / *А.Ю. Репеха*; науч. рук. *М.Н. Барсукова*; ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ. – Молодежный: [б. и.], 2021. – 66 с. – Текст: электронный // Электронная библиотека Иркутского ГАУ. – Режим доступа: для автор. пользователей.
10. *Репеха А.Ю.* Проектирование информационной системы оценки лесных ресурсов / *Репеха А.Ю., Барсукова М.Н.* // Материалы всероссийской студенческой научно-практической конференции “Научные исследования студентов в решении актуальных проблем АПК”. Иркутск, 4-5 марта 2021 года. – г. Иркутск: Изд-во Иркутский ГАУ, 2021. – 9 с.

### References

1. Barsukova T.L., Klimovich L.K. Lesnie kul'turi i zashitnoe lesorazvedenie: prakt. pos. [Forest cultures and protective afforestation: textbook]. Gomel': Izd-vo GGU im F.Skoriny, 2008, 74 p.
2. Blinovskaya Ya.Yu., Zadoya D.S. Vvedenie v geoinformacionnie sistemi [Introduction to geoinformation systems]. M.: Izd-vo Infra-M, Forum, 2016, 112 p.
3. Lyubimov A.V., Vavilov S.V., Gryazkin A.V. Distancionnie (aerokosmisheskie) metodi kompleksnoi ocenki lesnih resursov: usheb. posobie [Remote (aerospace) methods of complex assessment of forest resources: textbook]. SPb: Izd-vo Lan, 2020, 144 p.
4. Malykh V.A. Upravlenie lesnim hoziaistvom [Management of forestry]. Moscow: Izd-vo Forum, 2014, 145 p.
5. Mashkin V.I. Resursi jivotnogo mira: usheb. posobie [Animal world resources: textbook]. SPb: Izd-vo Lan, 2019, 376 p.
6. Methodical instructions for the implementation by the executive authorities of the constituent entities of the Russian Federation of the delegated powers of the Russian Federation to carry out state monitoring of hunting resources and their habitat using the method of winter route accounting. Appendix to the order of the Ministry of Natural Resources of Russia dated January 11, 2012 No. 1. - Moscow., 2012, - 18 p.
7. Metodisheskie rekomendacii po opredeleniu shislennosti kopitnih, puchnih jivotnih i ptic metodom zimnego marchrutnogo usheta. Prilojenie 1 k prikazu FGBU “Centrohotkontrol” ot 13.11.2014, no. № 58 [Methodical recommendations for determining the number of

ungulates, fur-bearing animals and birds by the method of winter route counting. Appendix 1 to the order of the Federal State Budgetary Institution "Tsentrohotkontrol" dated November 13, 2014, no. 58]. Moscow., 2014, 18 p.

8. Music S.M., Ditsevich B.N. Ushet jivotnih resursov: usheb.-metod.posobie i progr. polevoi usheb. praktiki dlya studentov fak. ohotovedeniya po naprav. 020400.62 – Biologia (profil': ohotovedenie, bioekologia, ekologicheskii turizm) [Accounting for animal resources: study guide and field training program for students of the Hunting Faculty in the direction 020400.62 - Biology (profile: hunting science, bioecology, ecological tourism)]. Irkutsk,: Izd-vo IrGSKhA, 2012, 92 p.

9. Repekha A.Yu., Barsukova M.N. Razrabotka informacionnoi sistemi ocenki lesnih resursov Irkutskoi oblasti: masterskaya diss. po napravleniu podgot. 09.04.03 – Prikladnaya informatika [Development of an information system for assessing forest resources of the Irkutsk region: master's thesis in the direction of prep. 04.09.03 - Applied Informatics]. Molodezhny, Izd-vo Irkutsk GAU, 2021, 66 p.

10. Repekha, A.Yu., Barsukova M.N. Proektirovanie informacionnoi ocenki lesnih resursov [Designing an information system for assessing forest resources. Mater. vseross. stud. naush.-prakt. konf. "Naushnie issledovaniya studentov v rehenii aktualnih problem APK]. Molodezhny, Izd-vo Irkutsk GAU, 2021, pp.9-15.

Дата поступления в редакцию 6 апреля 2021 г., дата принятия в печать 28 июня 2021 г.

#### **Сведения об авторах**

**Барсукова Маргарита Николаевна** – кандидат технических наук, доцент кафедры информатики и математического моделирования. ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ (664038, Россия, Иркутская обл., Иркутский р-н, пос. Молодежный, тел +7 (3952) 237 330, e-mail: margarita1982@bk.ru).

**Репеха Алина Юрьевна** – магистрант 2 курса направления 09.04.03 Прикладная информатика. ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ (664038, Россия, Иркутская обл., Иркутский р-н, пос. Молодежный, тел. 89041448530, e-mail: alina.repekha@yandex.ru).

#### **Information about the author**

**Barsukova Margarita N.** – Candidate of Technical Sciences, Ass. Prof. of Department of Informatics and Mathematical Modeling of Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky (664038, Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia, tel. +7(3952)237330, e-mail: bmn1982@rambler.ru).

**Repekha Alina Y.** – 2nd year Master-student of directions 09.04.03 Applied Informatics, Irkutsk State Agraricultural University named after A.A. Ezhevsky (664038, Russia, Irkutsk region, Irkutsk district, Molodezhniy, tel. 89041448530, e-mail: alina.repekha@ yandex.ru).

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ АГРАРНОГО УНИВЕРСИТЕТА ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

Я.М. Иваньо, Д.А. Попов

ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ,  
*п. Молодежный, Иркутский район, Иркутская область, Россия*

В статье рассмотрены вопросы прогнозирования показателей эффективности научно-исследовательской деятельности для аграрного университета. Проанализированы различные методы прогнозов и особенности данных, использованных для решения задач оценки будущих ситуаций. Показатели научной деятельности распределены по группам в зависимости от их свойств изменчивости. В результате для каждой группы показателей предложены разные методы оценки будущих значений, которые определялись на среднесрочную перспективу, поскольку связаны с программой развития университета до 2025 г. Показатели публикационной активности научно-педагогических работников предложено оценивать с помощью степенных трендов. Помимо этого, применена методика расчета этих показателей, приведенная в Федеральной научно-технической программе развития сельского хозяйства на 2017-2025 годы. Применение двух методов позволяет сравнивать фактические тенденции вуза с целевыми показателями согласно документу. Для оценки доходов от научной деятельности предложено линейное регрессионное выражение. При оценке возможности открытия диссертационного совета и определения числа научно-исследовательских лабораторий и центров использовано мнение экспертов, входящих в научно-технический совет университета. Предложенные прикладные модели учитывают особенности тенденций роста показателей Иркутского ГАУ. Результаты прогнозирования положены в основу стимулирования научно-педагогических работников вуза. Очевидно, что предложенные модели можно использовать при прогнозировании значений научной деятельности любого аграрного вуза. Между тем, у каждого вуза есть свои особенности развития, которые необходимо учитывать при разработке прогностических моделей. Понятно, что внешние и внутренние факторы, влияющие на показатели научно-исследовательской деятельности, изменчивы, поэтому прогностические значения требуют ежегодной корректировки.

*Ключевые слова:* прогнозирование, методы, модели, научно-исследовательская деятельность, аграрный университет.

## FORECASTING INDICATORS OF EFFICIENCY OF RESEARCH ACTIVITY OF AGRARIAN UNIVERSITY FOR IMPROVING MANAGEMENT SOLUTIONS

Ivanyo Ya.M., Popov D.A.

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

The article discusses the issues of forecasting indicators of the effectiveness of research activities for an agricultural university. Various forecasting methods and features of the data used to solve the problems of assessing future situations are analyzed. The indicators of

scientific activity are divided into groups depending on their properties of variability. As a result, different methods for assessing future values were proposed for each group of indicators. Forecasting was carried out for the medium term, since it is associated with the university development program until 2025. It was proposed to evaluate the publication activity indicators of scientific and pedagogical workers using power trends. In addition, the methodology for calculating these indicators, given in the Federal Scientific and Technical Program for the Development of Agriculture for 2017-2025, was applied. The use of the two methods makes it possible to compare the actual trends of the university with the targets of the federal document. A linear regression expression is proposed to estimate income from research activities. When assessing the possibility of opening a dissertation council and determining the number of research laboratories and centers, the opinion of experts included in the scientific and technical council of the university was used. The developed applied models take into account the peculiarities of the growth trends of the indicators of the Irkutsk State Agrarian University. The results of forecasting are the basis for stimulating the research and teaching staff of the university. Obviously, the proposed models can be used to predict the values of scientific activity of any agricultural university. Meanwhile, each university has its own characteristics of development, which must be taken into account when developing predictive models. It is clear that external and internal factors affecting the performance of research and development activities are variable, therefore the forecast values need to be adjusted annually.

*Keywords:* forecasting, methods, models, research activities, agricultural university.

**Введение.** Эффективность деятельности российского вуза определяется рядом показателей по образованию, научным исследованиям, международной кооперация, финансово-экономическому состоянию и дополнительным критериям [11]. Между тем числовые показатели отображают лишь результаты повседневной работы преподавателей, осуществляющих разные аспекты трудовой деятельности [9].

Для управления деятельностью университета необходимо обеспечение образовательного и научного процессов высококвалифицированными кадрами, наличие современного материально-технического оснащения, развитие академической мобильности, осуществление постоянных и развивающихся связей с производственными и научными организациями и многое другое.

Аграрный вуз имеет свои особенности, связанные с наличием учебно-опытных хозяйств, учебных ферм, садоводческих участков, лабораторий по переработке сельскохозяйственной продукции. Его деятельность ориентирована на подготовку кадров для сельской местности. В эпоху быстрого развития технологий управленческие решения во многом связаны с прогнозами. В таких случаях большое значение имеют среднесрочные и долгосрочные прогнозы, а также планирование на их основе мероприятий деятельности вуза и программ развития. Примером планирования научной деятельности на долгосрочную перспективу может служить “Федеральная программа научно-технического развития сельского хозяйства Российской Федерации на 2017-2025 гг.” [1]. При этом возможности деятельности университета по образовательной и научной деятельности обозначены в законе об образовании в Российской Федерации [2].

Исходя из актуальности оценки перспектив развития аграрного вуза,

определена цель работы, которая состоит в разработке прикладных моделей прогнозирования показателей, характеризующих эффективность научно-исследовательской деятельности университета, для улучшения управленческих решений на основе возобновляемого информационного обеспечения.

В соответствии с поставленной целью выделены следующие задачи:

- определить методы и модели прогнозирования показателей научной деятельности университета;
- разработать модели прогнозирования показателей научной деятельности вуза.

Реализация моделей осуществлялась на основе данных научно-исследовательской деятельности Иркутского ГАУ.

**Материалы и методы.** Для прогнозирования показателей в различных сферах экономики и образования используют различные методы. При этом в литературных источниках встречается различная классификация методов прогнозирования в зависимости от выделяемых авторами признаков. Для примера в работе [5] приведен обзор методов научного прогнозирования. Из всего многообразия выделим общие и прикладные аспекты построения моделей для оценки будущих ситуаций.

Обширный анализ методов прогнозирования для решения задач аграрного производства выполнен в работе [16]. Причем авторы выделяют перспективные направления прогнозирования, акцентируя особое внимание на возможности гибридных методов. В публикации [4] предложены рекомендации для крупных компаний по применению планирования сценариев. В статьях [7, 8] разработан алгоритм прогнозирования цен на продукцию с учетом многолетних трендов и сезонных флуктуаций. Для среднесрочного и долгосрочного прогнозирования можно использовать многоуровневые модели с насыщением [10]. В статье [15] для интервального прогнозирования защиты от кибератак использована вероятностная нейронная сеть с динамическим обновлением. Авторами работы [14] обращено внимание на прогноз рисков для обеспечения экономической безопасности предприятия.

Большое число статей посвящено региональным прогнозам, учитывающим природно-климатические особенности территорий. В частности, выделим работы по прогнозированию производственно-экономических показателей аграрного производства с использованием трендовых и факторных зависимостей для разных территорий страны [3, 6, 12, 13].

В данной статье применялись следующие методы прогнозирования: экспертные оценки, экстраполяция, программно-целевой. Для построения прикладных моделей использованы сведения о показателях научно-исследовательской деятельности Иркутского ГАУ за 2015-2021 гг.

**Основные результаты.** При экстраполяции рассматривают временные эмпирические ряды, для которых выделяют тренды. Распространенной функцией для описания динамики ряда является полином степени  $m$ :

$$y_t = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + \dots + a_m t^m + \varepsilon_t, \quad (1)$$

где  $a_0, a_1, \dots, a_m$  – коэффициенты полинома,  $t$  – время,  $\varepsilon_t$  – остаток ряда, который при обосновании его случайности, можно моделировать с помощью метода Монте-Карло. Очень часто для оценки производственно-экономических показателей аграрного производства используют полином второй степени или линейное выражение, которые нетрудно получить из формулы (1). Для аппроксимации функции по эмпирическим значениям часто используют метод наименьших квадратов.

В ряде случаев можно использовать модели в виде степенной функции

$$y_t = a_0 x^{a_1} + \varepsilon_t, \quad (2)$$

где  $a_0, a_1$  – коэффициенты тренда,  $\varepsilon_t$  – остаток ряда.

Для среднесрочного и долгосрочного прогнозирования научно-практическое значение имеют нелинейные модели роста с насыщением, к которым относятся логистическая, асимптотическая функция и степенная:

$$y_t = y_{\max} - (y_{\max} - y_{\min}) e^{-kt}, \quad (3)$$

$$y_t = \frac{y_{\max}}{1 + e^{-vt}}, \quad (4)$$

где  $y_{\max}, y_{\min}$  – уровень насыщения и минимальное значение,  $k, v$  – коэффициенты скорости роста.

Приведенные выражения позволяют моделировать уровни временных рядов в условиях высокой неопределенности [10] с верхней оценкой, которую необходимо достигнуть в определенное время. Это особенно актуально для планирования показателей в рамках тенденций, определяемых законодательными документами. В дополнение, для определения нижних и верхних оценок можно использовать мнения экспертов.

Экспертные оценки применимы для решения других задач, например, определения возможных доходов от научной деятельности в перспективе, выявления возможности открытия диссертационного совета, регистрации научного журнала и других.

Обратим внимание на методику расчета целевых показателей, приведенную в Федеральной научно-технической программе развития сельского хозяйства на 2017-2025 годы. Эта методика основана на сравнении последующего и предыдущего уровней с указанием достижимого

результата. В частности, увеличение числа публикаций по результатам исследований и разработок в научных журналах, индексируемых в базе данных Scopus или в базе данных “Сеть науки” (WEB of Science), по отношению к предшествующему году рассчитывается по формуле

$$П_i = \frac{N_i - N_{i-1}}{N_{i-1}} \times 100\%, \quad (5)$$

где  $N_i$  – число публикаций по результатам исследований и разработок в научных журналах, индексируемых в базе данных Scopus или в базе данных “Сеть науки” (WEB of Science), по направлениям реализации Федеральной научно-технической программы развития сельского хозяйства на 2017-2025 годы в  $i$ -м году;  $N_{i-1}$  – число публикаций по результатам исследований и разработок в научных журналах, индексируемых в базе данных Scopus или в базе данных “Сеть науки” (WEB of Science), по направлениям реализации программы в предшествующем году.

В заключении отметим необходимость определенного объема данных для решения прогностических задач. С информацией связаны методы и модели. Кроме того, моделировать ту или иную ситуацию можно на разных отрезках времени – в рамках сезона, года, многолетия. При этом очень важным аспектом является значение интервала – сутки, месяц, квартал, год.

Показатели, характеризующие научно-исследовательскую деятельность, отражают разные аспекты. Публикационная активность представляет собой результаты научных исследований на определенном этапе, цитирование работ автора зависит от его авторитета в научных кругах, уровня общения с коллегами.

Объемы финансирования научных разработок обусловлены востребованностью производственными организациями результатов работы ученого, кооперацией университета с предприятиями, научно-исследовательскими организациями, другими вузами.

Создание современных лабораторий связано с качеством кадрового состава и возможностью приобретения необходимого оборудования и техники, оценкой его постоянной востребованности.

Большое значение имеет академическая мобильность преподавателей и особенно молодых исследователей для вхождения в мировое научное пространство.

При построении моделей и их реализации использованы квартальные данные о различных аспектах научно-исследовательской деятельности, архивные материалы, данные статистической отчетности научного отдела, показатели рейтинга вузов Минсельхоза России, показатели мониторинга, проводимого Минобрнауки РФ, касающиеся Иркутского ГАУ.

В зависимости от вида деятельности применялись разные методы прогнозирования. Для решения задач, связанных с повышением качества кадрового потенциала научно-педагогических работников, создания условий для развития молодых исследователей и управленческих кадров использован метод

экспертных оценок. В частности, на основе кадрового анализа профессорско-преподавательского состава, перспектив защит диссертационных работ, публикационной активности преподавателей спрогнозировано создание диссертационного совета по техническим наукам в 2021 году. При оценке возможности открытия совета участвовали три эксперта, входящие в состав научно-технического совета вуза.

С помощью экспертной оценки определено число научно-исследовательских лабораторий и центров, которое с 15 в 2021 г. должно возрасти до 19 в 2025 г.

Публикационная активность профессорско-преподавательского состава хорошо описывается с помощью степенной функции (рисунок). Здесь приведена динамика прогностических значений на 2019-2025 гг. количества публикаций на 100 научно-педагогических работников (НПР), индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus. При построении моделей, показанных на рисунке использованы формулы (2), (5).

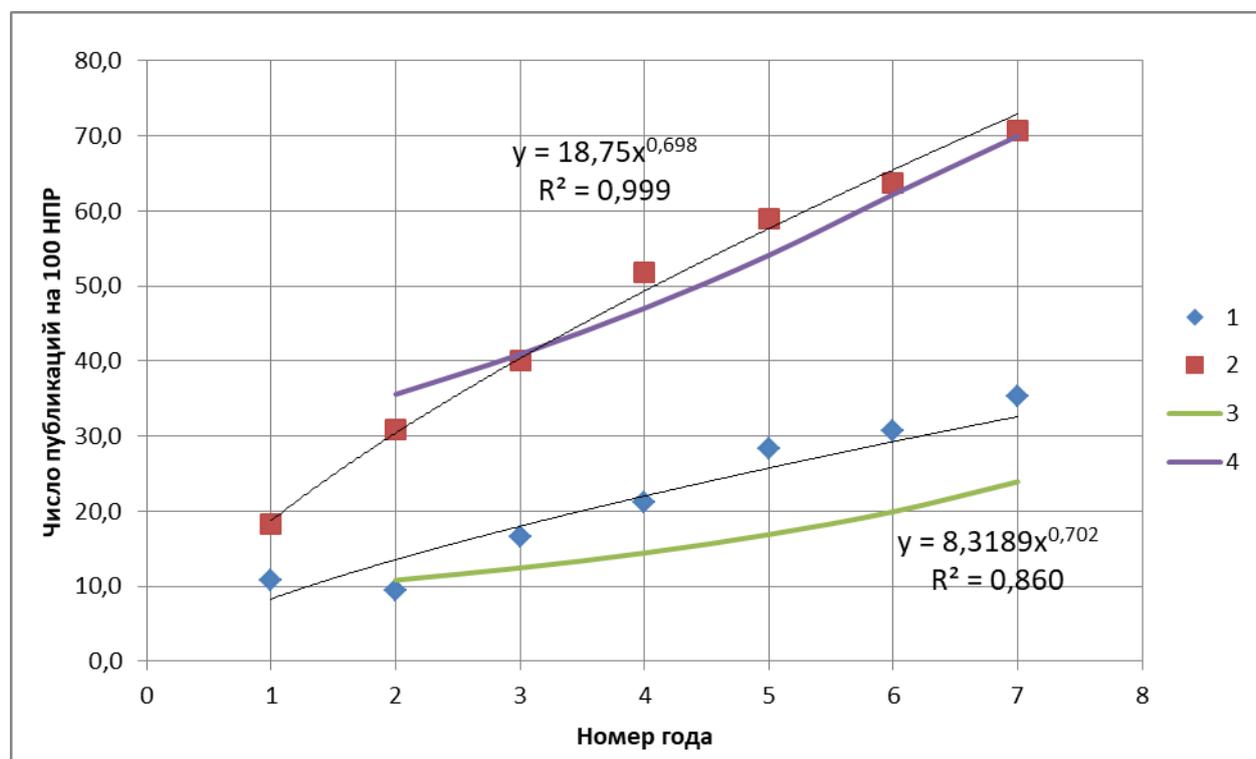


Рисунок – Прогностические значения публикаций на 100 научно-педагогических работников, индексируемых в базах данных Web of Science(1) и Scopus (2) на 2019-2025 гг. на основе экстраполяции и методики Федеральной программы научно-технического развития сельского хозяйства на 2017-2025 гг. (WoS – 3, Scopus – 4)

При прогнозировании необходимо учитывать выполнение плановых показателей, приведенных в Федеральной программе научно-технического развития сельского хозяйства на 2017-2025 гг. По этой причине прогностические показатели вуза должны быть не ниже программных. Они

получены согласно (5) и обозначены на рисунке цифрами 3 и 4.

В отличие от показателей, показанных на рисунке, прогностические значения объема НИОКТР на 100 НПР получены на основе линейной зависимости:

$$y_t = 19,2t + 354. \quad (6)$$

По линейному закону предполагается увеличение числа аспирантов на 100 студентов.

Следует отметить, что при прогнозировании других показателей, например, дохода от НИОКТР на 1 НПР и создания объектов интеллектуальной собственности использован комбинированный метод – экстраполяции и экспертных оценок. Сочетание методов позволяет управлять процессом получения прогностических значений.

Полученные эмпирические выражения значимы согласно F-критерию Фишера, а также значимы коэффициенты уравнений регрессии на основе t-статистик Стьюдента.

К этому добавим, что при оценке показателей необходимо учитывать влияние внешних факторов – изменение критериев, общие тенденции улучшения или ухудшения программных, или планируемых показателей и другие. Поэтому требуется ежегодная корректировка прогностических оценок, поскольку имеют место риски.

Таким образом, при определении прогностических показателей использованы метод экспертных оценок, метод экстраполяции, комбинированный метод и методика, предложенная в Федеральной программе [1]. Полученные результаты необходимо увязывать с планируемыми показателями, утвержденными в официальных документах. Прогнозы требуют ежегодной корректировки для максимального приближения к фактическим данным.

**Заключение.** Проанализированы различные методы и модели прогнозирования показателей, среди которых выделены метод экспертных оценок, метод экстраполяции и методика прогнозирования [1].

Реализован метод экспертных оценок для определения тенденции развития научно-исследовательских лабораторий. Использована модель в виде степенной функции для прогноза публикационной активности преподавателей и линейный тренд для показателей объема финансирования НИОКТР. Приведен пример возможности применения комбинированного метода.

При прогнозировании учитывалось условие роста показателей, не ниже полученных по методике, описанной в Федеральной программе научно-технического развития сельского хозяйства на 2017-2025 гг.

Полученные результаты применимы для улучшения системы стимулирования научно-преподавательских работников по научно-

исследовательской деятельности.

В перспективе помимо годовых значений необходимо использовать месячные и квартальные значения показателей, а также модели роста с насыщением.

#### **Список литературы**

1. Об утверждении Федеральной научно-технической программы развития сельского хозяйства на 2017-2025 годы: Постановление Правительства РФ от 25.8.2017 № 996. Режим доступа: <http://static.government.ru> (дата обращения: 05.04.2021).
2. Федеральный закон от 29 декабря 2012 г. № 273-ФЗ “Об образовании в Российской Федерации”. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/902389617> (дата обращения: 05.04.2021).
3. *Астафьева М.Н.* Пространственно-временные закономерности изменчивости климатических параметров и продуктивности сельскохозяйственных культур на юге Восточной Сибири / *М.Н. Астафьева, Я.М. Иваньо, С.А. Петрова* // Экологический вестник. – 2013. – № 3. – С. 13-18.
4. *Блинов А.О.* Планирование сценариев: прошлое, настоящее и будущее / *А.О. Блинов, П.В. Магданов* // Менеджмент в России и за рубежом. – 2013. – №6, – С. 3-11.
5. *Гинис Л.А.* Обзор методов научного прогнозирования / *Л.А. Гинис* // Известия ЮФУ. Технические науки. – №3 (92). – С. 231-236.
6. *Дегтярева Т.Д.* Прогнозирование аграрного производства региона с применением адаптивных моделей / *Т.Д. Дегтярева, Е.А. Чулкова* // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2012. – № 1 (33). – С. 207-211.
7. *Зоркальцев В.И.* Анализ динамики цен на сельскохозяйственную продукцию / *В.И. Зоркальцев, М.Н. Полковская* // Электронный научно-практический журнал “Актуальные вопросы аграрной науки”. – 2019. – Вып. 31. – С. 47-56.
8. *Зоркальцев В.И.* Моделирование сезонных колебаний цен на сельскохозяйственную продукцию / *В.И. Зоркальцев, М.Н. Полковская, Н.И. Федурин* // Электронный научно-практический журнал “Актуальные вопросы аграрной науки”. – 2018. – Выпуск 28, – С. 48-56.
9. *Иваньо Я.М.* О критериях оценки деятельности преподавателя высшего учебного заведения / *Я.М. Иваньо* // Достижения науки и техники АПК. – 2013. – № 9. – С. 8-10.
10. *Иваньо Я.М.* О некоторых методах математического моделирования в решении задач прогнозирования и планирования производства аграрной продукции / *Я.М. Иваньо* // Актуальные вопросы аграрной науки. – 2021. – № 38. – С. 49-57.
11. Информационно-аналитические материалы по результатам проведения мониторинга эффективности деятельности образовательных организаций высшего образования 2019 года. Режим доступа: <https://monitoring.miccedu.ru> (дата обращения: 05.04.2021).
12. *Никитенко Е.Г.* Прогностические методы в управлении производством зерновых культур / *Е.Г. Никитенко* // Экономический анализ: теория и практика. – 2011. – №42 (249). – С. 54-59.
13. Система ведения сельского хозяйства Иркутской области: В 2 ч. Монография / под редакцией *Я.М. Иваньо, Н.Н. Дмитриева*. – Иркутск: Изд-во ООО “Мегапринт”, 2019. – Ч. 1. – 319 с.
14. *Стафиевская М.В.* Прогнозирование рисков / *М.В. Стафиевская, В.О. Сосков* // Вестник Марийского государственного университета. серия: Сельскохозяйственные науки. Экономические науки. – 2017. – Т.3. – 3 (11). – С. 79-84.
15. *Ivanyo Y.M., Krakovsky Y.M., Luzgin A.N.* (2018). Interval forecasting of cyber-

attacks on industrial control systems. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Institute of Physics Publishing, pp. 022044, <https://iopscience.iop.org>.

16. Wang, L., Feng, J., Sui, X., Chu, X. and Mu, W. (2020), Agricultural product price forecasting methods: research advances and trend. British Food Journal, vol. 122, no. 7, pp. 2121-2138. <https://doi.org/10.1108/BFJ-09-2019-0683>.

### References

1. Ob utverzhdenii Federal'noy nauchno-tekhnicheskoy programmy razvitiya sel'skogo khozyaystva na 2017-2025 gody [On the approval of the Federal Scientific and Technical Program for the Development of Agriculture for 2017-2025]. Postanovleniye Pravitel'stva RF ot 25.8.2017 № 996. Rezhim dostupa: <http://static.government.ru> (data obrashcheniya: 05.04.2021).

2. Federal'nyy zakon ot 29 dekabrya 2012 g. N 273-FZ "Ob obrazovanii v Rossiyskoy Federatsii" [Federal Law of December 29, 2012 N 273-FZ "On Education in the Russian Federation"]. Rezhim dostupa: <http://docs.cntd.ru/document/902389617> (data obrashcheniya: 05.04.2021).

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

4. Blinov A.O., Magdanov P.V. Planirovaniye stsenariyev: proshloye, nastoyashcheye i budushcheye [Planning scenarios: past, present and future]. Menedzhment v Rossii i za rubezhom, 2013, no. 6, pp. 3-11.

5. Ginis L.A. Obzor metodov nauchnogo prognozirovaniya [Review of scientific forecasting methods]. Izvestiya YUFU. Tekhnicheskiye nauki, no. 3 (92), pp. 231-236.

6. Degtyareva T.D., Chulkova Ye.A. Prognozirovaniye agrarnogo proizvodstva regiona s primeneniym adaptivnykh modeley [Forecasting of agricultural production in the region with the use of adaptive models]. Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, 2012, no.1 (33), pp. 207-211.

7. Zorkal'tsev V.I., Polkovskaya M.N. Analiz dinamiki tsen na sel'skokhozyaystvennuyu produktsiyu [Analysis of the dynamics of prices for agricultural products]. Elektronnyy nauchno-prakticheskiy zhurnal "Aktual'nyye voprosy agrarnoy nauki", 2019, issue 31, pp. 47-56.

8. Zorkal'tsev V.I. et all. Modelirovaniye sezonnykh kolebaniy tsen na sel'skokhozyaystvennuyu produktsiyu [Modeling seasonal fluctuations in prices for agricultural products]. Elektronnyy nauchno-prakticheskiy zhurnal "Aktual'nyye voprosy agrarnoy nauki", 2018, issue 28, pp. 48-56.

9. Ivanyo Ya.M. O kriteriyakh otsenki deyatel'nosti prepodavatelya vysshego uchebnogo zavedeniya [On the criteria for assessing the activities of a teacher of a higher educational institution]. Dostizheniya nauki i tekhniki APK, 2013, no.9, pp. 8-10.

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

11. Informatsionno-analiticheskiye materialy po rezul'tatam provedeniya monitoringa effektivnosti deyatel'nosti obrazovatel'nykh organizatsiy vysshego obrazovaniya 2019 goda [Information and analytical materials based on the results of monitoring the effectiveness of the activities of educational institutions of higher education in 2019]. Rezhim dostupa:

<https://monitoring.miccedu.ru> (data obrashcheniya: 05.04.2021).

12. Nikitenko Ye.G. Prognosticheskiye metody v upravlenii proizvodstvom zernovykh kul'tur [Prognostic methods in management of grain crops production]. Ekonomicheskiy analiz: teoriya i praktika, 2011, no. 42 (249), pp. 54-59.

13. Sistema vedeniya sel'skogo khozyaystva Irkutskoy oblasti: V 2 ch. Monografiya / pod redaktsiyey Ya.M. Ivanyo, N.N. Dmitriyeva [Agricultural system of Irkutsk region: In 2 hours. Monograph]. Irkutsk: Izd-vo OOO "Megaprint", 2019, vol. 1, 319 p.

14. Stafiyevskaya M.V., Soskov V.O. Prognozirovaniye riskov [Risk forecasting]. Vestnik Mariyskogo gosudarstvennogo universiteta. seriya: Cel'skokhozyaystvennyye nauki. Ekonomicheskiye nauki, 2017, vol. 3, 3 (11), pp. 79-84.

Дата поступления в редакцию 4 июня 2021 г., дата принятия в печать 28 июня 2021 г.

#### **Сведения об авторах**

**Иваньо Ярослав Михайлович** – доктор технических наук, профессор, проректор по научной работе. ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ (664038, Россия, Иркутская обл., Иркутский р-н, пос. Молодежный, тел. 8(3952)237491, e-mail: iasa\_econ@rambler.ru).

**Попов Данил Александрович** – выпускник бакалавриата института экономики управления и прикладной информатики. ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ (664038, Россия, Иркутская обл., Иркутский р-н, пос. Молодежный, тел. 89500984838, e-mail: popov.gjgjd@gmail.com).

#### **Information about authors**

**Ivanyo Yaroslav M.** – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Informatics and Mathematical Modeling, Vice Rector for Research, Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky (Molodezhny, Irkutsk District, Irkutsk Region, Russia, 664038, tel. 8(3952)237491, e-mail: iasa\_econ@rambler.ru).

**Popov Danil A.** – Graduate of Bachelor's Degree at the Institute of Management Economics and Applied Informatics, Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky (Molodezhny, Irkutsk District, Irkutsk Region, Russia, 664038, tel. 89500984838, e-mail: popov.gjgjd@gmail.com).

**УДК 004.42: 519.87: 631.1**

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ПО ОПТИМИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА АГРАРНОЙ ПРОДУКЦИИ**

**С.А. Петрова, В.Э. Матибарчук**

ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ,  
*п. Молодежный, Иркутский район, Иркутская область, Россия*

В работе приведено описание спроектированного мобильного приложения по оптимизации производства аграрной продукции. Разработана и описана структура мобильного приложения и построена функциональная модель разработки с декомпозицией на четыре процесса: 1) выбор математического и алгоритмического обеспечения; 2) написание программного кода; 3) проектирование интерфейса; 4) тестирование и отладка. Сервисы мобильного приложения представляют собой семь блоков: “Анализ данных”, “Оптимизация”, “Планирование работ и контроль их выполнения”, “Получение

оперативной информации о состоянии производства”, “Консультация специалиста в режиме online”, “Подача документов в министерство сельского хозяйства региона”, “Управление производством”. При реализации всех функций системы предусмотрена возможность получения оперативной информации о состоянии производства с различных датчиков и на основании сведений об операциях, внесенных сотрудниками. Кроме того, создан и протестирован первый вариант мобильного приложения, при помощи которого решена задача линейного программирования с детерминированными параметрами на примере учебного научно-производственного участка “Молодежное” Иркутского района. Первый вариант реализован для операционной системы Android при помощи среды разработки Android Studio. Спроектированное мобильное приложение позволяет оперативно принимать решения, для улучшения планирования производства аграрной продукции. Приложение предполагает автоматизацию сбора информации об агрометеорологических и производственно-экономических параметрах, реализацию функции обмена информацией с различными ведомствами, возможность удаленного управления устройствами и оборудованием.

*Ключевые слова:* проектирование, информационная система, мобильное приложение, аграрное производство, оптимизация.

## **DESIGNING THE MOBILE APPLICATION ON OPTIMIZING OF AGRICULTURAL PRODUCTS PRODUCTION**

**Petrova S.A., Matibarchuk V.E.**

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

The paper provides a description of the designed mobile application to optimize the production of agricultural products. The structure of a mobile application was developed and described, as well as a functional development model was built with a decomposition into four processes: 1) selection of mathematical and algorithmic support; 2) writing program code; 3) interface design; 4) testing and debugging. The services of the mobile application consist of seven blocks: “Data analysis”, “Optimization”, “Work planning and control of their implementation”, “Obtaining operational information about the state of production”, “Online specialist consultation”, “Submission of documents to the Ministry of Agriculture region”, “Production management”. When implementing all the functions of the system, it is possible to obtain operational information about the state of production from various sensors and using information about operations entered by employees. In addition, the first version of the mobile application was created and tested. With its help, the problem of linear programming with deterministic parameters was solved on the example of the educational research and production site “Molodezhnoe” of the Irkutsk municipal district. The first option is implemented for the Android operating system based on the Android Studio development environment. The designed mobile application facilitates prompt decision-making to improve planning for the production of agricultural products. The application assumes the automation of collecting information on agrometeorological, production and economic parameters, as well as the implementation of the function of exchanging information with various departments, the ability to remotely control devices and equipment.

*Key words:* designing, information system, mobile application, agricultural production, optimization.

**Введение.** Процесс автоматизации затронул практически все сферы жизни человека. Сельское хозяйство не стало исключением. При этом одной из главных задач является обеспечение аграрного производства цифровыми технологиями и платформенными решениями для технологического прорыва и

достижения роста производительности на “цифровых” сельскохозяйственных предприятиях [1, 5, 9, 10 и др.].

Между тем необходимо понимать, что без соответствующего математического обеспечения, алгоритмов и методов решения тех или иных задач невозможно разрабатывать информационные системы, из которых наиболее востребованными можно считать мобильные приложения, в том числе функционирующие с использованием облачных технологий.

Одним из национальных проектов России является цифровизация экономики страны. В дополнение к этому документу предложен ведомственный проект “Цифровое сельское хозяйство”, разработанный Министерством сельского хозяйства Российской Федерации, по цифровой трансформации сельского хозяйства посредством внедрения цифровых технологий и платформенных решений для обеспечения технологического прорыва в агропромышленном комплексе (АПК) и достижения роста производительности на “цифровых” сельскохозяйственных предприятиях в два раза к 2024 г. В рамках федерального ведомственного проекта сотрудниками кафедры информатики и математического моделирования ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ по заказу министерства сельского хозяйства Иркутской области была разработана концепция цифровизации сельского хозяйства региона [1].

Одним из направлений цифровой трансформации отрасли АПК является использование смарт-технологии, которые позволяют управлять расходом всех ресурсов из единого центра. Преимущества использования мобильных приложений — это компактность и оперативность, которая позволяет при должном уровне автоматизации и цифровизации управлять производством из любой точки земного шара. Отсутствие привязанности к стационарному рабочему месту - одно из преимуществ и тенденций века информационных технологий.

Целью работы является проектирование мобильного приложения по оптимизации производства аграрной продукции.

Для достижения поставленной цели выделены следующие задачи: 1) спроектировать приложение; 2) разработать и протестировать мобильное приложение в первоначальном варианте.

**Материалы и методы исследования.** В работе использованы методы математического программирования [3, 8 и др.], теории вероятностей и математической статистики [12], а также структурно-функциональное и объектно-ориентированное моделирование [4].

При проектировании мобильного приложения и разработке модели оптимизации производства аграрной продукции использованы работы ученых кафедры информатики и математического моделирования ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ в области оптимизации и информатизации аграрного производства [1, 2, 6, 7 и др.]. Результаты приложения апробированы на примере данных учебного научно-производственного участка “Молодежное” Иркутского района.

**Основные результаты.** Отметим, что магазины приложений самых разных платформ устанавливают правила их выпуска. Требования к ним в основном базируются на наборе рекомендаций, правил и принципов, диктуемых мобильной платформой. Это позволяет разработчикам мобильных операционных систем предоставлять более качественные, безопасные и надежные продукты для пользователей устройств с этими платформами [11, 13 и др.]. Можно выделить следующие основные требования к дизайну приложений: 1) соответствие платформе; 2) одна тема и цветовая гамма; 3) использование автозаполнения, минимизация набора текста; 4) контраст; 5) удобно читаемый контент; 6) узнаваемость бренда; 7) очевидная навигация; 8) безопасность; 9) функциональность [11, 13 и др.].

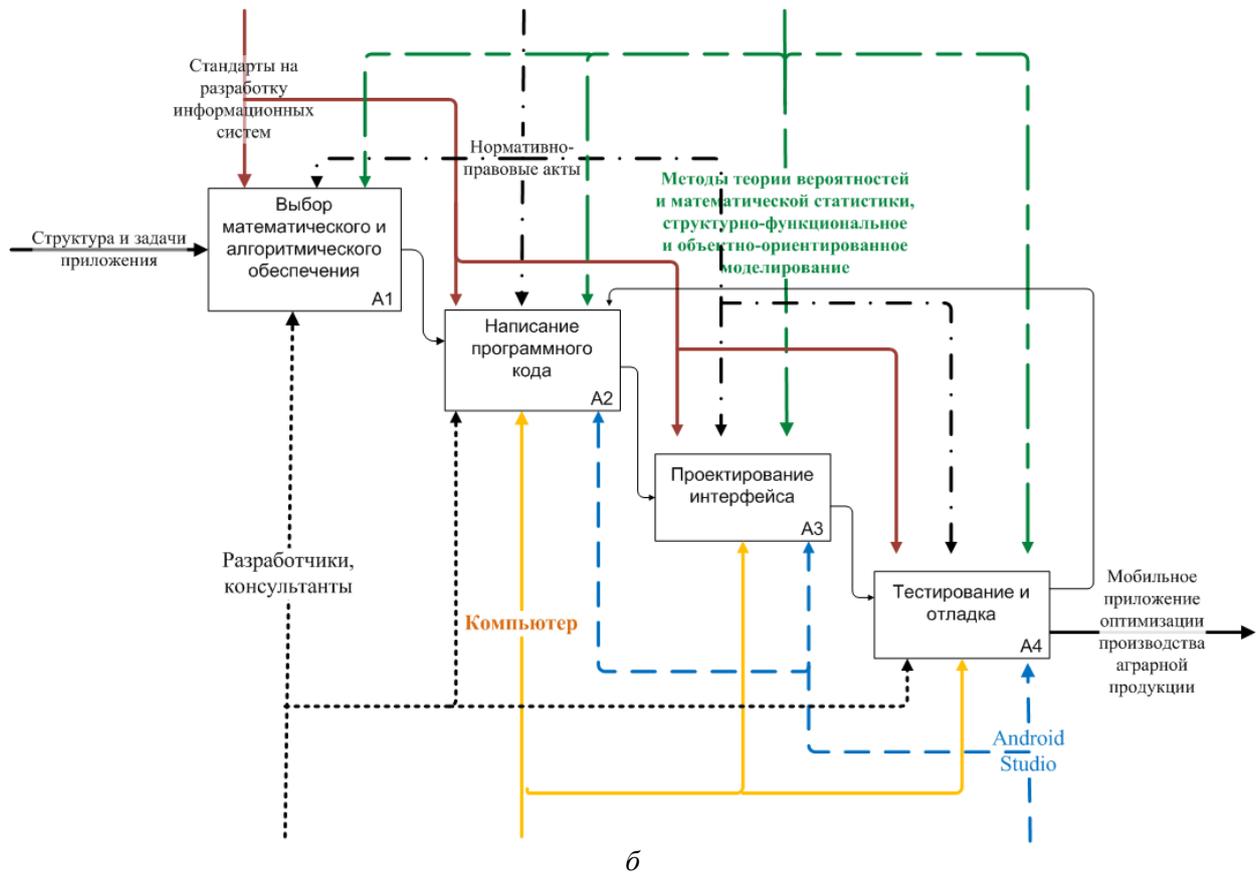
На производство аграрной продукции влияет большое количество внешних и внутренних факторов [2, 6, 7 и др.]. При внедрении цифровых технологий в сельскохозяйственное производство для точности и эффективности его планирования и прогнозирования необходимо организовать получение данных с каждого конкретного поля, каждого места производства. Датчики, фиксирующие изменения окружающей среды другие параметры, могут предоставлять огромный пласт информации, который можно использовать для управления производством.

В настоящее время актуально и технически реализуемо применение автоматизированных агрометеорологических площадок для сбора данных в непосредственной близости от сельскохозяйственных угодий. Данные с датчиков об агрометеорологических и производственных параметрах можно передавать в текстовый файл, после чего отправлять его в облачное хранилище, а уже оттуда на вывод в экране программы.

Для понимания процесса разработки мобильного приложения создана функциональная модель в нотации IDEF0 (рис. 1).

Структура и задачи приложения выступают входными данными. Разработка осуществляется под управлением стандартов на разработку информационных систем, нормативно-правовых актов, регулирующих деятельность предприятий агропромышленного комплекса и программных продуктов, а также методов теории вероятностей и математической статистики, структурно-функционального и объектно-ориентированного моделирования. Механизмом реализации процесса являются разработчики и консультанты, компьютер и среда разработки мобильных приложений. На выходе получаем мобильное приложение оптимизации производства аграрной продукции.

При декомпозиции родительской диаграммы выделены четыре функции: 1) выбор математического и алгоритмического обеспечения; 2) написание программного кода; 3) проектирование интерфейса; 4) тестирование и отладка (рис. 1б).



**Рисунок 1 – Функциональная диаграмма разработки мобильного приложения по оптимизации производства аграрной продукции:**  
а – родительская диаграмма; б - декомпозиция родительской диаграммы

Функция “Выбор математического и алгоритмического обеспечения” характеризует поиск эффективного способа решения поставленной задачи по реализации функций приложения при помощи различных методов, программного и аппаратного обеспечения и выполняется разработчиками с

учетом мнения консультантов - специалистов предметной области.

Блок “Написание программного кода” является основной частью проекта под управлением стандартов на разработку информационных систем, нормативно-правовых актов и методов. Разработчик использует компьютер и установленное на него программное обеспечение – среду разработки Android Studio. На выходе этого блока получаем программный код приложения.

Функция “Проектирование интерфейса” представляет собой проект, в котором определяются основные элементы приложения согласно стандартам, нормативно-правовым актам, методам и требованиям к разрабатываемому приложению и руководству по разработке проектов в Android Studio. Управляет данным процессом разработчик. На выходе получаем готовый интерфейс. Следует отметить, что при разработке мобильных приложений проектирование интерфейса целесообразно осуществлять после написания программного кода (рис. 1).

Функция “Тестирование и отладка” – финальный этап разработки приложения, в результате успешного выполнения которого получают готовое мобильное приложение. При обнаружении ошибок на данном этапе предусмотрен возврат к блоку “Написание программного кода” для их исправления.

На этапе проектирования любой информационной системы необходимо определить ее функции и архитектуру. На рисунке 2 показана структура мобильного приложения по оптимизации производства аграрной продукции. Следует отметить, что проектируемое мобильное приложение является некоторой составной частью информационной системы. Ее работа предполагается на различных устройствах: персональных компьютерах, мобильных устройствах, серверах. Поэтому словосочетание “мобильное приложение” не всегда в полном объеме отражает суть проектируемой системы и, при необходимости, может быть заменено в тексте более широкими по смыслу терминами.

Возможность использования функций проектируемой информационной системы в виде мобильного приложения на портативных компьютерах является ее значимым преимуществом, позволяя лицу, принимающему решение, управлять производством без привязки к стационарному рабочему месту.

Как показано на рисунке 2, пользовательский интерфейс приложения состоит из web-интерфейса и мобильного клиента. Сервисы мобильного приложения представляют собой семь блоков.

Блок “Анализ данных” предполагает наличие следующих функций: определение статистических параметров; вероятностная оценка; корреляционно-регрессионный анализ; обработка больших данных.

“Оптимизация” служит для решения разного рода задач математического программирования для эффективного планирования и

управления аграрным производством (например, задач с детерминированными, интервальными или вероятностными параметрами). Результаты решения задач оптимизации позволяют управлять рисками аграрного производства, повысить эффективность планирования и управления на предприятии.



Рисунок 2 – Структура мобильного приложения оптимизации производства аграрной продукции

Раздел “Планирование работ и контроль их выполнения” включает в себя

составление плана-графика работ с возможностью отметок хода его выполнения и оперативную связь сотрудников при помощи корпоративного мессенджера. Кроме того, при реализации всех функций системы предусмотрена возможность получения оперативной информации о состоянии производства с различных датчиков и на основании сведений об операциях, внесенных сотрудниками.

Предполагается интеграция мобильного приложения с платформой online-консультирования сельскохозяйственных товаропроизводителей, разработанной министерством сельского хозяйства Иркутской области для возможности получения данной услуги, используя единую систему, что более удобно для пользователя.

Кроме того, региональным министерством сельского хозяйства на основе концепции цифровизации сельского хозяйства [1] планируется разработка единой системы, включающей не только консультирование профильных специалистов посредством цифровых технологий, но и сбор отчетов и документов (на государственную поддержку, субсидирование и т.п.), а также данных о состоянии производства с получением обратной связи. Поэтому функцию “Подача документов в министерство сельского хозяйства региона” планируется связать с этой системой. Обмен данными с другими органами предполагает настройку работы с каждым из них в отдельности.

На основании имеющейся оперативной информации, данных долгосрочных наблюдений и результатов их обработки, мнения производственных консультантов и полученных оптимальных планов производства продукции руководитель или его заместители смогут осуществлять некоторые управленческие функции при помощи проектируемого приложения. Например, можно влиять на назначение и перераспределение работ.

В результате проектирования мобильного приложения оптимизации производства аграрной продукции, оно было реализовано в первом варианте для операционной системы Android при помощи среды разработки Android Studio. Скриншоты окон мобильного приложения показаны на рисунке 3.

Что касается задачи планирования производства аграрной продукции, то на основании работ [2, 6] для ее решения предложена математическая модель оптимизации производства растениеводческой продукции с детерминированными параметрами. Эта задача решена на примере учебного научного производственного участка ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ с критерием оптимальности на минимизацию затрат. При этом значение целевой функции составило около 99.5 млн. руб.

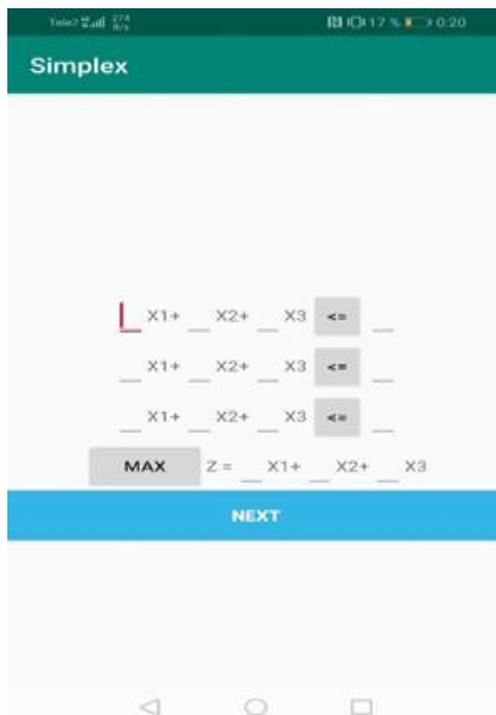
**Выводы.** В работе спроектировано мобильное приложение по оптимизации производства аграрной продукции, являющееся составной частью информационной системы и позволяющее применять все ее функции при использовании портативных устройств.

Приложение состоит из семи блоков, предусмотрено использование автономных станций по сбору агрометеорологических данных, датчиков,

фиксирующих состояние техники и оборудования, производственных и складских помещений, объемы произведенной продукции и другие производственные параметры.



а



б



в

Рисунок 3 – Окна первичного варианта спроектированного мобильного приложения оптимизации производства аграрной продукции

а - главное окно

б - матрица для заполнения числовых параметров задачи математического программирования

в – тестовый пример решения задачи математического программирования

При помощи среды разработки Android Studio приложение реализовано в первом варианте и протестировано в части решения задачи линейного программирования для реального объекта агропромышленного комплекса.

#### Список литературы

1. Отчет о научно-исследовательской работе по теме: “Разработка концепции цифровизации сельского хозяйства Иркутской области”. – Государственный контракт № Ф.2019.003016 от 21 октября 2019 г. – 55 с.
2. Барсукова М.Н. Об одной модели оптимизации производства аграрной продукции в благоприятных и неблагоприятных внешних условиях / М.Н. Барсукова, Я.М. Иваньо, С.А. Петрова // Информационные и математические технологии в науке и управлении. – 2020. – № 3(19). – С. 73-85. – DOI 10.38028/ESI.2020.19.3.008.
3. Воронай Н.И. Модели и методы оптимизации в энергетических исследованиях / Н.И. Воронай, В.И. Зоркальцев // Стохастическое программирование и его приложения. – Иркутск: ИСЭМ СО РАН. – 2012. – С. 9-35. Режим доступа: <https://isem.irk.ru/upload/iblock/49a/49a2566a4d219289d61099b296a7b4ed.pdf>.
4. Гагарина Л.Г. Технология разработки программного обеспечения: учеб. пособие / Л.Г. Гагарина [и др.]; под редакцией Л.Г. Гагариной. – М.: ИД “ФОРУМ”: ИНФРА-М., 2008. – 400 с.
5. Захарова А.А. Алгоритмическое и программное обеспечение для повышения эффективности обработки многомерных гетерогенных данных / А.А. Захарова, С.Г. Небаба, Д.А. Завьялов // Программирование, 2019. – № 4. – С. 64-70. – DOI 10.1134/S0132347419040101.
6. Иваньо Я.М. Оптимизационные модели аграрного производства в решении задач оценки природных и техногенных рисков: монография / Я.М. Иваньо, С.А. Петрова. - Иркутск: Изд-во Иркутского ГАУ, 2015. – 180 с.
7. Иваньо Я.М. Решение задач управления аграрным производством в условиях неполной информации: монография / Я.М. Иваньо [и др.]; под редакцией Я.М. Иваньо. - Иркутск: Изд-во ИрГСХА, 2012. - 199 с.
8. Канторович Л.В. Математические методы организации и планирования производства / Л.В. Канторович // Применение математики в экономических исследованиях. - [2-е изд.]. – М.: Соцэкгиз, 1959. - С. 251-309.
9. Капустина Л.М. К вопросу о понятии "умного предприятия" в цифровой экономике / Л.М. Капустина, Ю.Н. Кондратенко // Вопросы управления, 2020. – № 4(65). – С. 33-43. – DOI 10.22394/2304-3369-2020-4-33-43.
10. Кубасов И.А. Повышение эффективности управления инженерными системами центров обработки данных путем применения специализированного программного обеспечения / И.А. Кубасов, А.А. Копытин // Территория науки, 2018. – № 1. – С. 63-70.
11. Марсикано К. Android. Программирование для профессионалов / К. Марсикано, К. Стюарт, Б. Филлипс – Питер, 2017. – 704 с.
12. Пикок Дж. Справочник по статистическим распределениям / Дж. Пикок, Н. Хастингс // Пер. с англ. А.К. Звонкина. – М.: Статистика, 1980. - 95 с.
13. Developers [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://developer.android.com>.

#### References

1. Otshet o naushno-issledovatel'skoi rabote po teme: “Razrabotka koncepcii cifrovizacii sel'skogo hoziastva Irkutskoi oblasti”. – Gosud. kontrakt no. Ф.2019.003016 ot 21.10.2019 [Report on research work on the topic: "Development of the concept of digitalization of

agriculture in Irkutsk region."]. Irkutsk, 2019, - 55 p.

2. Barsukova M.N. et all. Ob odnoi modeli optimizacii proizvodstva agrarnoi produkcii v blagopriyatnih i neblagopriyatnih vnehnih usloviyah [On one model for optimizing the production of agricultural products in favorable and unfavorable external conditions]. Informatsionnyye i matematicheskiye tekhnologii v nauke i upravlenii, 2020, no. 3 (19), pp. 73-85. DOI 10.38028 / ESI.2020.19.3.008.

3. Voropay N.I., Zorkaltsev V.I. Modeli i metodi optimizacii v energeticheskikh issledovaniyah. Stokhasticheskoe programmirovaniye i ego prilozheniya [Models and methods of optimization in energy research. Stochastic programming and its applications]. Stokhasticheskoye programmirovaniye i yego prilozheniya, Irkutsk, ISEM SO RAN 2012, pp. 9-35, rezhim dostupa <https://isem.irk.ru/upload/iblock/49a/49a2566a4d219289d61099b296a7b4ed.pdf>.

4. Gagarina L.G. et all. Edited by Gagarina L.G. Tehnologiya razrabotki programmogo obespesheeniya: ushebnoe posobie [Software development technology: a tutorial]. Moscow, 2008, 400 p.

5. Zakharova A.A. et all. Algoritmicheskoe i programmnoe obespesheeniye dlya povicheniya effektivnosti obrabotki mnogomernih geterogennih dannih [Algorithmic and software to improve efficiency of processing multidimensional of heterogeneous data]. Programmirovaniye, 2019, no. 4, pp. 64-70, DOI 10.1134 / S0132347419040101.

6. Ivanyo Ya.M., Petrova S.A. Optimizacionnie modeli agrarnogo proizvodstva v rehenii zadash ocenki prirodniy i tehnogennih riskov: monografiya [Optimization models of agricultural production in solving problems of assessing natural and technogenic risks. Monograph]. Irkutsk, 2015, 180 p.

7. Ivanyo Ya.M. et all. Rehenie zadash upravleniya agrarnim proizvodstvom v usloviyah nepolnoi informacii: monografiya [The solution of problems of management of agricultural production in conditions of incomplete information: monograph, edited by Ivanyo Ya.M.]. Irkutsk, 2012, 199 p.

8. Kantorovich L.V. Matematicheskie metodi organizacii i planirovaniya proizvodstva. Primeneniye matematiki v ekonomicheskikh issledovaniyah. 2-e izd. [Mathematical methods of organization and planning of production. Application of mathematics in economic research, edition 2]. Moscow, 1959, pp. 251-309.

9. Kapustina L.M., Kondratenko Yu.N. K voprosu o ponyatii "umnogo predpriyatiya" v cifrovoi ekonomiki [To the question of concept of "smart enterprise" in digital economy]. Voprosy upravleniya, 2020, no. 4 (65), pp. 33-43. DOI 10.22394 / 2304-3369-2020-4-33-43.

10. Kubasov I.A., Kopytin A.A. Povicheniye effektivnosti upravleniya inzhenernimi sistemami centrov obrabotki dannih putem primeneniya specializirovannogo programmogo obeapesheniya [Improving efficiency of management of engineering systems of data processing centers through use of specialized software]. Territoriya nauk, 2018, no. 1, pp. 63-70.

11. Marsicano K., Stuart K., Phillips B. Android. *Programmirovaniye dlya professionalov* [Android. Programming for professionals]. St. Petersburg, 2017, 704 p.

12. Peacock J., Hastings N. Spravoshnik po statisticheskim raspredeleniyam [Handbook on statistical distributions]. Moscow, 1980, 95 p.

Дата поступления в редакцию 20 мая 2021 г., дата принятия в печать 28 июня 2021 г.

#### **Сведения об авторах**

**Петрова Софья Андреевна** – кандидат технических наук, доцент кафедры информатики и математического моделирования. ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ (664038, Россия, Иркутская обл., Иркутский р-н, пос. Молодежный, тел.: +79149325573, e-mail: sofia.registration@mail.ru).

**Матибарчук Владислав Эдуардович** – студент четвертого курса направления подготовки 09.03.03 Прикладная информатика, кафедра информатики и математического моделирования. ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ (664038, Россия, Иркутская обл., Иркутский р-н, пос. Молодежный, тел.: +7 (3952) 237330, e-mail: rector@igsha.ru).

**Information about the authors**

**Petrova Sofia A.** - Candidate of technical sciences, Associate Professor of the Department of informatics and mathematical modeling, FSBEI HE “Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky” (Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia, 664038, tel.: +79149325573, e-mail: sofia.registration@mail.ru).

**Matibarchuk Vladislav E.** – fourth-year student of the direction of training 09.03.03 Applied Informatics, Department of informatics and mathematical modeling, FSBEI HE “Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky” (Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia, 664038, tel.: +7 (3952) 237330, e-mail: rector@igsha.ru).

**УДК 534.1:539.3**

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРЕДНАМЕРЕННОЙ РАССТРОЙКИ И АНАЛИЗ  
СТАТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК  
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ТУРБОМАШИН**

**О.В. Репецкий**

ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ,  
*п. Молодежный, Иркутский район, Иркутская область, Россия*

В настоящей статье описаны возможные виды математического моделирования эффекта преднамеренной расстройки для академического облопаченного диска с целью снижения вынужденного отклика. Значение максимального вынужденного отклика лопаток роторов турбомашин с расстройкой параметров обычно намного больше, чем у настроенных роторов. Увеличение уровня расстройки критического значения фактически приводит к уменьшению коэффициента увеличения амплитуды. Таким образом, актуальной задачей является ввести некоторую степень преднамеренной расстройки в конструкцию системы. В данной работе исследуется эффективность внесения преднамеренной расстройки в виде изменения радиуса перехода лопатки в диск на стадии проектирования турбомашин. Данный подход является новаторским и не рассматривался ранее в аналогичных исследованиях. Эффективность его применения связана с минимальным влиянием на аэродинамическое обтекание рассматриваемых конструкций, а, следовательно, с отсутствием необходимости внесения изменений в геометрические параметры ступеней компрессоров и турбин.

*Ключевые слова:* статические напряжения, частоты колебаний, вынужденный отклик, облопаченный диск, конечноэлементная модель, виды преднамеренной расстройки.

O.V. Repetckii

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

This article describes possible types of mathematical modeling of the effect of deliberate detuning for an academic bladed disk in order to reduce the forced response. The value of the maximum forced response of the rotor blades of turbomachines with detuned parameters is usually much higher than that of tuned rotors. An increase in the detuning level of the critical value actually leads to a decrease in the amplitude gain factor. Thus, the urgent task is to introduce some degree of deliberate detuning into the design of the system. In this paper, we investigate the efficiency of deliberate detuning in the form of changing the radius of transition of the blade to the disk at the design stage of turbomachines. This approach is innovative and has not been previously considered in similar studies. The effectiveness of its application is associated with a minimal effect on the aerodynamic flow around the structures under consideration, and, consequently, with the absence of the need to make changes in the geometric parameters of the compressor and turbine stages.

*Keywords:* static stresses, vibration frequencies, forced response, bladed disk, finite element model, types of deliberate detuning

**Введение.** Известно, что конструкции облопаченных дисков претерпевают сильное увеличение вынужденного отклика из-за расстройки параметров в сочетании с низким уровнем структурного демпфирования. Расстройка в конструкции облопаченных дисков возникает при небольшом отличии между лопатками по массе, геометрии, материалу или не идентичности секторов лопаточного диска, которые нарушают циклическую симметрию рабочих колес. Кроме того, причины расстройки параметров вызваны неизбежными технологическими допусками на их изготовление, неоднородностью материала, разной посадкой в замках, действием различных эксплуатационных факторов и повреждениями при эксплуатации. Значения расстройки параметров лопаток облопаченных дисков определяются в виде:

$$\Delta f_i = \frac{f_{j,i} - \bar{f}_j}{\bar{f}_j},$$

где  $\bar{f}_j$  – среднее значение основных частот  $j$ -ой формы колебания;  $f_{j,i}$  – значение частоты  $j$ -ой формы колебания лопаток,  $i = 1, \dots, N$  ( $N$  – количество лопаток).

В настоящее время имеется достаточно большое количество вариантов преднамеренной расстройки, каждый из которых может быть либо использован на реальных конструкциях, либо служить некой моделью, позволяющей определить закономерности влияния тех или иных изменений на статические и динамические характеристики промышленных турбомашин. К числу последних можно отнести, например, внесение

некоторых сосредоточенных масс в определенные точки поверхности пера лопаток.

Другие параметры можно использовать для преднамеренной расстройки реальных рабочих колес, так как они не вносят существенного влияния на аэродинамику рабочих ступеней турбомашин. К таким параметрам можно отнести: изменение толщины и степени закрутки лопаток, например, при нарушении технологических процессов изготовления данных конструкций; наличие забоин или трещин при эксплуатации изделий, а также скругление или обрезание углов лопатки на ее периферии или шлифование отдельных частей лопатки и неоднородность материала пера [1, 2, 5. 6].

**Математическое моделирование и численный анализ.** В данной работе исследуются некоторые аспекты анализа эффективности внесения преднамеренной расстройки в виде изменения радиуса перехода лопатки в диск на стадии проектирования турбомашин. Данный анализ выполнен впервые на примере академического рабочего колеса с 10-ю лопатками, изготовленного в Бранденбургском техническом университете [3]. Особенностью этого изменения геометрии является минимальное нарушение аэродинамических свойств конструкции, что может быть использовано при проектировании и доводке реальных деталей турбомашин. На рисунке 1, показаны варианты изменения радиуса скругления перехода лопатки в диск от исходного ( $R=5$  мм) до  $R=1$  мм.

В таблице 1 представлено изменение массы рабочей лопатки  $\Delta m$  при различных радиусах перехода пера в диск.

Таблица 1 – Расчет изменения масс лопатки при изменении радиуса нижнего края лопатки (грамм)

R (мм)	m (г)	$\Delta m$ (%)
5	381.55	0
4	380.25	-0.34
3	379.05	-0.66
2	378.19	-0.88
1	377.66	-1.02

Таблица 2 демонстрирует значения собственных частот колебаний рабочей лопатки с различными радиусами перехода от лопатки в диск (закреплена жестко по нижней кромке перехода).

На рисунке 2 и в таблице 3 приведены изменения форм и частот свободных колебаний лопаток от величины радиуса перехода пера лопатки в обод диска. Видно, что уменьшение радиуса перехода, как правило, существенно уменьшает частоту собственных колебаний. Однако для форм 4, 7 и 8 оно незначительно.

Влияние вращения ротора на частоты собственных колебаний и статические напряжения представлено ниже. В таблицах 4-6 приведено

изменение собственных частот колебаний при оборотах ротора: 0, 50, 100 1/с при трех значениях радиуса скругления.

Изменение статических напряжений при различных оборотах вращения ротора представлено на рисунке 3 и в таблице 7.

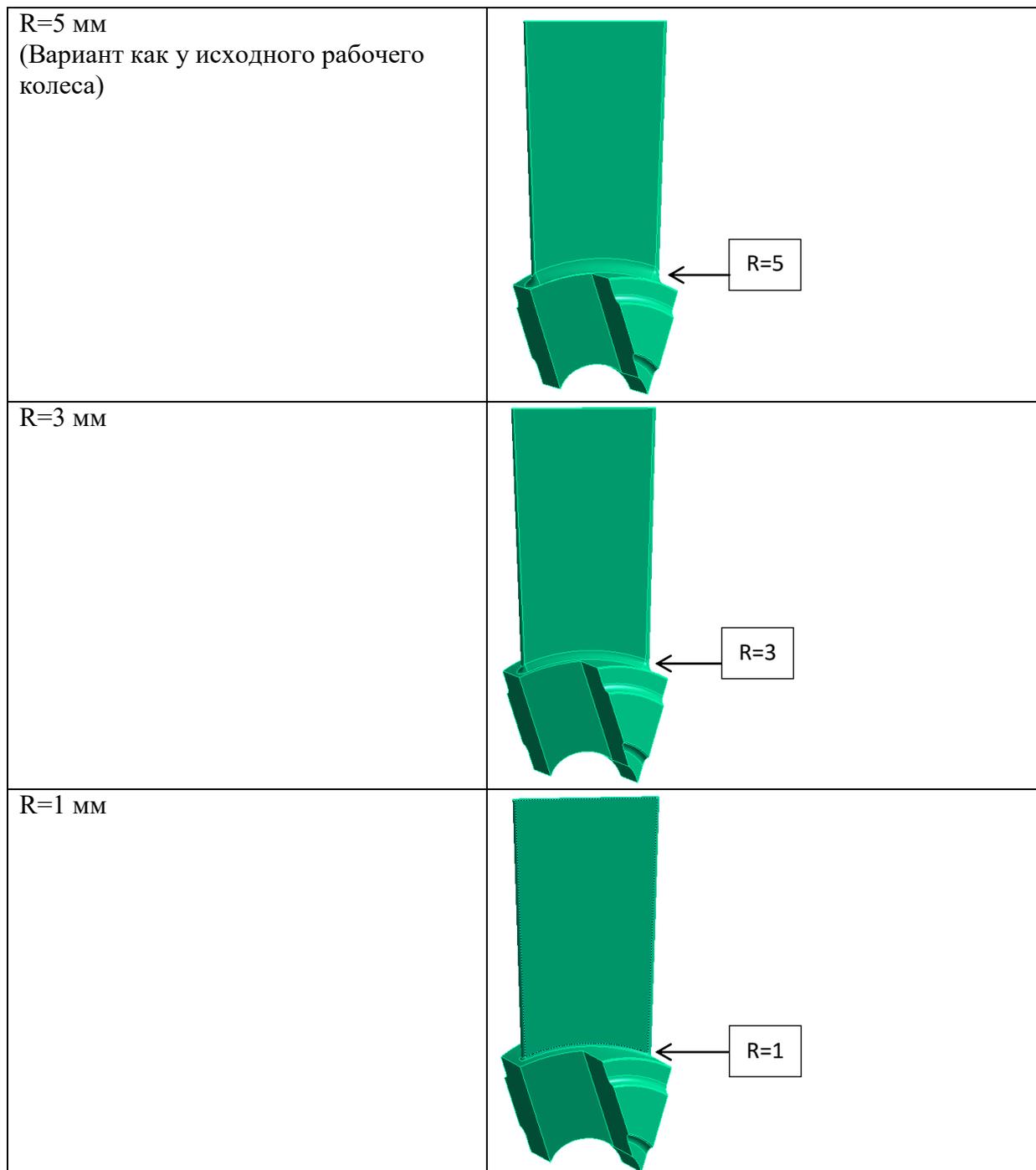
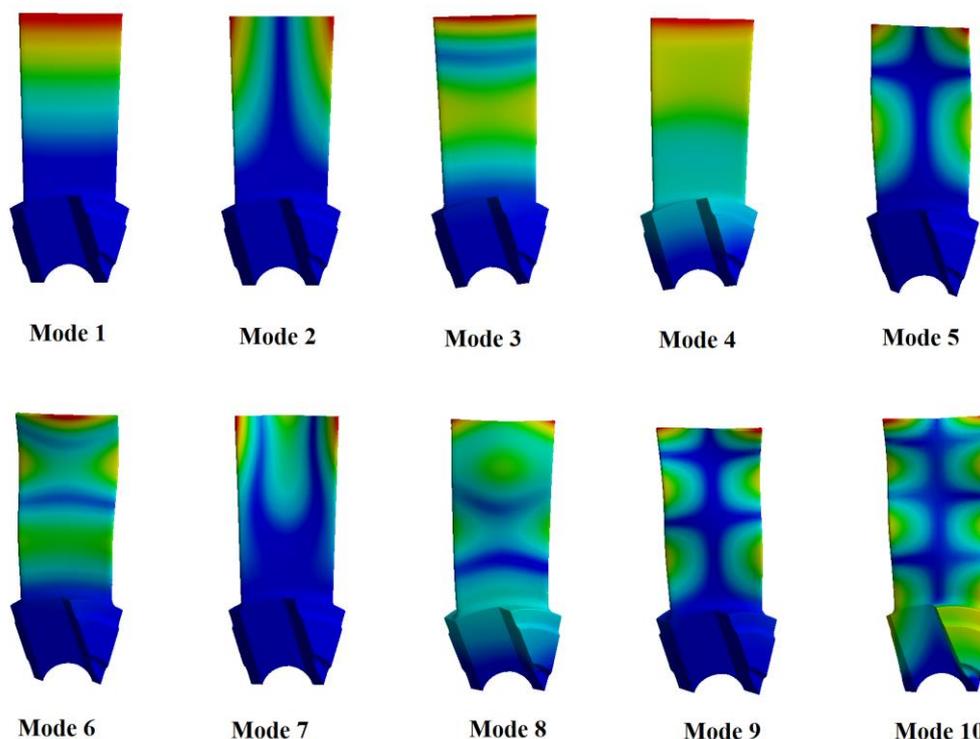


Рисунок 1 – Варианты расстройки в виде изменения радиуса скругления перехода лопатки в обод диска

**Таблица 2 – Расчет частот собственных колебаний для разных вариантов изменения радиуса нижнего края лопатки (Гц)**

Форма колебаний	R=5 мм	R=4 мм	R=3 мм	R=2 мм	R=1 мм
1	258.13	254.79	251.77	248.87	246.04
2	898.56	892.05	887.35	882.02	876.97
3	1328.3	1315	1302.9	1291	1279.2
4	1926.2	1922.9	1918.2	1912.6	1907.9
5	2706.9	2682.3	2664.9	2645	2626.7
6	3639.4	3598.6	3562.6	3527.2	3491.7
7	4438.5	4437.9	4443.4	4435.6	4431.6
8	4872.3	4869.6	4865.5	4857.3	4847.2
9	5196	5145.6	5112.6	5071.5	5029.5
10	6895.3	6880.2	6877.1	6858.3	6837.4



**Рисунок 2 – Формы колебаний единичной лопатки**

**Таблица 3 – Расчет значения расстройки частотных параметров от изменения радиуса нижнего края лопатки  $\Delta f$  (%)**

Форма колебаний	R=4 мм	R=3 мм	R=2 мм	R=1 мм
1	-1.29392	-2.46387	-3.58734	-4.68369
2	-0.72449	-1.24755	-1.84072	-2.40273
3	-1.00128	-1.91222	-2.8081	-3.69645
4	-0.17132	-0.41533	-0.70605	-0.95006
5	-0.90879	-1.55159	-2.28675	-2.9628
6	-1.12106	-2.11024	-3.08293	-4.05836
7	-0.01352	0.11039	-0.06534	-0.15546
8	-0.05542	-0.13956	-0.30786	-0.51516
9	-0.96998	-1.60508	-2.39607	-3.20439
10	-0.21899	-0.26395	-0.5366	-0.8397

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

Таблица 4 – Расчет частот колебаний с учетом вращения (R=5 мм)

Форма колебаний	n=0 1/с	n=50 1/с	n=100 1/с
1	258.13	270.9	295.97
2	898.56	905.29	914.85
3	1328.3	1424.7	1450.7
4	1926.2	2729.7	2737.2
5	2706.9	2736.4	2744.3
6	3639.4	3772.9	3797.1
7	4438.5	4472.6	4477.4
8	4872.3	5310.2	5329
9	5196	6900.2	6906.9
10	6895.3	7228.8	7250.6

Таблица 5 – Расчет частот колебаний с учетом вращения (R=3 мм)

Форма колебаний	n=0 1/с	n=50 1/с	n=100 1/с
1	251.77	263.99	289.18
2	887.35	894.08	903.63
3	1302.9	1386.6	1412.9
4	1918.2	2687.9	2702.4
5	2664.9	2710.5	2711.2
6	3562.6	3678.8	3703.8
7	4443.4	4469.1	4473.6
8	4865.5	5218.4	5237.2
9	5112.6	6875.2	6882.4
10	6877.1	7078	7100.8

Таблица 6 – Расчет частот колебаний с учетом вращения (R=1 мм)

Форма колебаний	n=0 1/с	n=50 1/с	n=100 1/с
1	246.04	258.02	283.31
2	876.97	883.01	892.55
3	1279.2	1353.5	1380
4	1907.9	2646.6	2661.1
5	2626.7	2686.9	2687.6
6	3491.7	3593.5	3618.9
7	4431.6	4454.7	4459
8	4847.2	5121	5139.9
9	5029.5	6827.2	6836.2
10	6837.4	6939.5	6961.2

Таблица 7 – Напряжения  $\sigma_z$  в корневой зоне вдоль радиуса скругления

Радиус закругления, мм	n=50 1/с	n=100 1/с
	Статические напряжения (МПа)	
R=1	19.99	79.962
R=3	17.314	69.255
R=5	16.712	68.848

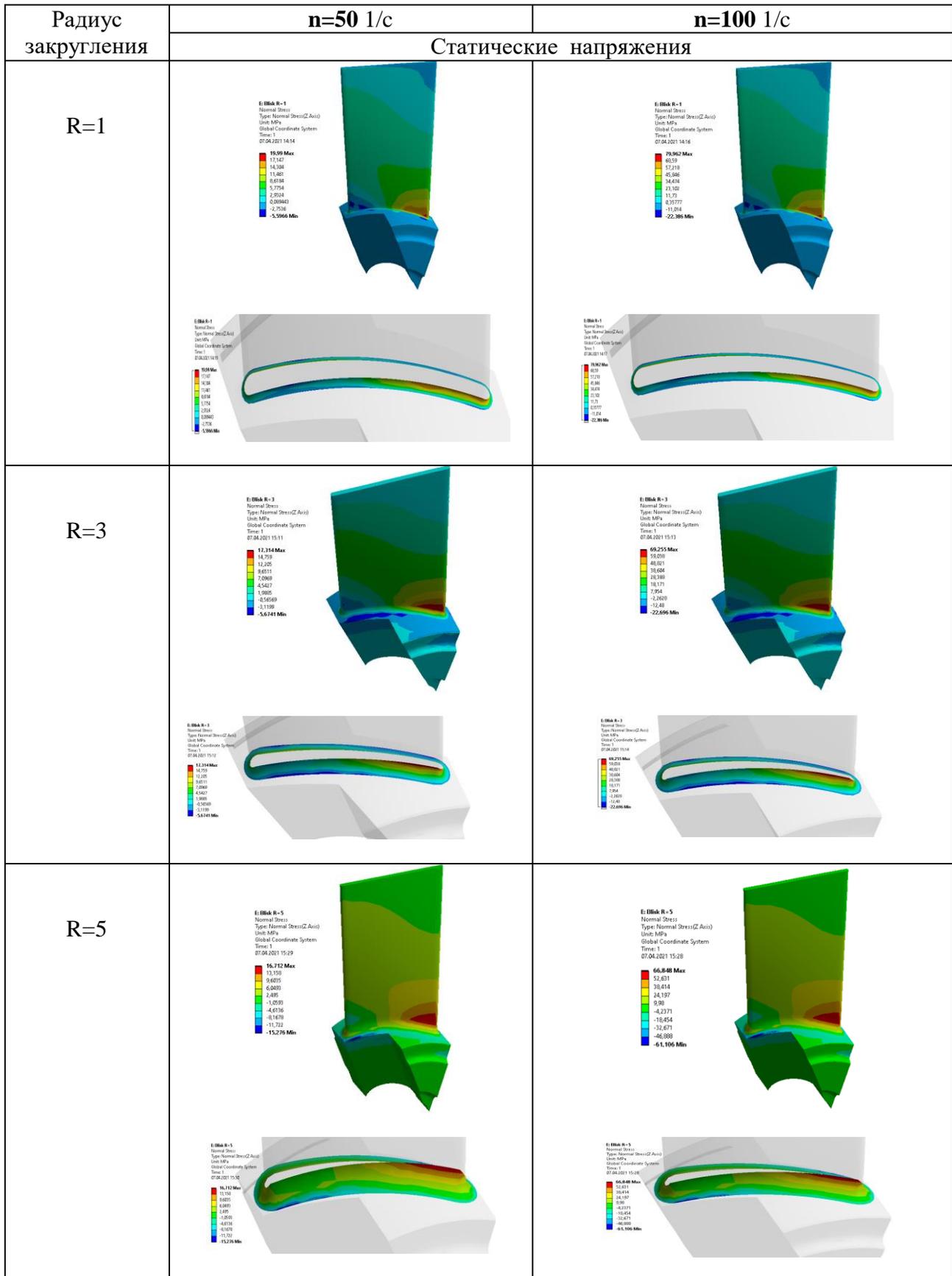


Рисунок 3 – Статические напряжения  $\sigma_z$  в корневой зоне вдоль радиуса скругления

**Выводы.** Приведенные выше результаты показывают существенное влияние выбранного вида преднамеренной расстройки (радиус скругления между пером и диском лопатки) на статические напряжения и частоты собственных колебаний деталей академического диска. Учитывая минимальное изменение аэродинамических нагрузок для данного вида расстройки, можно предположить, что предложенный вариант может быть применен на реальных энергетических и транспортных турбомашин на стадии проектирования и доводки новых перспективных двигателей и энергетических установок для увеличения ресурсных характеристик данных конструкций. Дальнейший анализ будет выполнен с учетом аэродинамического влияния и других нагрузок [4].

#### **Список литературы**

1. *Репецкий О.В.* Компьютерный анализ динамики и прочности турбомашин / *О.В. Репецкий*. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 1999. – 301 с.
2. *Репецкий О.В.* Анализ тепловых полей и термонапряженного состояния деталей турбин/ *О.В. Репецкий, И.Н. Рыжиков* // *Baikal Letter DAAD*, 2001. – № 1. – С. 89.
3. *Beirrow B., Kühhorn A., Figaschewsky F., Bornhorn A., Repetckii O.V.* Forced response reduction of a blisk by means of intentional mistuning, *Proceedings of the ASME Turbo Expo. Turbomachinery Technical Conference and Exposition*, Сер. "ASME Turbo Expo 2018: Turbomachinery Technical Conference and Exposition", GT 2018-76584.
4. *Irretier H., Repetski O.* Vibration and life estimation of rotor structures, *Proceedings of Fifth International Conference on Rotor Dynamics*. 1998. С. 456-464.
5. *Repetski O.V.* Use of the FEM for solving of thermoelasticity problem of turbine blades, *Strength of Materials*, 1991, Т. 22, no.12, p. 1848.
6. *Repetskiy O.V., Cuong B.M.* Fatigue life prediction of modern gas turbomachine blades, *Incorporating Sustainable Practice in Mechanics of Structures and Materials*, *Proceedings of the 21st Australian Conference on the Mechanics of Structures and Materials*, 2011, pp. 275-280.

#### **References**

1. Repetskiy O.V. Komp'yuternyy analiz dinamiki i prochnosti turbomashin [Computer analysis of the dynamics and strength of turbomachines]. Irkutsk: izd-vo IrGTU, 1999, 301 p.
2. Repetskiy O.V. Analiz teplovykh poley i termonapryazhennogo sostoyaniya detaley turbin [Analysis of thermal fields and thermally stressed state of turbine parts]. *Baikal Letter DAAD*, 2001, no. 1, 89 p.

Дата поступления в редакцию 31 мая 2021 г., дата принятия в печать 28 июня 2021 г.

#### **Сведения об авторе**

**Репецкий Олег Владимирович** – доктор технических наук, профессор, проректор по международным связям. ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ (664038, Россия, Иркутская обл., Иркутск р-н, пос. Молодежный, тел. +7 3952 237438, e-mail: repetckii@igsha.ru).

#### **Information about the author**

**Repetckii O.V.** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice-Rector for International Relations. Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Ezhevsky (Molodezhny, Irkutsk district, Irkutsk region, Russia, 664038, tel. +73952237438, e-mail: repetckii@igsha.ru).

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

**Условия опубликования статьи**

1. Представленная для публикации статья должна быть актуальной, обладать новизной, содержать постановку задач (проблем), описание основных результатов исследования, полученных автором, выводы.
2. Соответствовать правилам оформления.
3. Автор может опубликовать одну статью в полугодие и два раза в год в соавторстве.

**Правила оформления статьи**

1. Статья направляется в редакцию журнала по адресу: 664038, Иркутская область, Иркутский район, пос. Молодежный ФГБОУ ВО “Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского”, редакция научно-практических журналов, зам. главного редактора, ауд. 229, e-mail: buraev@mail.ru), тел. 8(3952)237491, 89500904493.
2. Статья представляется в бумажном и электронном виде в формате Microsoft Word. Бумажный вариант должен полностью соответствовать электронному. При наборе статьи необходимо учитывать следующее: форматирование по ширине; поля: справа и слева – по 23 мм, остальные – 20 мм, абзацный отступ – 10 мм.
3. Текст статьи должен быть тщательно вычитан и подписан автором, который несет ответственность за научно-теоретический уровень публикуемого материала. 4. Нумерация страниц обязательна.

**Структура статьи**

1. УДК размещается в левом верхнем углу: полужирный шрифт, размер – 12 пт.
2. Название статьи (ПРОПИСНЫМИ БУКВАМИ), полужирный шрифт, 14 кегль, межстрочный интервал – 1.0.
3. И.о. фамилия автора, полужирный шрифт, 12 кегль.
4. Название организации, кафедры, 12 кегль, 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 графиков и таблиц согласно стандарту (ГОСТ 7.1 - 2003).
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.

### **Сопроводительные документы к статье**

1. Заявление от имени автора (ров) на имя главного редактора научно-практического журнала “Актуальные вопросы аграрной науки”, внутренние и внешние рецензии на статью. Сопроводительное письмо от организации, в которой работает автор (ы).

2. Для аспирантов и соискателей ученой степени кандидата наук необходима рекомендация, подписанная лицом, имеющим ученую степень и заверенная печатью учреждения. В рекомендации отражается актуальность раскрываемой проблемы, оценивается научный уровень представленного материала и делаются выводы о возможности опубликования статьи в научно-практическом журнале “Актуальные вопросы аграрной науки”.

### **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. Зам. главного редактора 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. Зам. главного редактора 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 зам. главного редактора 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 мотивированный отказ.

8. Статья, не рекомендованная рецензентом к публикации, к повторному рассмотрению не принимается. Текст отрицательной рецензии направляется автору по электронной почте, факсом или обычной почтой.

9. Наличие положительной рецензии не является достаточным основанием для публикации статьи. Окончательное решение о целесообразности публикации принимается редакционной коллегией.

10. После принятия редколлегией решения о допуске статьи к публикации зам. главного редактора информирует об этом автора и указывает сроки публикации.

11. Оригиналы рецензий хранятся в редакции журнала.

### **Порядок рассмотрения статей**

1. Представляя статью для публикации, автор тем самым выражает согласие на размещение полного ее текста в сети Интернет на официальных сайтах научной электронной библиотеки ([www.elibrary.ru](http://www.elibrary.ru)) и научно-практического журнала “Актуальные вопросы аграрной науки”.

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 редакционной коллегией в течение месяца.

4. Редакционная коллегия правомочна отправить статью на дополнительное рецензирование.

5. Редакционная коллегия правомочна осуществлять научное и литературное редактирование поступивших материалов, при необходимости сокращать их по согласованию с автором, либо, если тематика статьи представляет интерес для журнала, направлять статью на доработку автору.

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

7. В случае отклонения представленной статьи редакционная коллегия дает автору мотивированное заключение.

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

Подробную информацию об оформлении статей можно получить по e-mail: [iymex@rambler.ru](mailto:iymex@rambler.ru).

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

**Выпуск 39**  
**июнь**

**Литературный редактор – В.И. Тесля**  
**Технический редактор – Н.В. Спиридонова**  
**Перевод – П.Г. Асалханов**

Лицензия на издательскую деятельность  
ЛР № 070444 от 11.03.98 г.  
Почтовый адрес редакции:  
664038, Россия, Иркутская обл., Иркутский район, п. Молодежный.  
Тел. (3952) 237-657