



ISSN 2078-7138 (Print)  
ISSN 2078-7146 (Online)  
DOI: 10.56619/2078-7138-2025-167-1

# АГРОПАНОРАМА

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ ДЛЯ РАБОТНИКОВ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

**№ 1**  
**февраль**  
**2025**

**В номере:**

*Результаты сравнительных исследований лемешного и дискового предплужников в полевых условиях*

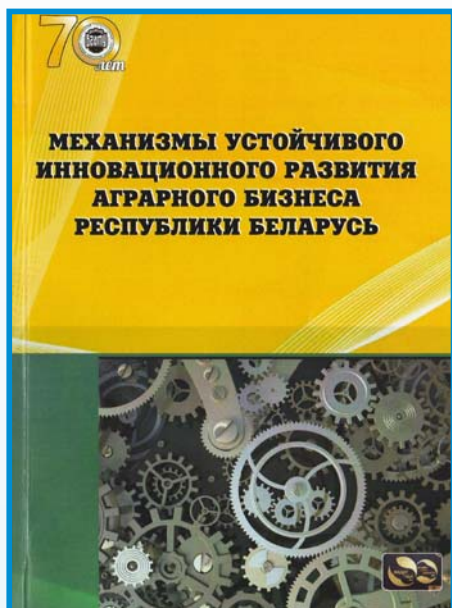
*Математическое моделирование теплообмена порсят-сосунов при комбинированном обогреве*

*Технико-экономическое обоснование показателей эксплуатационной надёжности мобильных машин*

*Тенденции развития государств – членов евразийского экономического союза в условиях международных экономических санкций и ограничений*



# НАШИ ИЗДАНИЯ



**Киреенко, Н.В. Механизмы устойчивого инновационного развития аграрного бизнеса Республики Беларусь / Н.В. Киреенко и др. – Минск: БГАТУ, 2024. – 192 с.**

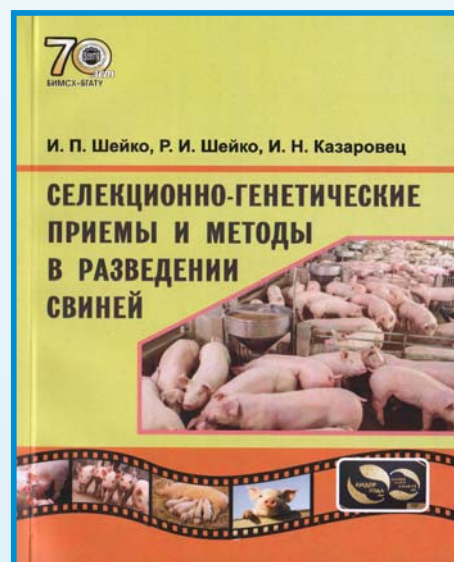
В монографии представлены результаты научного исследования по формированию механизма устойчивого инновационного развития аграрного бизнеса Республики Беларусь. Проведена комплексная оценка зарубежного опыта действенного государственного регулирования инновационной деятельности, в том числе в контексте Повестки дня в области устойчивого развития на период до 2030 г. Обоснована инновационная модель развития системы дополнительного образования взрослых Республики Беларусь. Даны методические и практические рекомендации разработки экспортной стратегии агропродовольственной сферы и др.

Издание предназначено для руководителей и специалистов организаций АПК, органов государственного управления, представителей научного и образовательного сообщества, слушателей и студентов учебных заведений аграрного профиля.

**Шейко, И.П. Селекционно-генетические приемы и методы в разведении свиней / И.П. Шейко, Р.И. Шейко, И.Н. Казаровец. – Минск: БГАТУ, 2024. – 227 с.**

Монография посвящена проблеме интенсификации свиноводства в Республике Беларусь. Прогнозирование результатов продуктивных качеств свиней различных сочетаний при гибридизации и гетерозисный потенциал сочетаний на основе оценки общей, специфической и ассоциативной комбинационной способности пород позволяют производителям отобрать наилучшую родительскую свинку и родительского хряка для получения финальных гибридов со стабильным и высоким эффектом гетерозиса по репродуктивным признакам.

Адресуется руководителям и специалистам сельскохозяйственных предприятий, студентам учреждений высшего и среднего специального образования аграрного профиля, аспирантам, магистрантам.

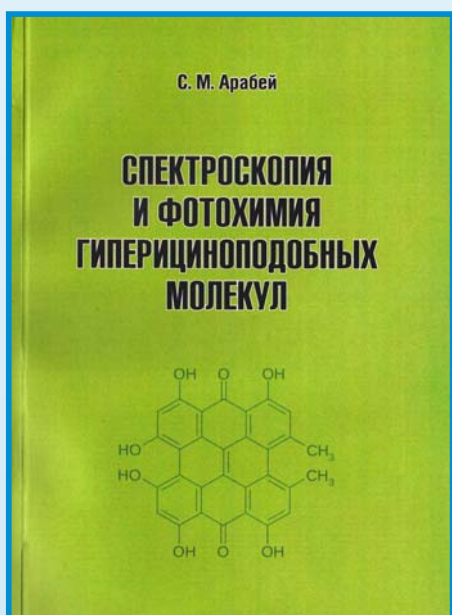


**Арабей, С.М. Спектроскопия и фотохимия гиперцициноподобных молекул / С.М. Арабей. – Минск: БГАТУ, 2024. – 220 с.**

В монографии рассмотрены вопросы химического строения гиперцициноподобных молекул, общие принципы их синтеза, электронные спектры поглощения и люминесценции. Описано применение методов квазилинейчатых спектров, спектроскопии селективного лазерного возбуждения и выжигания спектральных провалов для изучения вибронных состояний и фотоиндуцированных структурных превращений гиперцициноподобных молекул. Рассмотрено влияние внешних условий, включая гелематричную изоляцию, на химическое строение, электронные состояния и спектральные свойства данного класса соединений. Обсуждаются возможности практического применения соединений гиперцицинового ряда для биомедицинских целей и техники.

Будет полезна научным сотрудникам, магистрантам, аспирантам и слушателям системы дополнительного образования взрослых, интересующимся фундаментальными и прикладными вопросами молекулярной спектроскопии и

фотохимии, а также применением гиперцициноподобных молекул в биологии, медицине и технике.



# АГРОПАНОРАМА 1 (167) февраль 2025

Издается с апреля 1997 г.

Научно-технический журнал  
для работников  
агропромышленного комплекса.  
Зарегистрирован в Министерстве  
информации Республики Беларусь  
21 апреля 2010 года.  
Регистрационный номер 1324

## Учредитель

Белорусский государственный  
аграрный технический университет

## Главный редактор

Николай Николаевич Романюк

Заместитель главного редактора  
Михаил Александрович Прищепов

## Редакционная коллегия:

Л.С. Герасимович	И.С. Крук
П.П. Казакевич	А.С. Сайганов
В.М. Капцевич	В.Н. Тимошенко
А.Н. Каргашевич	Н.К. Толочко
Н.В. Киреенко	В.П. Чеботарёв
И.П. Козловская	Н.С. Яковчик

Е.В. Сенчуров – ответственный секретарь  
Н.И. Цындрина – редактор

Компьютерная верстка  
В.Г. Леван

## Адрес редакции:

БГАТУ, пр-т Независимости, 99/1, к. 220  
220012, г. Минск, Республика Беларусь  
Тел. (+375 17) 272-47-71  
Тел./факс (+375 17) 258-41-16

## Прием статей и работа с авторами:

г. Минск, пр-т Независимости, 99/5, к. 602, 608  
Тел. (+375 17) 385-91-02, 355-22-14  
E-mail: [AgroP@bsatu.by](mailto:AgroP@bsatu.by)

БГАТУ, 2025.

Формат издания 60 x 84 1/8.

Подписано в печать с готового оригинала-макета 24.02.2025 г. Зак. № 119 от 21.02.2025 г.

Дата выхода в свет 28.01.2025 г.

Печать офсетная. Тираж 60 экз.

Статьи рецензируются.

Отпечатано в ИПЦ БГАТУ по адресу: г. Минск, пр-т Независимости, 99/2

ЛП № 02330/316 от 30.10.2020 г.

Выходит один раз в два месяца.

Подписной индекс в каталоге «Белпочта» - 74884.

Стоимость подписки на журнал на 1-е п/г 2025 г.:  
для индивидуальных подписчиков - 48,39 руб.;  
ведомственная - 50,91 руб.;

При перепечатке или использовании публикаций согласование с редакцией и ссылка на журнал обязательны. Ответственность за достоверность рекламных материалов несет рекламодатель.

## СОДЕРЖАНИЕ

### Сельскохозяйственное машиностроение. Металлообработка

**А.Н. Смирнов, Н.Г. Серебрякова, П.В. Авраменко,  
Н.Н. Казакевич, Е.Ю. Жушма**

Теоретическое обоснование и выбор способа уравнивания силы тяжести погрузочного оборудования фронтального погрузчика.....2

**Ф.И. Назаров, Е.В. Лещенко, И.С. Крук**

Результаты сравнительных исследований лемешного и дискового предплужников в полевых условиях.....7

### Энергетика. Транспорт

**М.А. Прищепов, Ю.Н. Селюк, Е.М. Прищепова,  
И.Г. Рутковский**

Математическое моделирование теплообмена порослят-сосунов при комбинированном обогреве.....14

### Технический сервис в АПК. Экономика

**Е.К. Волкова, В.Е. Тарасенко, К.В. Щурин**

Технико-экономическое обоснование показателей эксплуатационной надёжности мобильных машин.....23

**В.К. Корнеева, В.М. Капцевич, В.В. Остриков**

Методы оценки экспериментальных результатов экспресс-тестирования моторных масел, основанные на использовании программного комплекса Imagej  
Часть 2. Цветовые модели и возможности их применения при колориметрических методах.....29

**Т.В. Гусарова**

Модели формирования инфраструктуры сбалансированного экономического роста производства мясной продукции.....37

**И.А. Войтко**

Тенденции развития государств – членов евразийского экономического союза в условиях международных экономических санкций и ограничений.....42

## ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ И ВЫБОР СПОСОБА УРАВНОВЕШИВАНИЯ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ ПОГРУЗОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ФРОНТАЛЬНОГО ПОГРУЗЧИКА

**А.Н. Смирнов,**

*доцент каф. стандартизации, метрологии и инженерной графики БГАТУ, канд. техн. наук, доцент*

**Н.Г. Серебрякова,**

*зав. каф. моделирования и проектирования БГАТУ, канд. пед. наук, доцент*

**П.В. Авраменко,**

*зав. каф. стандартизации, метрологии и инженерной графики БГАТУ, канд. техн. наук, доцент*

**Н.Н. Казакевич,**

*аспирант агромеханического факультета БГАТУ*

**Е.Ю. Жушма,**

*студент агромеханического факультета БГАТУ*

*В статье предложен и теоретически обоснован способ уравнивания силы тяжести погрузочного оборудования фронтального погрузчика путем установки пружинных аккумуляторов. Приведено сравнение и показано его преимущество перед традиционным способом. Разработана новая методика расчета параметров энергосберегающей системы на основе пружин растяжения.*

*Ключевые слова: погрузчик, гидроцилиндры, пружинные аккумуляторы, энергоэффективность.*

*The article proposes and theoretically substantiates the method of balancing the gravitational force of the loading equipment of the front-end loader by installing the spring accumulators. A comparison is given and its advantage over the traditional method is shown. A new methodology for calculating the parameters of the energy-saving system based on tension springs has been developed.*

*Key words: loader, hydraulic cylinder, spring accumulators, energy efficiency.*

### Введение

Фронтальные погрузчики применяются в разных отраслях народного хозяйства для выполнения широкого спектра работ с использованием различного сменного рабочего оборудования, в том числе грузоподъемного – ковша нормального, уменьшенного, увеличенного, двухчелюстного, решетчатого, а также вил грузовых, захвата челюстного, захвата лапового и др.

Данные погрузчики являются машинами циклического действия. Они совершают полезную работу при подъеме определенного груза, однако при этом затрачивается энергия на подъем погрузочного оборудования, что приводит к уменьшению грузоподъемности, а также дополнительным энергозатратам и снижению КПД.

Технический прогресс в этой области направлен на постоянное совершенствование конструкций таких машин и улучшение их технико-экономических параметров [1, 2].

Конструкция погрузочного оборудования фронтального погрузчика, включающая гидромеханизм подъема стрелы, во многом определяет его основные технико-экономические показатели, такие как увели-

чение грузоподъемности (производительности), повышение энергоэффективности и топливной экономичности [3, 4].

Одним из направлений для этих целей является создание энергосберегающих систем, позволяющих повысить грузоподъемность и снизить расход топлива [5, 6].

Теоретические и экспериментальные исследования гидроприводов одноковшовых фронтальных погрузчиков (динамика, совершенствование кинематики погрузочного оборудования, разработка энергосберегающих гидроприводов) описаны в работах С.В. Абрамова, П.С. Акользиной, Т.В. Алексеевой, И.П. Бородачева, А.В. Вавилова, Л.А. Гобермана, Г.В. Забегалова, И.В. Лесковца, А.М. Лукина, А.Н. Подсвинова, Г.И. Поникарова, В.Н. Тарасова, Г.И. Теремязева, А.М. Щемелева и других.

Важным аспектом в этих работах является задача уравнивания силы тяжести погрузочного оборудования с порожним ковшом при его подъеме, так как это дает значительный экономический эффект, выражающийся в повышении грузоподъемности и экономии топлива.

Решению данной задачи на основе использования пневмогидроаккумуляторов (ПГА) много внима-

ния было уделено в научных и образовательных организациях ближнего и дальнего зарубежья [7-9].

Установка масляно-азотных ПГА требует их обслуживания и заправку газом. Кроме этого, необходима установка дополнительного гидроцилиндра для передачи усилия от ПГА к стреле погрузчика при подъеме. Поэтому энергосберегающие гидроприводы (ЭСГП) с применением ПГА не получили достаточно широкого применения несмотря на актуальность данной проблемы.

Целью настоящей работы является повышение производительности и энергоэффективности фронтального погрузчика обоснованием способа уравнивания силы тяжести погрузочного оборудования.

### Основная часть

Для увеличения производительности и энергоэффективности была разработана энергосберегающая система малогабаритного погрузчика с бортовым поворотом Амкодор 208В грузоподъемностью 1,05 т с применением пружин кручения, которая обеспечивала значительный экономический эффект [10]. Однако использовать пружины кручения на фронтальных погрузчиках большей грузоподъемности невозможно ввиду увеличения их габаритов и отсутствия места, достаточного для компоновки, а установка пружин сжатия требует специальной оправки для предотвращения потери их устойчивости, что усложняет конструкцию. Поэтому наиболее рациональным является использование пружин растяжения в качестве пружинных аккумуляторов. В этом случае два стреловых гидроцилиндра можно заменить двумя пружинами растяжения, расположив их внутри передней полурамы, а на подъем стрелы ввести один гидроцилиндр, закрепив его по центру.

Уравнивающая (энергосберегающая) система должна полностью компенсировать вес погрузочного оборудования без груза в ковше от нижнего до верхнего положения стрелы при ее подъеме (рис. 1).

Определим КПД процесса подъема стрелы с грузом в ковше стреловыми гидроцилиндрами погрузчика Амкодор 333В грузоподъемностью 3,3 т без установки пружинных аккумуляторов:

$$\eta_1 = A_{\Pi} / A_3 = A_{\Gamma} / [(A_{\Gamma} + A_{\text{ПК}}) / \eta_{\text{М}}],$$

где  $A_{\Pi}$ ,  $A_3$  – соответственно, работа полезная и затраченная, Дж;

$A_{\Gamma}$  – работа, затраченная на подъем груза в ковше, Дж;

$A_{\text{ПК}}$  – работа, затраченная на подъем погрузочного оборудования без груза в ковше, Дж;

$\eta_{\text{М}} = 0,9$  – коэффициент, учитывающий механические потери в шарнирах погрузочного оборудования [11].

$$A_{\Pi} = A_{\Gamma} = P_{\Gamma} H_{\Gamma} = m_{\Gamma} g H_{\Gamma}, \text{ Дж},$$

где  $P_{\Gamma}$  – вес груза в ковше, Н;

$H_{\Gamma} = 3,54$  м – вертикальное перемещение центра масс груза в ковше при подъеме в силовом потенциальном поле (рис. 1);

$m_{\Gamma} = 3300$  кг – масса груза в ковше;

$g = 9,81$  м/с<sup>2</sup> – ускорение свободного падения;

$$A_{\Pi} = A_{\Gamma} = 3300 \cdot 9,81 \cdot 3,54 = 114600 \text{ Дж};$$

$$A_{\text{ПК}} = m_{\text{ПК}} g H_{\text{ПК}}, \text{ Дж},$$

где  $m_{\text{ПК}}$  – масса погрузочного оборудования без груза в ковше;

$H_{\text{ПК}} = 2,72$  м – вертикальное перемещение в силовом потенциальном поле центра масс погрузочного оборудования без груза в ковше при подъеме (рис. 1);

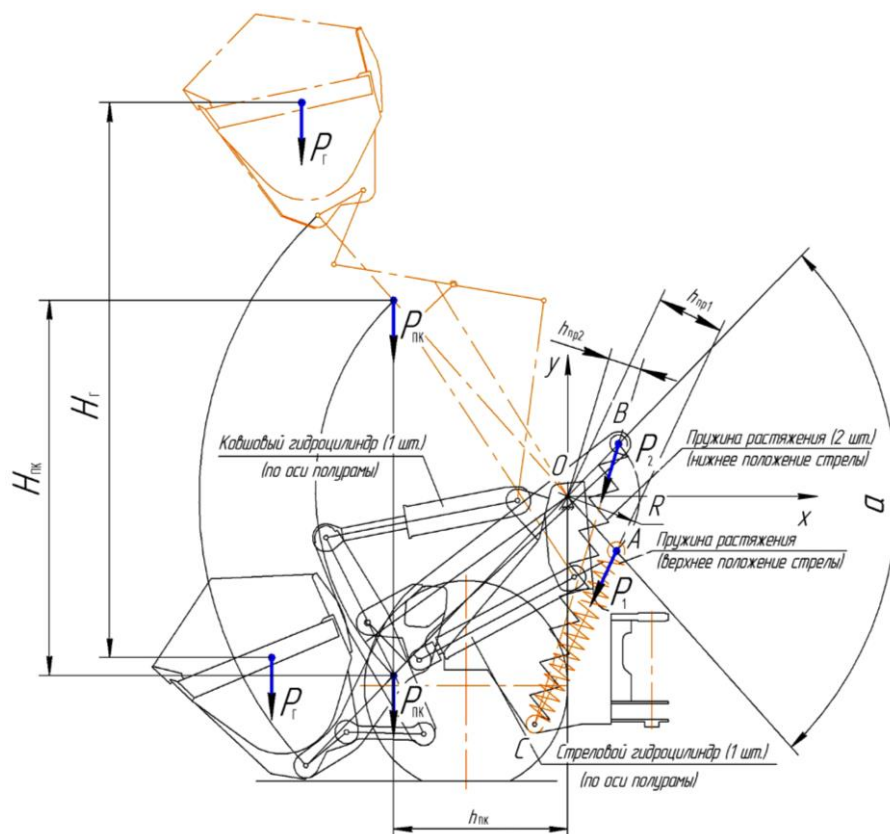


Рисунок 1. Схема уравнивающей системы погрузочного оборудования фронтального погрузчика Амкодор 333В

$$A_{\text{ПК}} = 1380 \cdot 9,81 \cdot 2,72 = 36823 \text{ Дж};$$

$$\eta_1 = 114600 / [(114600 + 36823) / 0,9] = 0,68.$$

Найдем КПД процесса подъема стрелы с грузом в ковше стреловыми гидроцилиндрами погрузчика с пружинными аккумуляторами  $\eta_2$ :

$$\eta_2 = A_{\Pi} / A_3 = A_{\Gamma} / [(A_{\Gamma} + A_{\text{ПК}}) / \eta_{\text{М}} - A_{\text{ПК ПР}}],$$

где  $A_{\text{ПК ПР}} = A_{\text{ПК}}$  – работа, совершаемая пружинными аккумуляторами;

$$\eta_2 = 114600 / [(114600 + 36823) / 0,9 - 36823] = 0,87.$$

Отношение работ, совершаемых стреловыми гидроцилиндрами с пружинными аккумуляторами и без их установки, равно:

$$[(A_{\Gamma} + A_{\text{ПК}}) / \eta_{\text{М}} - A_{\text{ПК ПР}}] / [(A_{\Gamma} + A_{\text{ПК}}) / \eta_{\text{М}}] / = = [(114600 + 36823) / 0,9 - 36823] / [(114600 + 36823) / 0,9] = 0,78.$$

Следовательно, снижение энергозатрат при одинаковой грузоподъемности составит:  $1 - 0,78 = 0,22$  или 22 %.

Определим момент  $M_{\text{ПК}}$  от веса погрузочного оборудования без груза в ковше в нижнем положении стрелы относительно ее оси вращения  $O$  (рис.1):

$$M_{\text{ПК}} = P_{\text{ПК}} h_{\text{ПК}}, \text{ Н}\cdot\text{м},$$

где  $P_{\text{ПК}}$  – вес погрузочного оборудования без груза в ковше, Н;

$h_{\text{ПК}}$  – плечо силы РПК относительно оси  $O$ , м.

Находим наибольший рабочий момент  $M_2$ , воспринимаемый одной пружиной в нижнем положении стрелы

$$M_2 = M_{\text{ПК}} / n, \text{ Н}\cdot\text{м},$$

где  $n$  – число пружин растяжения.

Сила пружины при ее деформации  $F_2$  (м) в нижнем положении стрелы

$$P_2 = M_2 / h_{\text{ПР2}}, \text{ Н},$$

где  $h_{\text{ПР2}}$  – плечо силы  $P_2$  относительно оси  $O$  при деформации  $F_2$ , м.

Сила  $P_2$  и плечо  $h_{\text{ПР2}}$  пружины являются неизвестными.

Ограничение максимальной деформации  $\delta$  пружины [12]

$$\delta = 1 - P_2 / P_3,$$

где  $P_3$  – сила пружины при ее максимальной деформации  $F_3$  (м), Н.

Для пружин растяжения  $\delta = 0,05 \dots 0,1$  [12].

Для уменьшения максимальной длины  $H_3$  пружины при ее максимальной деформации  $F_3$  (м) принимаем  $\delta = 0,05$ .

$$\text{Тогда } P_2 = P_3 - 0,05P_3 = 0,95P_3;$$

$$P_3 = P_2 / 0,95 = 1,05P_2.$$

В качестве пружин растяжения принимаем пружины растяжения III класса 3 разряда из стали 60С2А (ГОСТ 14959); максимальное касательное напряжение при кручении  $\tau_3 = 1050$  МПа; твердость после термообработки HRC 51,5...56,0; упрочнение дробью.

Индекс пружины  $c = D_0 / d$ ,  
где  $D_0$  – средний диаметр пружины, м;  
 $d$  – диаметр проволоки, м.

$$\text{Отсюда } D_0 = c \cdot d, \text{ м.} \quad (1)$$

Наружный диаметр пружины –  $D_{\text{Н}} = D_0 + d$ , м.  
Внутренний диаметр пружины –  $D_{\text{В}} = D_0 - d$ , м.  
Коэффициент  $K$  формы сечения и кривизны витка

$$K = [(4c - 1) / (4c - 4)] + 0,615 / c \quad [12, \text{ с.132}]. \quad (2)$$

Максимальное касательное напряжение  $\tau_3$  при кручении при силе  $P_3$

$$\tau_3 = 8KP_3D_0 / \pi d^3 = 8,4KP_2D_0 / \pi d^3, \text{ МПа} \quad [12]. \quad (3)$$

Отсюда  $P_2 = \pi d^3 \tau_3 / 8,4K D_0$ , Н.

Находим плечо  $h_{\text{ПР2}}$  силы  $P_2$  при деформации пружины  $F_2$  (м) в нижнем положении стрелы

$$h_{\text{ПР2}} = M_{\text{ПК}} / P_2, \text{ м}.$$

У погрузчика Амкорд 333В при подъеме стрелы моменты от силы веса  $P_{\text{ПК}}$  погрузочного оборудования без груза в ковше в нижнем и верхнем положениях равны, так как по кинематике равны плечи этих сил. Для уравнивания этих моментов, соответственно, должны быть равны и моменты, создаваемые пружинами (рис. 1):

$$P_1 h_{\text{ПР1}} = P_2 h_{\text{ПР2}},$$

где  $P_1$ ,  $h_{\text{ПР1}}$  – соответственно, сила пружины (Н) и ее плечо (м) в верхнем положении стрелы.

По условиям компоновки (для уменьшения длины пружин) принимаем:  $P_1 = 0,5 P_2$ .

Тогда из равенства моментов

$$h_{\text{ПР2}} = 0,5 h_{\text{ПР1}}. \quad (4)$$

Следовательно,  $F_1 / F_2 = P_1 / P_2$ ,

где  $F_1$  – деформация пружины при силе  $P_1$  (верхнее положение стрелы), м.

$$\text{Отсюда } F_1 = 0,5 F_2. \quad (5)$$

Высота пружины в свободном состоянии:

$$H_0 = (n_{\text{в}} + 1) d, \text{ м} \quad [12], \quad (6)$$

где  $n_{\text{в}}$  – число рабочих витков.

Жесткость пружины:

$$z = P_2 / F_2 = Gd^4 / 8D_0^3 n_{\text{в}}, \text{ Н/м} \quad [12], \quad (7)$$

где  $G = 8 \cdot 10^4$  МПа – модуль сдвига.

Из формулы (6) следует:

$$n_{\text{в}} = (H_0 - d) / d = H_0 / d - 1. \quad (8)$$

Преобразуем выражение (7)

$$8P_2 D_0^3 n_{\text{в}} = Gd^4 F_2.$$

$$\text{Отсюда } n_{\text{в}} = Gd^4 F_2 / 8P_2 D_0^3. \quad (9)$$

Подставляя формулу (8) в выражение (9), после преобразований получим:

$$H_0 = G d^5 F_2 / 8P_2 D_0^3 + d, \text{ м.}$$

В работе [13] предложена методика расчета хода  $S$  стреловых гидроцилиндров и радиуса  $R$  вращения стрелы при ее подъеме, которые являются неизвестными. Установка пружин растяжения аналогична установке стреловых гидроцилиндров, если заменить их условную длину  $l_0$  на высоту пружины в свободном состоянии  $H_0$ , а ход поршня  $S$  на ее деформацию  $F_2$ .

Эта методика направлена на расчет кинематики, но не определяет координаты установки пружин растяжения, не учитывает силовые параметры рассматриваемой системы и требует дальнейшей ее доработки. Для определения всех необходимых параметров системы составлена программа расчета в среде Mathcad.

В данном случае высота пружин в свободном состоянии  $H_0$ , а также плечи пружин  $h_{\text{ПР1}}$  и  $h_{\text{ПР2}}$  неизвестны. Угол раскрытия стрелы  $\alpha = 92^\circ$ .

Учитывая выражение (4) и задаваясь величиной плеч  $h_{\text{ПР1}}$  и  $h_{\text{ПР2}}$ , получим систему двух нелинейных уравнений с тремя неизвестными –  $R, F_2, H_0$ :

$$\left\{ \begin{array}{l} (H_0 + 0,5F_2)^2 + 2R(H_0 + 0,5F_2) \times \\ \times \sin \arccos(h_{\text{ПР1}} / R) = (H_0 + F_2)^2 - \\ - 2R(H_0 + F_2) \cos \arcsin(0,5 h_{\text{ПР1}} / R); \\ (H_0 + F_2)^2 = (H_0 + 0,5F_2)^2 + \\ + 4R^2 \sin^2(\alpha / 2) + 4(H_0 + 0,5F_2) \times \\ \times R \sin(\alpha / 2) \cos[\arccos(h_{\text{ПР1}} / R) - \alpha / 2] \end{array} \right. \quad (10)$$

Для определения координат крепления пружин растяжения к передней полураме ( $X_C, Y_C$ ) составляем уравнения окружностей с центрами в точках  $A$  и  $B$  (рис. 1):

$$[(X_C - R \cos(\alpha / 2))^2 + [(Y_C + R \sin(\alpha / 2))^2 = = (H_0 + 0,5F_2)^2;$$

$$[(X_C - R \cos(\alpha / 2))^2 + [(Y_C - R \sin(\alpha / 2))^2 = = (H_0 + F_2)^2.$$

Высота пружины  $H_2$  при нижнем положении стрелы (расстояние между точками  $B$  и  $C$ ) (рис. 1):

$$H_2 = \sqrt{X_C^2 + Y_C^2}, \text{ м.}$$

Высота пружины в свободном состоянии:

$$H_0 = H_2 - F_2, \text{ м.}$$

Учитывая выражения (1) и (2), задаваясь индексом пружины  $s$  и максимальным касательным напряжением  $\tau_3$  при кручении, из формулы (3) находим диаметр  $d$  проволоки пружины.

Используя зависимость (5), программа определяет деформацию  $F_2$  пружины при силе  $P_2$  (нижнее положение стрелы), м.

Расчет показал в первом приближении, что  $d = 0,036$  м при  $c = 9$ , что не является удовлетворительным.

Поэтому будем использовать две пружины меньших размеров, одна из которых вставляется внутрь другой.

Выполнив указанные расчеты в среде Mathcad для погрузчика Амкорд 333В грузоподъемностью 3,3 т, получим:

Наружная пружина:  $d = 0,025$  м;  $c = 8$ ;  $D_0 = 0,2$  м;  $\tau_3 = 996$  МПа.

Внутренняя пружина:  $d = 0,018$  м;  $c = 8$ ;  $D_0 = 0,144$  м;  $\tau_3 = 988$  МПа.

Остальные параметры:

- радиус вращения стрелы  $R = 0,489$  м;
- плечо пружин  $h_{\text{ПР1}} = 0,456$  м в верхнем положении стрелы;
- плечо пружин  $h_{\text{ПР2}} = 0,228$  м в нижнем положении стрелы;
- высота пружин в свободном состоянии  $H_0 = 0,637$  м;
- деформация пружин  $F_1 = 0,6605$  м и  $F_2 = 1,321$  м;
- рабочий ход пружин  $h = F_2 - F_1 = 1,321 - 0,6605 = 0,6605$  м;
- высота пружин  $H_1 = 1,2975$  м при деформации  $F_1$ ;
- высота пружин  $H_2 = 1,958$  м при деформации  $F_2$ ;
- координаты крепления пружин к передней раме:  $X_C = 0,207$  м;
- $Y_C = 1,529$  м.

В работе [14] рассмотрены вопросы выбора рациональных координат для компоновки стреловых гидроцилиндров, где предложены два варианта их установки.

Указанные универсальные методики расчета применимы и для определения координат установки пружин растяжения. Выбираем первый вариант. Проверка путем прорисовки в графическом редакторе КОМПАС указывает на правильность выполненных расчетов.

### Заключение

Предложенный способ уравнивания сил тяжести погрузочного оборудования фронтального погрузчика путем установки пружинных аккумуляторов показывает их преимущество по сравнению с ПГА, которые не получили достаточно широкого распространения:

- вместо двух стреловых гидроцилиндров, расположенных симметрично снаружи передней полурамы, устанавливаются пружинные аккумуляторы, полностью компенсирующие вес погрузочного оборудования без груза в ковше, что значительно упрощает и удешевляет конструкцию;
- один стреловой гидроцилиндр монтируется по оси передней полурамы для подъема груза в ковше (совершения полезной работы);
- отсутствуют ПГА, дополнительный гидроцилиндр, гидравлические компоненты и место для их установки;

- не требуется обслуживание и заправка ПГА газом;
- обеспечивает снижение энергозатрат на 22 % для погрузчика Амкодор 333В при подъеме груза весом 3,3 т, что выше, чем у ПГА, в связи с политропным (нелинейным) процессом сжатия и расширения;
- появляется возможность увеличить грузоподъемность погрузчика Амкодор 333В грузоподъемностью 3,3 т в связи с компенсацией веса погрузочного оборудования при тех же энергозатратах;
- возможен вариант установки двух стреловых гидроцилиндров меньшего диаметра или хода, расположив две пружины растяжения внутри передней полурамы, что сокращает расход рабочей жидкости при работе или время цикла.

Как показали расчеты на примере погрузчика Амкодор 333В грузоподъемностью 3,3 т, для повышения производительности и энергоэффективности фронтальных погрузчиков можно рекомендовать предложенный способ уравнивания силы тяжести погрузочного оборудования фронтального погрузчика путем установки пружинных аккумуляторов.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Радкевич, В.В. Основные тенденции конструирования фронтальных пневмоколесных погрузчиков в отрасли / В.В. Радкевич // Строительные и дорожные машины. – 1988. – № 3. – С. 13-14.
2. Смирнов, А.Н. Тенденции развития одноковшовых фронтальных погрузчиков / А.Н. Смирнов, П.В. Авраменко, Н.Г. Серебрякова // БЕЛАГРО – 2019: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 6-7 июня 2019 г. / Белор. гос. аграр. техн. ун-т; редкол.: И.Н. Шило (гл. ред.) [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2019. – С. 422-426.
3. Анализ кинематических схем погрузочного оборудования одноковшовых фронтальных погрузчиков / А.Н. Смирнов, П.В. Авраменко, Н.Г. Серебрякова [и др.] // Техническое и кадровое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 24–25 ноября 2019 г.: в 2 ч. / Белор. гос. аграр. техн. ун-т; редкол.: И.Н. Шило (гл. ред.) [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2019. – Ч. 1. – С. 270-271.
4. Улучшение кинематических параметров гидромеханизма подъема стрелы фронтального погрузчика / А.Н. Смирнов, П.В. Авраменко, Н.Г. Серебрякова [и др.] // Техническое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 26-27 ноября 2020 г. / Белор. гос. аграр. техн. ун-т; редкол.: Н.Г. Серебрякова (гл. ред.) [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2020. – С. 207-212.
5. Смирнов, А.Н. Рекомендации по повышению энергоэффективности одноковшовых фронтальных погрузчиков при эксплуатации / А.Н. Смирнов, П.В. Авраменко. – Минск: БГАТУ, 2020. – 76 с.
6. Смирнов, А.Н. Научно-технические основы проектирования фронтальных погрузчиков: монография / А.Н. Смирнов, П.В. Авраменко. – Минск: БГАТУ, 2021. – 172 с.
7. Разработка энергосберегающих систем одноковшовых фронтальных погрузчиков и методики их расчета: отчет о НИР № 14 – 85; № 14 – 85 (доп.) / СИБАДИ; рук. Г.И. Теремязев. – Омск, 1987. – 32 с.
8. Подсвиров, А.Н. Математическая модель энергосберегающего рабочего оборудования погрузчика / А.Н. Подсвиров. – Омск: СИБАДИ, 1990. – 9 с.
9. Подсвиров, А.Н. Разработка конструкции и методики расчета параметров погрузочного оборудования одноковшового фронтального погрузчика с энергосберегающим приводом: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.05.04 / А.Н. Подсвиров; Сибирский гос. автомобильно-дорожный ун-т (СИБАДИ). – Омск, 1992. – 20 с.
10. Обоснование и разработка энергосберегающей системы малогабаритного погрузчика с бортовым поворотом / А.Н. Смирнов, П.В. Авраменко, Н.Г. Серебрякова, К.А. Омелящик // Агропанорама. – 2022. – № 5. – С. 10-13.
11. Базанов, А.Ф. Самоходные погрузчики / А.Ф. Базанов, Г.В. Забегалов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1979. – 406 с.
12. Ануриев, В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: в 3 т. / В.И. Ануриев. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1982. – Т. 3. – 576 с.
13. Смирнов, А.Н. Расчет некоторых кинематических и динамических параметров погрузочного оборудования одноковшового фронтального погрузчика / А.Н. Смирнов, Н.Д. Лепешкин // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сборник РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2012. – Вып. 46. – С. 64-68.
14. Смирнов, А.Н. Выбор рациональных координат установки гидроцилиндров подъема стрелы погрузчика / А.Н. Смирнов, Н.Д. Лепешкин // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сборник РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2012. – Вып. 46. – С. 68-71.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 09.11.2024



УДК 631.312

<https://doi.org/10.56619/2078-7138-2025-167-1-7-13>

## РЕЗУЛЬТАТЫ СРАВНИТЕЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЛЕМЕШНОГО И ДИСКОВОГО ПРЕДПЛУЖНИКОВ В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ

**Ф.И. Назаров,**

*доцент каф. технологий и механизации животноводства и переработки  
сельскохозяйственной продукции БГАТУ, канд. техн. наук, доцент*

**Е.В. Лещенко,**

*аспирант каф. сельскохозяйственных машин БГАТУ*

**И.С. Крук,**

*проректор по научной работе БГАТУ, канд. техн. наук, доцент*

*В статье представлены результаты исследований влияния технологических параметров и режимов работы различных конструкций предплужников на энергетические затраты и качество проведения основной обработки почвы. Описана конструкция экспериментальной установки, позволяющей оценить величину тягового сопротивления почвообрабатывающих орудий.*

*Ключевые слова: почва, плуг, предплужник, сферический диск, пластинчатый отвал, качество обработки.*

*The article presents the results of research on the influence of technological parameters and operating modes of different skimmer designs on energy costs and performance quality of basic tillage. The design of the experimental installation is described, which allows evaluating the value of tillage implements traction resistance.*

*Key words: soil, plow, skimmer, concave disk, slat moldboard, tillage quality.*

### Введение

Качественная и своевременная основная обработка почвы позволяет заложить основу будущего урожая и снизить энергетические затраты на проведение последующих почвообрабатывающих технологических операций. Одной из задач основной обработки почвы является качественная заделка органических и минеральных удобрений, а также равномерное распределение в пахотном слое органических остатков предшественника (пожнивные остатки, солома и др.) и промежуточных культур [1-5].

С целью повышения степени заделки растительных остатков, на плуг устанавливают предплужники различных типов и конструктивных исполнений, которые при работе перемещают верхний слой почвы с растительными остатками на дно борозды, в результате чего корпусу плуга требуется только обеспечить крошение и равномерное их закрытие оборачиваемыми пластами почвы.

При выборе предплужника для установки на плуг необходимо учитывать дополнительное сопротивление, возникающее при его работе, что приводит к увеличению необходимого тягового усилия, которое, по некоторым данным, может достигать 40 %. Следует также учитывать дальность отбрасывания

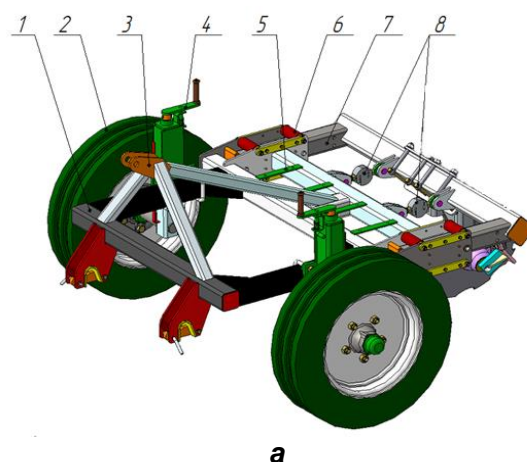
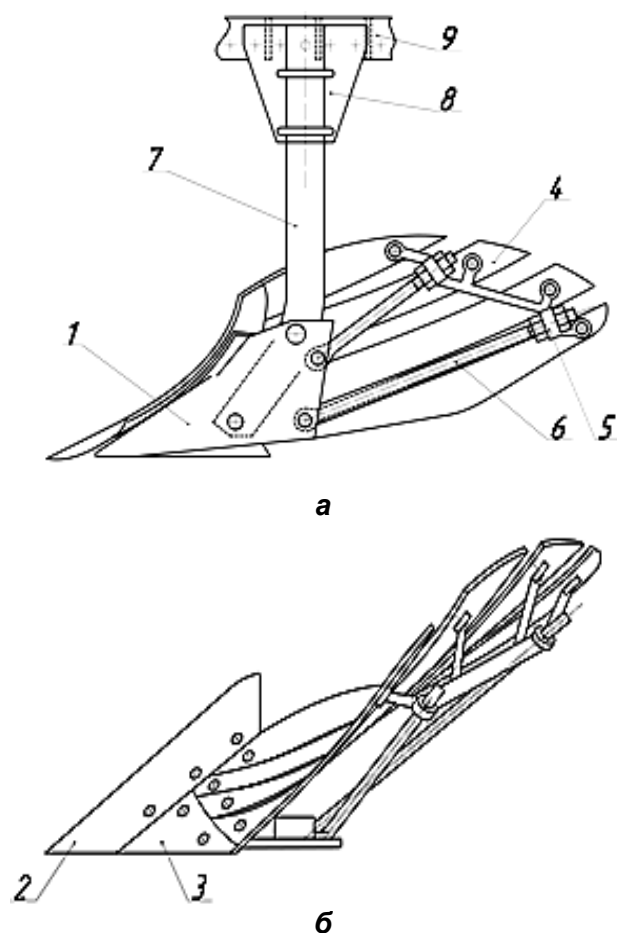
почвы предплужником, которая оказывает влияние на степень заделки растительных остатков.

Исследованиям предплужников большое внимание уделяли В.П. Горячкин, Г.Н. Синекоков, М.В. Сабликов, А.Р. Нормирзаев, Г.Е. Листопад, К.А. Полевицкий, Б.Н. Усовский, Н.В. Щучкин и другие ученые [5-8]. В их трудах описано устройство и работа предплужников различных конструкций.

Цель данной работы – исследование влияния технологических параметров и режимов работы различных конструкций предплужников на энергетические затраты и качество проведения основной обработки почвы.

### Основная часть

Самым распространенным видом предплужника является лемешный (рис. 1), который отличается от корпуса плуга конструктивными параметрами и отсутствием полевой доски. Ему свойственны те же недостатки, которые возникают и при работе корпуса плуга. Одним из путей совершенствования лемешного предплужника является замена сплошного отвала пластинчатым, что позволяет уменьшить площадь трения почвы о сталь, а следовательно, снизить энергетические затраты [5, 6].



**Рисунок 1. Предплужник лемешный с пластинчатым отвалом: а – вид сбоку; б – вид сверху; 1 – башмак; 2 – лемех; 3 – грудь отвала; 4 – пластина отвала; 5 – кронштейн; 6 – распорка; 7 – стойка; 8 – пластина; 9 – кронштейн**

**Рисунок 2. Экспериментальная установка для определения тягового сопротивления предплужников: а – 3D модель; б – общий вид; в – крепление предплужника; 1 – рама; 2 – ход колесный; 3 – устройство навесное; 4 – механизм регулировочный; 5 – площадка для грузов; 6 – опора; 7 – рамка подвижная; 8 – тензометрические датчики**

С целью оценки тягового сопротивления лемешного предплужника с пластинчатым отвалом и дальности отбрасывания им почвы в полевых условиях, при различных режимах его работы, разработана и изготовлена экспериментальная установка (рис. 2). Она состоит из следующих основных узлов: рамы 1, хода колесного 2, устройства навесного 3, механизма регулировочного 4, площадки для грузов 5, опоры 6, рамки подвижной 7, тензометрических датчиков 8. Измерение, накопление и анализ данных о тяговом сопротивлении предплужников осуществлялись за счет применения программного и аппаратного обеспечения экспериментальной установки.

Испытания лемешного предплужника проводились на испытательном полигоне РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» в соответствии с разработанной и утвержденной методикой и программой проведения исследований. Для этого была выбрана делянка с длиной гона 300 м. Уклон поля не превышал 1°. Обязательным условием измерений являлось установившееся движение трактора с заданной скоростью. Условия проведения испытаний представлены в таблице 1.

При измерении тягового сопротивления и дальности отбрасывания почвы лемешного предплужника изменялась рабочая скорость движения экспериментальной установки и глубина обработки почвы согласно плану эксперимента (табл. 2).

**Таблица 1. Условия проведения испытаний лемешного предплужника**

Наименование показателя	Значение
Дата	8 июня 2023 г.
Температура воздуха, °С	24
Относительная влажность воздуха, %	58
Скорость ветра, м/с	4
Тип почвы	дерново-подзолистые легкосуглинистые
Влажность почвы, %	8,1
Плотность почвы, г/см <sup>3</sup> , в слое (см) от 0 до 10 включ.	1,146
Масса растительных остатков на 1 м <sup>2</sup> , г	273
Высота растительных остатков, см	5
Предшествующая обработка почвы	культивация

Результаты испытаний заносились в журнал исследований. После их обработки были получены уравнения регрессии, позволяющие определить изменение сопротивления почвы  $Y_1$  в зависимости от рабочей скорости  $X_1$  и глубины обработки  $X_2$ :

$$Y_1 = 9,07 + 2,19X_1 + 0,44X_2. \quad (1)$$

Проверка адекватности полученной модели по  $F$  – критерию Фишера показала, что она адекватна на уровне значимости 0,05 ( $F_{экс}=3,32 < F_{2;20;0,05}=3,49$ ). На основании полученных результатов эксперимента построена графическая зависимость, представленная на рисунке 3.

Из рисунка 3 видно, что увеличение скорости движения и глубины обработки лемешного предплужника приводит к увеличению сопротивления почвы. Снижения сопротивления можно достигнуть, выбрав при работе минимальную глубину обработки почвы, подрезая только растительный слой почвы.

Далее определялось влияние технологических параметров работы лемешного предплужника на дальность отбрасывания частиц почвы. После обработки данных получено уравнение регрессии, позволяющее определить дальность отбрасывания почвы  $Y_2$  в зависимости от рабочей скорости  $X_1$  и глубины обработки  $X_2$ :

$$Y_2 = 713,8 + 39,3X_1 - 29,3X_2. \quad (2)$$

**Таблица 2. Уровни и интервал варьирования факторов при экспериментальных исследованиях влияния технологических параметров работы предплужника на сопротивление почвы и дальность отбрасывания частиц**

Факторы	Фактор I (скорость движения)		Фактор II (глубина обработки)	
	$x_1$ , км/ч	$X_1$	$x_2$ , м	$X_2$
Основной уровень	$x_{10} = 2,5$	0	$x_{20} = 0,10$	0
Интервал варьирования	$\Delta x_1 = 0,55$	1	$\Delta x_2 = 0,02$	1
Верхний уровень	$x_{2min} = 1,95$	+1	$x_{2min} = 0,08$	+1
Нижний уровень	$x_{1max} = 3,05$	-1	$x_{2max} = 0,12$	-1
Формула перевода натуральных значений факторов $x$ в нормированные $X$ и обратно	$X_1 = \frac{x_1 - 2,5}{0,55}$ ; $x_1 = 0,55X_1 + 2,5$ $X_2 = \frac{x_2 - 0,1}{0,02}$ ; $x_2 = 0,02X_2 + 0,1$			

Проверка адекватности полученной модели по  $F$  – критерию Фишера показала, что она адекватна на уровне значимости 0,05 ( $F_{экс}=2,39 < F_{2;20;0,05}=3,49$ ). На основании полученных результатов эксперимента была построена графическая зависимость (рис. 4).

Анализ полученной графической зависимости показал, что скорость движения агрегата оказывает существенное влияние на дальность отбрасывания почвы. С увеличением глубины обработки дальность отбрасывания уменьшается. Из полученных результатов следует, что при более высоких скоростях движения агрегата предплужник целесообразно устанавливать на большую глубину. Это позволит улучшить качество заделки растительных остатков.

Проведенными исследованиями установлено, что повышение качества заделки растительных остатков лемешным предплужником приводит к увеличению сопротивления. Снизить его величину можно изменением угла резания лемеха в зависимости от скорости движения агрегата. В данной конструкции реализация этого условия довольно сложна, поэтому рассмотрим в качестве предплужника сферический диск, установленный на стойке с возможностью регулировки углов атаки и крена (рис. 5).

Исследование тягового сопротивления дискового предплужника проводилось также в соответствии с принятой программой и методикой исследований. Агротехнический фон и место испытания были аналогичны фону и месту, на котором проводились испытания лемешного предплужника (табл. 1).

Для проведения исследований изготовлен дисковый предплужник со сферическим вырезным диском на цилиндрической стойке с регулируемым углами атаки и крена, закрепленным на раме экспериментальной установки пластинами и хомутами (рис. 6) [9-13]. Так как влияние глубины обработки почвы на работу предплужника было изучено при исследовании лемешного предплужника, то все последующие испытания проводились при заданной глубине обработки почвы – 80 мм.

При измерении тягового сопротивления и дальности отбрасывания почвы дискового предплужника варьировали рабочую скорость, углы атаки и крена (табл. 3).

Полученное в ходе обработки результатов испытаний уравнение регрессии первого порядка по критерию Фишера оказалось неадекватно, поэтому в полевых условиях был проведен еще один эксперимент с учетом звездных точек.

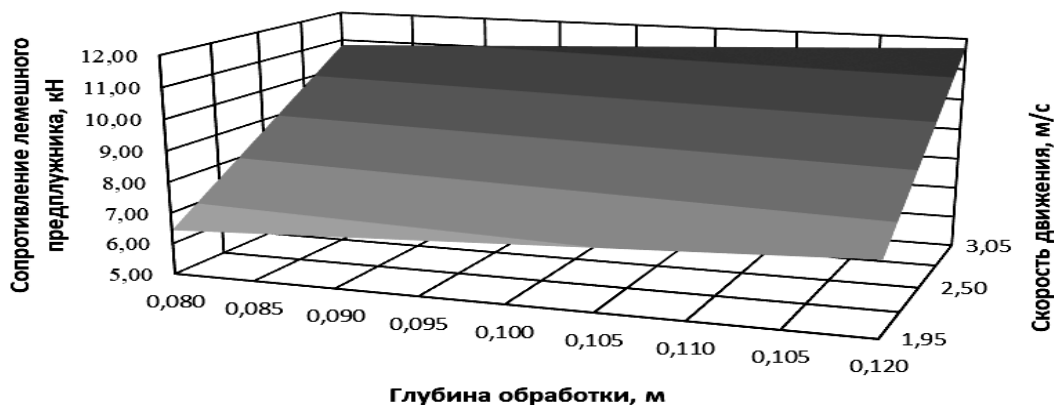


Рисунок 3. Графическая зависимость сопротивления почвы от рабочей скорости и глубины обработки лемешного предплужника

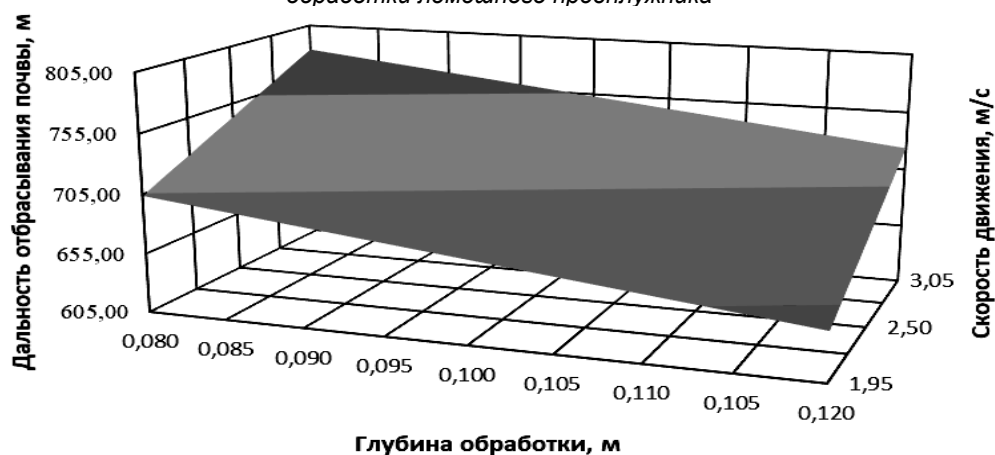


Рисунок 4. Графическая зависимость дальности отбрасывания почвы от рабочей скорости и глубины обработки лемешного предплужника

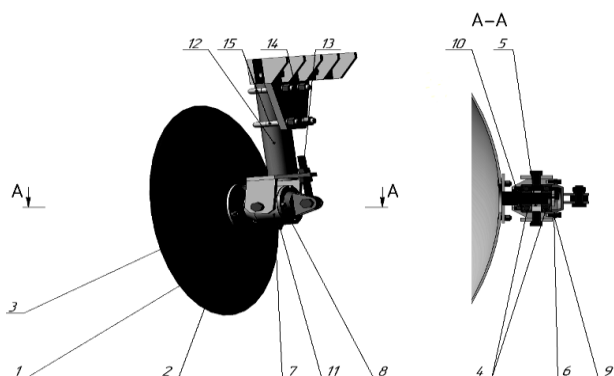


Рисунок 5. Конструкция дискового предплужника:  
1 – сферический диск; 2 – ось; 3 – винт с потайной конической головкой; 4 – радиальный шарикоподшипник; 5 – втулка; 6 – стопорная шайба; 7 – корпус; 8 – крышка; 9 – картонная прокладка; 10 – армированная манжета; 11 – масленка; 12 – стойка; 13 – натяжник; 14 – пластина; 15 – скоба



Рисунок 6. Крепление дискового предплужника на экспериментальной установке

После обработки экспериментальных данных получены уравнения регрессии, позволяющие определить изменение сопротивления почвы  $Y_1$  в зависимости от угла крена  $X_3$ , угла атаки  $X_4$  и скорости движения  $X_1$ :

$$Y_1 = 1,942 + 0,105X_3 + 0,142X_4 + 0,031 X_3 X_4 + 0,113 X_3 X_1 + 0,083 X_2 X_1 + 0,065 X_3^2 - 0,085 X_1^2. \quad (3)$$

Проверка адекватности полученной модели по  $F$  – критерию Фишера показала, что она адекватна на

**Таблица 3. Уровни и интервал варьирования факторов при экспериментальных исследованиях влияния технологических параметров работы предплужника на сопротивление почвы и дальность отбрасывания частиц**

Факторы	Фактор I (угол крена)		Фактор II (угол атаки)		Фактор III (скорость движения)	
	$x_3$ , град	$X_3$	$x_4$ , град	$X_4$	$x_1$ , м/с	$X_1$
Основной уровень	$x_{10} = 0$	0	$x_{20} = 25$	0	$x_{30} = 2,5$	0
Интервал варьирования	$\Delta x_1 = 10$	1	$\Delta x_{20} = 15$	1	$\Delta x_3 = 0,55$	1
Верхний уровень	$x_{2max} = 10$	+1	$x_{2max} = 40$	+1	$x_{3max} = 3,05$	+1
Нижний уровень	$x_{1min} = -10$	-1	$x_{2min} = 10$	-1	$x_{2min} = 1,95$	-1
Формула перевода натуральных значений факторов $x$ в нормированные $X$ и обратно	$X_3 = \frac{x_3}{10};$ $x_3 = 10X_3$		$X_4 = \frac{x_4 - 25}{15};$ $x_4 = 15X_4 + 25$		$X_1 = \frac{x_1 - 2,5}{0,55};$ $x_1 = 0,55X_1 + 2,5$	

уровне значимости 0,05 ( $F_{экс} = 1,1 < F_{0,05; 54; 7} = 2,1$ ). На основании полученных результатов эксперимента были построены графические зависимости (рис. 7-9).

Из графика (рис. 7) видно, что на небольших рабочих скоростях увеличение или уменьшение угла крена относительно 0 приводит к увеличению тягового сопротивления. Угол атаки изменяет ширину захвата диска, что приводит к увеличению сопротивления.

Из графика (рис. 8) видно, что на более высоких рабочих скоростях с увеличением угла крена увели-

чивается тяговое сопротивление. Можно также отметить, что уменьшение угла крена при увеличении угла атаки, позволит получить более низкое сопротивление почвы предплужнику, благодаря снижению сопротивления, возникающего при подрезании пласта.

Анализ графических зависимостей, представленных на рисунках 7-9, показывает, что отрицательные углы крена соответствуют более низким значениям сопротивления почвы.

С целью определения рациональных параметров

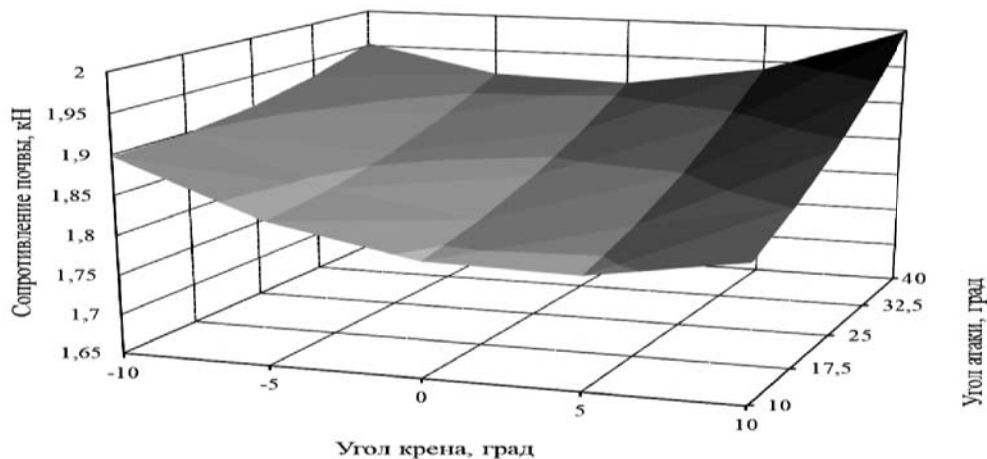


Рисунок 7. Графическая зависимость сопротивления почвы от угла крена и угла атаки дискового предплужника при скорости движения 7 км/ч

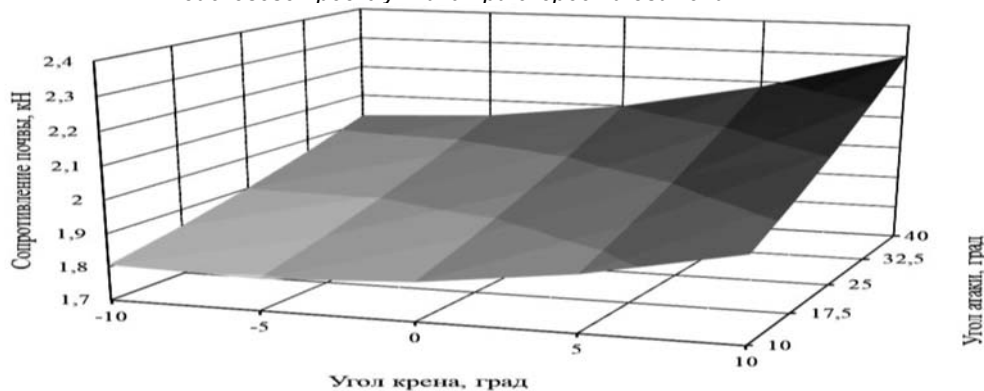


Рисунок 8. Графическая зависимость сопротивления почвы от угла крена и угла атаки дискового предплужника при скорости движения 9 км/ч

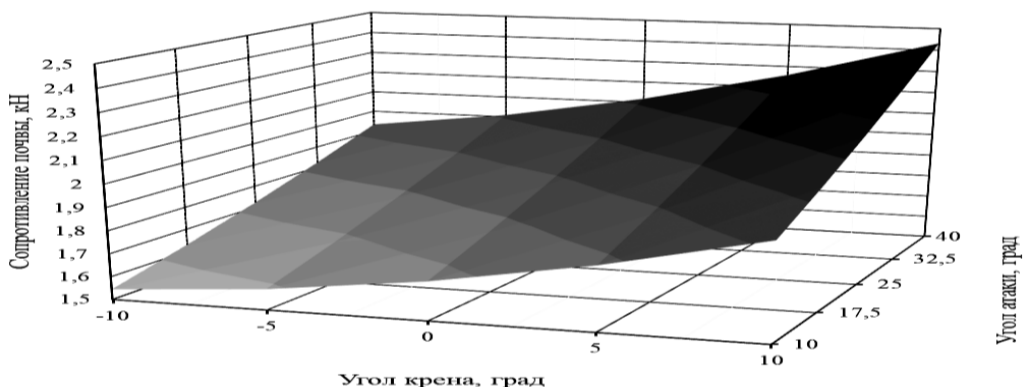


Рисунок 9. Графическая зависимость сопротивления почвы от угла крена и угла атаки дискового предплужника при скорости движения 11 км/ч

дискового предплужника, при которых достигается минимальное сопротивление почвы, был проведен поиск экстремальных значений регрессионного уравнения. Полученные решения выходят за область рабочих режимов предплужников, поэтому при выборе параметров установки следует ориентироваться на качество заделки растительных остатков (дальность отбрасывания частиц почвы).

В ходе полевого эксперимента для всех технологических параметров производился замер дальности отбрасывания частиц. После обработки экспериментальных данных получены уравнения регрессии, позволяющие определить дальность отбрасывания почвы  $Y_2$  в зависимости от угла крена  $X_3$ , угла атаки  $X_4$  и скорости движения  $X_1$ :

$$Y_2 = 0,703 + 0,037 X_3 + 0,132 X_4 + 0,066 X_1 + 0,037 X_3 X_4 + 0,052 X_3^2 - 0,045 X_1^2, \quad (4)$$

где коэффициенты уравнения регрессии имеют размерность.

Проверка адекватности полученной модели по  $F$ -критерию Фишера показала, что она адекватна на уровне значимости 0,05 ( $F_{\text{экс}} = 1,83 < F_{0,05; 54; 7} = 2,1$ ). На основании полученных результатов эксперимента были построены графические зависимости (рис. 10-12).

Анализ полученных графических зависимостей свидетельствует о том, что с увеличением рабочей скорости движения, дальность полета частиц почвы увеличивается. Увеличение угла атаки приводит к увеличению дальности отбрасывания почвы, а следо-

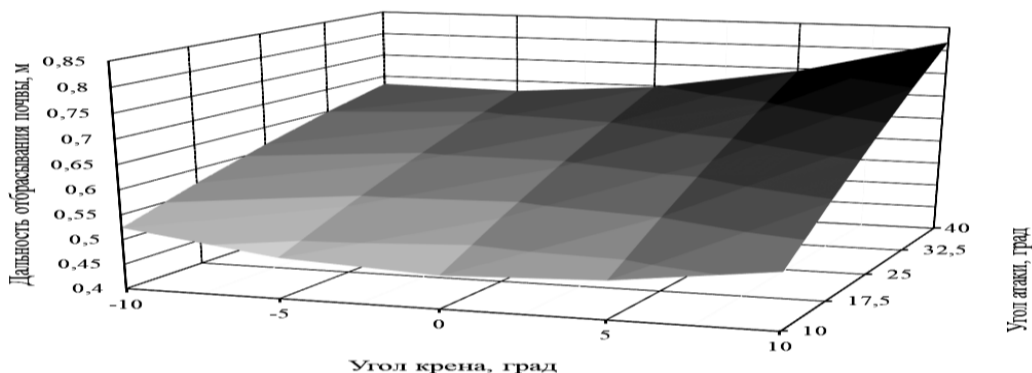


Рисунок 10. Графическая зависимость дальности отбрасывания почвы от угла крена и угла атаки дискового предплужника при скорости движения 7 км/ч

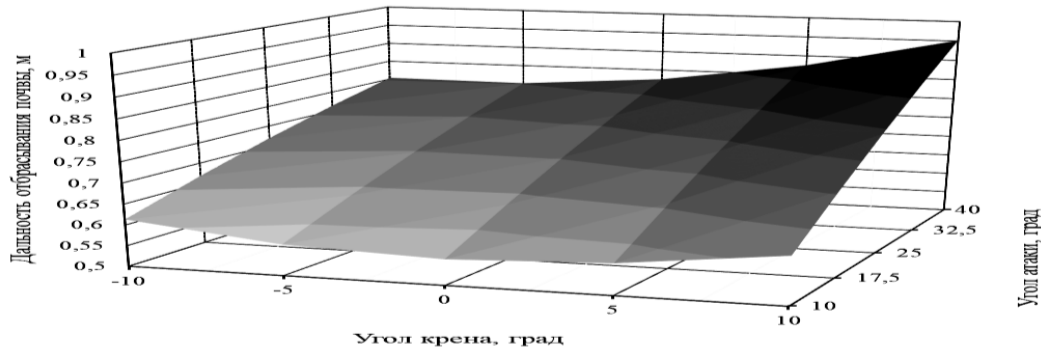


Рисунок 11. Графическая зависимость дальности отбрасывания почвы от угла крена и угла атаки дискового предплужника при скорости движения 9 км/ч

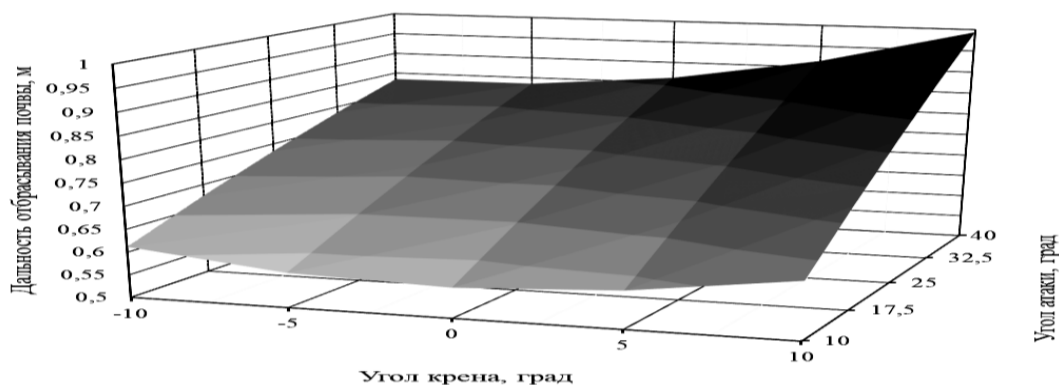


Рисунок 12. Графическая зависимость дальности отбрасывания почвы от угла крена и угла атаки дискового предплужника при скорости движения 11 км/ч

вательно, на больших скоростях может приводить к снижению качества заделки растительных остатков. Графики показывают, что регулирование угла крена в зависимости от остальных параметров предплужника позволяет обеспечить качественную заделку пласта.

### Заключение

В результате проведения экспериментальных исследований двух типов предплужников установлено, что применение дискового предплужника (по сравнению с лемешным) позволяет снизить сопротивление почвы в три раза. Это достигается за счет перераспределения действующих сил, наличия трения-качения и трения-скольжения, меньшего обрабатываемого профиля пласта, присутствия эффекта самоочистки и резания стерни почвы со скольжением.

Применение дискового предплужника с возможностью регулировки угла крена позволит производить качественную основную обработку почвы на высоких скоростях при максимально допустимой ширине захвата диска. Данный эффект достигается при отрицательных углах крена.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Зерновые культуры (выращивание, уборка, обработка и использование) / Д. Шпаар [и др.]; под ред. Д. Шпаара. – 3-е изд., испр. – М.: DLV АГРОДЕЛО, 2008. – 656 с.
2. Панов, И.М. Физические основы механики почв / И.М. Панов, В.И. Ветохин. – К.: Феникс, 2008. – 266 с.
3. Клочков, А.В. Сельскохозяйственные машины: учеб. пособие / А.В. Клочков, Н.В. Чайчиц, В.П. Буяшов. – Минск: Ураджай, 1997. – 492 с.
4. Справочник конструктора сельскохозяйственных машин / В.И. Александров [и др.]; под ред. А.В. Красниченко. – М.: Машиностроение, 1961. – 864 с.
5. Проектирование корпусов плуга с вибрационными пластинчатыми отвалами. Рекомендации / В.П. Чеботарев [и др.] / Министерство сельского хозяйства и продовольствия Респ. Беларусь; Белор. гос. аграр.-техн. ун-т. – Минск: БГАТУ, 2023. – С. 93-101.
6. Лещенко, Е.В. Анализ конструкций предплужников / Е.В. Лещенко, В.В. Зыбайло, Ф.И. Назаров // Техническое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве: сборник науч. статей Междунар. науч.-практич. конф., г. Минск, 23-24 ноября 2023 г. / Белорус. гос. аграр.-техн. ун-т.; редкол.: В.П. Чеботарев (гл. ред.) [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2023. – С. 90-91.
7. Синеоков, Г.Н. Теория и расчет почвообрабатывающих машин / Г.Н. Синеоков, И.М. Панов. – М.: Машиностроение, 1977. – 328 с.
8. Горячкин, В.П. Геометрия отвала. Собрание сочинений: в 3 т. / В.П. Горячкин. – 2-е изд. – М.: Колос, 1968. – Т. 2. – С. 105.
9. Нормирзаев, А.Р. Отбрасывание почвы сферическим дисковым предплужником / А.Р. Нормирзаев, Б.М. Нишонов // Вестник науки и творчества. – 2017. – № 1 (13). – С. 86-90.
10. Обзор рабочих органов дисковой борона / В.Д. Липин, И.Б. Тришкин, Т.В. Подлеснова [и др.] // Вестник Совета молодых ученых Рязанского государственного агротехнологического ун-та им. П.А. Костычева. – 2020. – № 2 (11). – С. 104-110.
11. Определение кинематических параметров движения пласта почвы по рабочей поверхности дискового предплужника / И.С. Крук, Ф.И. Назаров, И.С. Назаров [и др.] // Агропанорама. – 2022. – № 4. – С. 14-18.
12. Программа и методика лабораторных исследований дискового предплужника / Е.В. Лещенко [и др.] // Современные тенденции развития сельскохозяйственного машиностроения, оснащения и технического сервиса в АПК: сборник науч. статей Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 6-7 июня 2023 г. / Белорус. гос. аграр.-техн. ун-т; редкол.: Крук И.С. [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2023. – С. 128-131.
13. Романцов, Ю.Ф. Дисковый предплужник для заделки измельченной соломы в почву / Ю.Ф. Романцов, В.А. Пшеничный // Проблемы механизации агрохимического обеспечения сельского хозяйства. – 2016. – № 10. – С. 220-222.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 04.02.2025

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА ПОРΟΣЯТ-СОСУНОВ ПРИ КОМБИНИРОВАННОМ ОБОГРЕВЕ

**М.А. Прищепов,**

*зав. каф. электрооборудования сельскохозяйственных предприятий БГАТУ, докт. техн. наук, профессор*

**Ю.Н. Селюк,**

*ст. преподаватель каф. практической подготовки студентов БГАТУ*

**Е.М. Прищепова,**

*доцент каф. электрооборудования сельскохозяйственных предприятий БГАТУ, канд. техн. наук, доцент*

**И.Г. Рутковский,**

*ст. преподаватель каф. электрооборудования сельскохозяйственных предприятий БГАТУ, канд. техн. наук*

*В статье предложена двумерная в напольном пространстве теплофизическая модель теплообмена поросенка при комбинированном обогреве, на основании которой разработаны математическая модель и алгоритм ее исследования, позволяющие рассчитывать характерные параметры процесса обогрева.*

*Ключевые слова: теплообмен поросят-сосудов, комбинированный обогрев, математическая модель.*

*The paper proposes a two-dimensional thermophysical model of piglet heat exchange at combined heating in the floor space, on the basis of which a mathematical model and an algorithm for its study are developed, allowing to calculate characteristic parameters of the heating process.*

*Key words: suckling piglet heat exchange, combined heating, mathematical model.*

### Введение

Согласно научно обоснованным нормам, ежегодное потребление мясных продуктов должно составлять не менее 52 кг на душу взрослого населения. Как свидетельствует практика развитых стран, эту задачу в значительной мере позволяет решить свиноводство, благодаря биологическим особенностям свиней (многоплодие, скороспелость, всеядность и высокий выход съедобной части туши), что позволяет быстро наращивать производство качественного мяса. Поэтому в мировом производстве мяса свинина занимает первое место, удельный вес ее составляет более 43 % (курятина – 29,5 %, говядина – 23,5 %, другие виды – 4 %). По прогнозу ФАО, рост потребления свинины до 2030 года составит около 6 %, несмотря на имеющуюся вспышку африканской чумы [1].

Этому в значительной мере способствует многоплодие и скороспелость свиней. В европейских странах на одну свиноматку получают до 30 поросят в год. Требования к условиям содержания поросят, в отличие от взрослых особей, имеют свои специфические особенности.

Поросята рождаются самыми незрелыми по сравнению с другими сельскохозяйственными животными. У них практически отсутствует подкожный жировой слой и волосяной покров, вследствие чего они практически не способны обеспечивать надлежащую терморегуляцию и сохранять образующуюся при обменных процессах теплоту. К тому же, теплоотдача у молодняка на единицу живой массы значи-

тельно больше, чем у взрослых животных, так как они имеют большую поверхность тела на единицу массы. После рождения в течение 2...3, иногда 4...7 дней, поросята, как правило, теряют 5...7 % живой массы за счет дегидратации организма [2]. Температура их тела удерживается на должном уровне благодаря терморегуляции, представляющей собой результат сложных процессов регулирования, управляющих как теплопродукцией (воздействие на процессы образования теплоты в организме), так и теплоотдачей в окружающую среду. Незрелость терморегуляционных процессов поросят раннего возраста, особенно в первые десять дней жизни, является одной из основных причин снижения их естественной резистентности (способности организма противостоять неблагоприятному воздействию факторов внешней среды). Поэтому на данный период приходится около 80 % отхода молодняка, третья часть которого связана с простудными заболеваниями. При этом резистентность организма не является постоянной величиной, а зависит от экологических условий, ослабевая при сильном переохлаждении и недостаточном питании.

Следовательно, для обеспечения высокой сохранности поросят-сосудов необходимо в помещениях их содержания обеспечивать нормируемую вентиляцию и температуру воздуха. Для обеспечения достаточного питания поросят-сосудов необходимо также поддерживать комфортную температуру для подсосных свиноматок, которая по данным [3, 4] составляет 13 °С, в то время как для супоросных свиноматок эта температура составляет 22 °С. Такая разли-



ца в температурах для супоросных и подсосных свиноматок объясняется тем, что подсосные свиноматки выделяют дополнительное количество теплоты при продуцировании молока. Если подсосную свиноматку содержать в период кормления поросят-сосунов при более высокой температуре, то она снизит потребление корма и, соответственно, продуцирование молока, что в конечном итоге приведет к недокорму поросят-сосунов, снижению их резистентности и роста. С другой стороны, снижение температуры ниже зоны комфорта приведет к повышению расхода корма для свиноматок, обусловленному необходимостью выработки тепла для их согревания.

Таким образом, при обеспечении температуры воздуха в свинарнике-маточнике возникает техническое противоречие. Температуру воздуха в помещении для свиноматок необходимо поддерживать в пределах 11...13 °С – нижний критический предел [5], 22 °С – верхний предел [6], а для поросят-сосунов – 35...20 °С в зависимости от возраста [7-9]. В этой связи, очевидно, что для обеспечения комфортного температурного режима для подсосных свиноматок и поросят-сосунов, необходимо использовать две системы обогрева – общую и локальную. При этом система локального обогрева должна быть комбинированной, т.е. обеспечивать снижение потерь теплоты от свободных участков тела животного и от контактирующих с напольным обогревателем.

Цель работы – разработать математическую модель теплообмена поросят-сосунов при комбинированном обогреве, а также алгоритм ее исследования.

### Основная часть

Известно, что с точки зрения теплотехники биологические системы подчиняются тем же общим законам, что и неживые [10]. Принципиальное отличие животного организма от однородного твердого тела состоит в том, что внутренняя теплопередача в живом теле обеспечивается, главным образом, циркулирующими жидкостями, что осложняет сравнительные аналогии. Однако моделирование теплообмена животного, когда его тепловыделения находятся на некотором оптимальном уровне, т.е. обеспечены комфортные или близкие к ним условия температуры окружающего воздуха и организм животного не испытывает каких-либо существенных напряжений функций терморегуляции, то можно считать, что передача теплоты от внутренних органов («ядра») к поверхности тела («оболочки») и последующая отдача ее в окружающую среду происходят только по законам теплопередачи.

Необходимо отметить, что не все участки поверхности животного имеют одинаковую температуру [11]. При исследованиях явной теплоотдачи организма человека установлено, что для упрощения выкладок целесообразно ввести понятие усредненной по площади температуры наружной поверхности тела [12]. На основании этого введем температуру поверхности кожного покрова поросенка  $\Theta_k$ , отражающую средневзвешенную температуру поверхности теплообмена. За показатель внутренней температуры тела («ядра»)  $\Theta_j$  физиологи обычно принимают ректаль-

ную температуру, которая наилучшим образом отражает среднюю температуру организма [13, 14].

В реальности поверхность теплообмена поросенка с комбинированным обогревателем имеет весьма сложную геометрическую форму, что значительно осложняет решение задачи. Для упрощения решения осуществляют замену формы животного эквивалентным по площади цилиндром с усеченной боковой поверхностью, контактирующей с напольным обогревателем.

Тогда цилиндр («ядро») радиусом  $r_T$  и длиной  $l_T$  со средним термическим коэффициентом сопротивления теплоизолирующего слоя  $\rho_T$  («оболочкой») толщиной  $\delta_{об}$  усеченной боковой поверхностью контактирует с напольным обогревателем, который можно представить в виде многослойной панели (плиты), состоящей из отдельных корпусно-изоляционных слоев, с равномерно распределенным по поверхности источником теплоты мощностью  $P_{пан}$ .

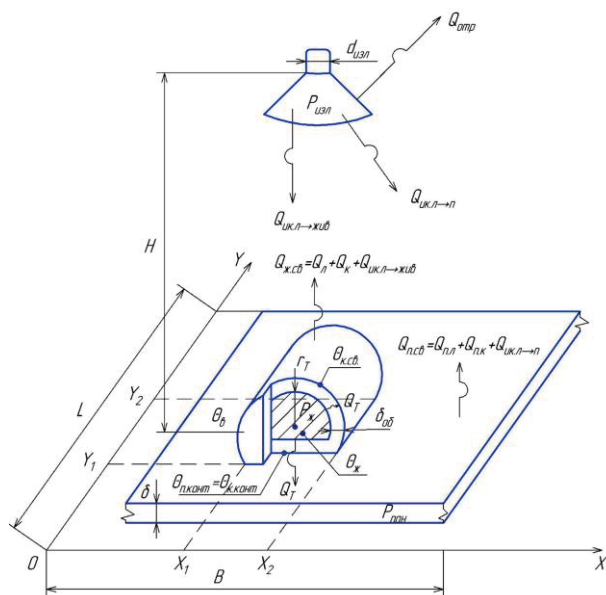
На расстоянии  $H$  от плиты расположен точечный ИК-излучатель, который условно можно представить в виде диска диаметром  $d_{изл}$ , расположенного своей наибольшей плоскостью параллельно напольному обогревателю. Для направленного действия лучистого потока имеется отражатель, степень черноты которого стремится к нулю.

Теплоотдача поверхности цилиндра (поросенка) осуществляется за счет конвекции  $Q_k$ , излучения  $Q_{пл}$  (свободной поверхностью) и теплопроводности  $Q_T$  (поверхности, контактирующей с панелью) (рис. 1).

В общем случае при теплообмене организма поросенка с окружающей средой имеет место также теплоотдача испарением. Однако при создании условий для физиологически необходимой теплоотдачи в явном виде ( $Q_k$ ,  $Q_{пл}$ ,  $Q_T$ ) роль потоотделения будет незначительной, а теплоту, расходуемую на испарение влаги, можно будет считать величиной постоянной [15]. Теплотери испарением не меняются и при создании одних и тех же температурных условий различными способами обогрева, например, при переходе с конвективного способа обогрева на конвективно-лучистый [16]. Кроме этого, при таком теплообмене суммарная теплоотдача испарением составляет менее 4 % теплопродукции организма [17-19], поэтому в инженерных расчетах ею можно пренебречь.

Теплоотдача со свободной поверхности напольной панели и ИК-излучателя мощностью  $P_{изл}$  осуществляется путем конвекции и излучения. При этом лучистая составляющая теплового потока ИК-излучателя направлена на свободную поверхность цилиндра (поросенка)  $Q_{ик.л \rightarrow жив}$  и напольной панели  $Q_{ик.л \rightarrow п}$ , а конвективный тепловой поток, нагревая внутреннюю поверхность отражателя, проходит через отражатель  $Q_{отр}$  и рассеивается с наружной поверхности в окружающую среду путем конвекции и излучения.

Как отмечалось выше, для поддержания необходимой температуры тела поросенка должно быть равновесие между образовавшейся теплотой в организме и поступившей извне, с одной стороны, и рассеиваемой теплотой в окружающую среду – с другой стороны. При этом через поверхностные слои тела поросенка («оболочку») проходит один и тот же тепловой поток



**Рисунок 1. Теплофизическая модель теплообмена поросенка при комбинированном обогреве**

$$Q_{ж} = Q^T = Q_{л} + Q_{к} + Q_{т}, \quad (1)$$

где  $Q^T$  – теплота, поступающая теплопроводностью от «ядра» поросенка к поверхности его кожного покрова, участвующего в теплообмене, Вт.

В общем виде  $Q^T$  можно описать уравнением передачи теплоты через стенку:

$$Q^T = \frac{1}{R_{пов}} \cdot (\Theta_{ж} - \Theta_{к}) \cdot F_{ж}, \quad (2)$$

где  $R_{пов}$  – термическое сопротивление теплопередаче «оболочки» тела поросенка, зависящее от толщины кожи и подкожного жирового слоя, ( $m^2 \cdot ^\circ C / W$ );

$\Theta_{ж}$  – температура «ядра» тела животного,  $^\circ C$ ;

$\Theta_{к}$  – температура на теплоотдающей поверхности кожного покрова животного,  $^\circ C$ .

Тогда, согласно принятой теплофизической модели (рис. 1), у поросенка в конвективном и лучистом теплообмене будет участвовать лишь свободная часть поверхности тела  $F_{ж.св}$ , которая составляет 0,8 общей площади [20], а в кондуктивном теплообмене с напольным обогревателем – оставшаяся часть, т. е.  $F_{ж.конт} = 0,2 \cdot F_{ж}$ . Общая площадь поверхности тела поросенка зависит от его массы  $P_{п}$  и находится по следующей формуле [20]:

$$F_{ж} = 0,092 \cdot P_{п}^{2/3}. \quad (3)$$

Массу поросенка можно вычислить исходя из его возраста в подсосный период по формуле, полученной по данным источника [21]:

$$P_{п} = 0,9 + 0,175 \cdot \tau, \quad (4)$$

где  $\tau$  – возраст поросенка от начала рождения, дн.

Длину тела животного  $L_{п}$  по оси  $Y$  напольного обогревателя можно также вычислить исходя из его возраста по формуле, полученной по данным источника [21]:

$$L_{п} = 22,3 + 0,69 \cdot \tau, \quad (5)$$

при этом согласно рисунку 1,  $L_{п} = Y_2 - Y_1$ .

Ширину зоны контакта тела поросенка с напольным обогревателем  $B_{п}$  по оси  $X$  можно вычислить из площади зоны контакта

$$B_{п} = (0,2 \cdot F_{ж}) / L_{п}, \quad (6)$$

при этом согласно рисунку 1,  $B_{п} = X_2 - X_1$ .

В процессе теплоотдачи со свободной поверхности тела животного наиболее важное место занимает  $Q_{л}$ , значение которой можно определить по формуле:

$$Q_{л} = \varepsilon \cdot C_0 \cdot \left[ \left( \frac{\Theta_{к.св} + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{\Theta_{в} + 273}{100} \right)^4 \right] \cdot F_{ж.св}, \quad (7)$$

где  $\varepsilon$  – степень черноты поверхности кожного покрова тела поросенка (согласно [22], примем  $\varepsilon=0,95$ );

$C_0 = 5,67 \text{ Вт}/(m^2 \cdot K^4)$  – излучение абсолютно черного тела;

$\Theta_{к.св}$  – температура кожного покрова свободной поверхности тела,  $^\circ C$ ;

$\Theta_{в}$  – температура окружающего воздуха,  $^\circ C$ .

Конвективный теплообмен свободной поверхности тела животного имеет место в силу разницы температур  $\Theta_{к.св}$  и  $\Theta_{в}$ , при этом  $Q_{к}$  определяется по формуле:

$$Q_{к} = \alpha_{к} \cdot (\Theta_{к.св} - \Theta_{в}) \cdot F_{ж.св}, \quad (8)$$

где  $\alpha_{к}$  – коэффициент конвективной теплоотдачи с поверхности кожного покрова,  $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ .

Определение  $\alpha_{к}$  животного является непростой задачей, зависящей от многих факторов, поэтому при инженерных расчетах  $\alpha_{к}$  для животных широко используется зависимость, применяемая при определении конвективных теплопотерь одетым человеком [23]

$$\alpha_{к} = \beta \cdot \beta_1 \cdot \sqrt[4]{\Theta_{од} - \Theta_{в}}, \quad (9)$$

где  $\Theta_{од}$  – температура поверхности одежды,  $^\circ C$ ;

$\beta, \beta_1$  – коэффициенты, зависящие от материала теплоотдающей поверхности, ее формы и расположения в пространстве.

При определении  $\alpha_{к}$  для поросенка К.Ю. Муринас [24] установил значение  $\beta \cdot \beta_1 = 2,5$ . Тогда с учетом этого формула для определения  $\alpha_{к}$  со свободной поверхности тела поросенка примет следующий вид:

$$\alpha_{к} = 2,5 \cdot \sqrt[4]{\Theta_{к.св} - \Theta_{в}}. \quad (10)$$

Составляющие  $Q_{л}$  и  $Q_{к}$  уравнения (1) определяют теплопотери организма животного со свободной поверхности тела, которая в представленной теплофизической модели подвергается ИК-облучению, при этом будем считать, что вся поверхность лежащего поросенка, участвующая в лучистом и конвективном теплообмене с окружающей средой, равномерно воспринимает лучистый тепловой поток ИК-излучателя.

В связи с этим и с учетом (2) условие теплового баланса свободной поверхности тела животного в установившемся режиме будет иметь вид:

$$Q_{ж.св} = (1 / R_{пов}) \cdot (\Theta_{ж} - \Theta_{к.св}) \cdot F_{ж.св} = Q_{л} + Q_{к} + Q_{ик.л \rightarrow жив}, \quad (11)$$

где  $Q_{ик.л \rightarrow жив}$  – лучистый тепловой поток ИК-излучателя, падающий на животное, Вт.

Для определения  $Q_{ик.л \rightarrow жив}$  воспользуемся выражением для расчета результирующего потока излучения при теплообмене между двумя телами, произвольно расположенными в пространстве [25]

$$Q_{1,2} = \frac{C_0 \cdot \bar{\varphi}_{1,2} \cdot F_1 \cdot \left[ (T_1 / 100)^4 - (T_2 / 100)^4 \right]}{1 + \bar{\varphi}_{1,2} \cdot ((1 / \varepsilon_1) - 1) + \bar{\varphi}_{2,1} \cdot ((1 / \varepsilon_2) - 1)}, \quad (12)$$

где  $\bar{\varphi}_{1,2}, \bar{\varphi}_{2,1}$  – средние угловые коэффициенты излучения, характеризующие долю энергии, которая попа-

даст с тела, имеющего конечную площадь поверхности, соответственно,  $F_1$  или  $F_2$ , на другое тело с конечной площадью поверхности, соответственно  $F_2$  или  $F_1$ , по отношению к полному потоку собственного излучения;

$\varepsilon_1, \varepsilon_2$  – коэффициенты поглощения тел с площадью, соответственно,  $F_1$  и  $F_2$ ;

$T_1, T_2$  – абсолютная температура этих тел, соответственно, °К.

Значения угловых коэффициентов излучения в общем случае, согласно [25], определяются интегрированием элементарных угловых коэффициентов излучения.

Однако, учитывая вышеприведенные допущения о том, что вся поверхность поросенка, участвующая в лучистом теплообмене, равномерно воспринимает лучистый тепловой поток ИК-излучателя, с достаточной для инженерных расчетов степенью точности можно принять:

$$\begin{cases} \varphi_{1,2} = \frac{F_2}{\pi} \cdot h_{cp}^2; \\ \varphi_{2,1} = \frac{F_1}{\pi} \cdot h_{cp}^2, \end{cases} \quad (13)$$

где  $h_{cp}$  – среднее расстояние между взаимоблучающимися поверхностями, м.

Вполне очевидно, что при решении уравнения теплового баланса свободной поверхности тела животного следует исходить из необходимости определения температуры на свободной поверхности кожного покрова

$$\Theta_{к.св} = \Theta_{жк} - (R_{пов} / F_{жк.св}) \times \\ \times [Q_{л}(\Theta_{к.св}) + Q_{к}(\Theta_{к.св}) + Q_{шк.л \rightarrow жк.тв}(\Theta_{к.св})]. \quad (15)$$

Поскольку представленное уравнение, полученное путем преобразования уравнения (11), нелинейное, то для его решения можно воспользоваться методом приближений, например, методом простых итераций. При этом, задавая начальное значение температуры  $\Theta_{к.св}$  и используя уравнение (15), находят ее расчетное значение, после чего сравнивают заданное значение с расчетным, и в случае их неравенства рассчитывают новое приближение, принимая предыдущее расчетное значение в качестве задаваемого, и так до тех пор, пока они не совпадут.

Что касается теплообмена поросенка в зоне, контактирующей с напольным обогревателем, то здесь, как отмечалось ранее, имеет место кондуктивная составляющая теплового баланса, величина которой зависит только от температуры поверхности кожного покрова в контактной зоне  $\Theta_{п.конт}$ , равной температуре напольного обогревателя в этой же зоне. При этом значение  $Q_{т}$  определяется тепловым потоком, прошедшим от внутренних частей тела («ядра») через наружные слои («оболочку»), контактирующие с напольным обогревателем, при наличии разности температур между внутренней температурой тела животного  $\Theta_{ж}$  и температурой контактной поверхности теплообмена  $\Theta_{к.конт}$

$$Q_{т} = (1/R_{пов}) \cdot (\Theta_{ж} - \Theta_{к.конт}) \cdot F_{ж.конт}, \quad (16)$$

где  $\Theta_{к.конт}$  – средняя температура кожного покрова в контактной зоне, °С.

Таким образом, при решении данного уравнения следует исходить из необходимости определения тем-

пературы на контактной поверхности кожного покрова  $\Theta_{к.конт}$ , соответствующей температуре напольного обогревателя в этой же зоне  $\Theta_{п.конт}$ .

Однако определение  $\Theta_{п.конт}$  является достаточно сложной теплофизической задачей, решение которой зависит от многих факторов. Известны попытки решения подобной задачи методом электрического моделирования системы «птица – напольный обогреватель» [26] и методом гидравлических аналогий – для поросят [27]. Эти способы так же, как и способы определения кондуктивных теплопотерь поросенком [24, 28, 29], не имеют достаточно серьезного обоснования и могут быть использованы лишь для ориентировочных расчетов. В этих исследованиях неадекватно отражается сложный характер распределения температурного поля обогревателя в контактной зоне, так как расчеты выполнены с некоторыми весьма серьезными допущениями. В частности, принято, что коэффициент теплопроводности вдоль теплоотдающей поверхности напольной панели равен нулю, удельный тепловой поток на ее теплоотдающей поверхности постоянный.

Несколько иные допущения были сделаны в работе [30] при попытке решения задачи теплообмена поросенка с комбинированным обогревателем методом электротепловой аналогии на основании формального совпадения законов Фурье:  $q = -\lambda \cdot grad \theta$ ; Стефана-Больцмана:  $q = -\alpha_{л} \cdot grad \theta$ ; Ньютона:  $q = -\alpha_{к} \cdot grad \theta$  с законом Ома:  $I = -(1/\rho) \cdot grad \varphi$ . При этом коэффициент теплопроводности вдоль теплоотдающей поверхности панели был принят равным бесконечности. В связи с этим панель по всей площади имела одинаковую температуру  $\Theta_{п}$ .

Сопоставление результатов расчета, полученных при исследовании указанной модели, с экспериментальными данными показало, что принятые допущения существенно влияют на моделируемый процесс, приводят к низкой адекватности его модели, и с точки зрения расчета теплового баланса организма поросенка, неприемлемы.

Таким образом, из анализа указанных выше работ [26-30] очевидно, что уравнения, описывающие теплообмен животного с напольным обогревателем, должны учитывать конечную величину коэффициента теплопроводности  $\lambda$  напольного обогревателя вдоль его теплоотдающей поверхности, а также температурный коэффициент  $\alpha_0$  резистивного нагревателя напольной панели.

В работе [9] при моделировании процесса теплообмена поросенка с напольной панелью при комбинированном обогреве эти допущения учтены, но моделирование проведено в одномерном пространстве, что снижает адекватность моделирования. Для повышения адекватности моделирования опишем процесс теплообмена поросенка с панелью в двумерном пространстве. Тогда в двумерном измерении стационарное температурное поле напольного обогревателя при питании его резистивного нагревателя от источника постоянного напряжения можно описать следующим дифференциальным уравнением второго порядка в частных производных:

$$\lambda\delta \frac{\partial^2 \Theta_{\text{п}}}{\partial X^2} + \lambda\delta \frac{\partial^2 \Theta_{\text{п}}}{\partial Y^2} + q_{\text{в.п}} + q_{\text{ж.конт}} + q_{\text{п.к}}^{\text{н}} + q_{\text{п.л}}^{\text{н}} = 0. \quad (17)$$

при  $X_1 \leq X \leq X_2$  и  $Y_1 \leq Y \leq Y_2$ ;

$$\lambda\delta \frac{\partial^2 \Theta_{\text{п}}}{\partial X^2} + \lambda\delta \frac{\partial^2 \Theta_{\text{п}}}{\partial Y^2} + q_{\text{в.п}} + q_{\text{икл} \rightarrow \text{п}} - q_{\text{п.к}}^{\text{в}} - q_{\text{п.к}}^{\text{н}} - q_{\text{п.л}}^{\text{в}} - q_{\text{п.л}}^{\text{н}} = 0. \quad (18)$$

при  $0 \leq X \leq X_1$  и  $X_2 \leq X \leq B$  и  $0 \leq Y \leq Y_1$  и  $Y_2 \leq Y \leq L$ ,

где  $\delta$  – толщина напольного обогревателя, м;  
 $X_2 - X_1 = B_{\text{п}}$  – ширина контакта животного с напольным обогревателем вдоль координаты  $X$ , м;  
 $Y_2 - Y_1 = L_{\text{п}}$  – длина контакта животного с напольным обогревателем вдоль координаты  $Y$ , м;  
 $q_{\text{в.п}} = j_{\text{п}}^2 \cdot \rho_{\text{п}} \cdot (1 + \alpha_0 \cdot \Theta_{\text{п}})$  – удельный тепловой поток резистивного нагревателя напольного обогревателя, Вт/м<sup>2</sup>;

$j_{\text{п}} = U / [\rho_{\text{п}} \cdot (1 + \alpha_0 \int_0^L \Theta_{\text{п}} dX)]$  – поверхностная плотность тока резистивного нагревателя напольного обогревателя, А/м<sup>2</sup>;

$U$  – напряжение питания резистивного нагревателя, В;

$q_{\text{ж.конт}} = Q_{\text{т}} / F_{\text{ж.конт}}$  – удельные теплотери животного в контактной зоне, Вт/м<sup>2</sup>;

$q_{\text{п.к}}^{\text{н}}, q_{\text{п.л}}^{\text{н}}$  – удельные конвективный и лучистый тепловые потоки с нижней поверхности обогревателя, Вт/м<sup>2</sup>;

$q_{\text{икл} \rightarrow \text{п}}$  – удельный лучистый тепловой поток ИК-излучателя, приходящийся на единицу поверхности обогревателя, свободной от животных, Вт/м<sup>2</sup>;

$q_{\text{п.к}}^{\text{в}}, q_{\text{п.л}}^{\text{в}}$  – удельные конвективный и лучистый тепловые потоки с верхней теплоотдающей поверхности обогревателя, Вт/м<sup>2</sup>.

Величина  $q_{\text{икл} \rightarrow \text{п}}$  определяется по формуле (12), при этом нужно предварительно рассчитать соответствующие угловые коэффициенты излучения по выражениям (13), (14) и разделить полученный результат на площадь обогревателя, свободную от животных.

Значения  $q_{\text{п.к}}$  и  $q_{\text{п.л}}$  определяются, соответственно, по формулам, используемым для расчета конвективной (8) и лучистой (7) составляющих теплопотерь свободной поверхности тела животного.

Однако определение температурного поля напольного обогревателя путем решения системы дифференциальных уравнений (17) возможно при условии работы напольного обогревателя без регулятора температуры, т.е. когда мощность нагревателя соответствует требуемой по условию обеспечения заданной температуры, что практически невозможно, так как температура обогревателя в процессе выращивания молодняка меняется. Поэтому вместо стационарной задачи теплообмена напольного обогревателя необходимо решать нестационарную задачу до того момента времени  $\tau$ , пока температура на обогревателе не достигнет заданной, при которой регулятор отключит его от напряжения питания  $U$ .

В таком случае рассмотрим нестационарную задачу распределения температурного поля напольного обогревателя:

$$c\rho\delta \frac{\partial \Theta_{\text{п}}}{\partial \tau} = \lambda\delta \frac{\partial^2 \Theta_{\text{п}}}{\partial X^2} + \lambda\delta \frac{\partial^2 \Theta_{\text{п}}}{\partial Y^2} + q_{\text{в.п}} + q_{\text{ж.конт}} - q_{\text{п.к}}^{\text{н}} - q_{\text{п.л}}^{\text{н}}. \quad (19)$$

при  $X_1 \leq X \leq X_2$  и  $Y_1 \leq Y \leq Y_2$ ;

$$c\rho\delta \frac{\partial \Theta_{\text{п}}}{\partial \tau} = \lambda\delta \frac{\partial^2 \Theta_{\text{п}}}{\partial X^2} + \lambda\delta \frac{\partial^2 \Theta_{\text{п}}}{\partial Y^2} + q_{\text{в.п}} + q_{\text{икл} \rightarrow \text{п}} - q_{\text{п.к}}^{\text{в}} - q_{\text{п.к}}^{\text{н}} - q_{\text{п.л}}^{\text{в}} - q_{\text{п.л}}^{\text{н}}. \quad (20)$$

при  $0 \leq X \leq X_1$  и  $X_2 \leq X \leq B$  и  $0 \leq Y \leq Y_1$  и  $Y_2 \leq Y \leq L$ .

Решение данной системы уравнений находят в виде температурного поля напольного обогревателя  $\Theta_{\text{п}}(X, Y, \tau)$  при заданных исходных данных и заданных краевых условиях.

При определении краевых условий следует исходить из реальных условий теплообмена на концах (торцах) напольного обогревателя в любой момент времени нагрева (граничные условия) и на всей его поверхности в начальный момент (начальные условия).

Учитывая, что толщина обогреваемой панели мала по сравнению с площадью теплоотдающей поверхности, а температура панели в начальный момент времени равна температуре воздуха, запишем граничные и начальные условия напольного обогревателя:

при  $x = 0$   $\Theta_{\text{п}} = \Theta_{\text{п} x=0}$ ;  $(\partial \Theta_{\text{п}} / \partial X)_{x=0} = 0$ ; (21)

при  $x = B$   $\Theta_{\text{п}} = \Theta_{\text{п} x=B}$ ;  $(\partial \Theta_{\text{п}} / \partial X)_{x=B} = 0$ ; (22)

при  $y = 0$   $\Theta_{\text{п}} = \Theta_{\text{п} y=0}$ ;  $(\partial \Theta_{\text{п}} / \partial Y)_{y=0} = 0$ ; (23)

при  $y = L$   $\Theta_{\text{п}} = \Theta_{\text{п} y=L}$ ;  $(\partial \Theta_{\text{п}} / \partial Y)_{y=L} = 0$ ; (24)

при  $\tau = 0$   $\Theta_{\text{п}} = \Theta_{\text{в} \tau=0}$ . (25)

Полученная система уравнений в частных производных второго порядка является нелинейной и не имеет точных аналитических решений. Для ее решения можно воспользоваться наиболее распространенным из числовых методов – методом конечных разностей [31, 32], позволяющим получить числовую таблицу приближенных значений искомого решения. При этом дифференциальные операторы исходных дифференциальных уравнений заменяются их приближенными значениями, выраженными через разности величин функций в отдельных дискретных точках («узлах») разностной сетки. В результате такой замены дифференциальные уравнения сводятся к алгебраическим системам, в которых неизвестны значения функции в узлах сетки. Для решения этих систем уравнений в двумерном пространстве введем разностную сетку с ячейками в виде прямоугольных параллелепипедов, для чего проводят три семейства плоскостей:

$$X_j = j \cdot h_x (j = 1, 2, 3, \dots, K), Y_i = i \cdot h_y (i = 1, 2, 3, \dots, M), \tau^n = \sum_{n=1}^N \tau_h.$$

Тогда значения сеточной функции – температуры напольной панели в узлах  $(X_j, Y_i, \tau^n)$  обозначим символом  $\Theta_{\text{п}ij}^{\text{н}}$ . Используя метод расщепления, т.е. разбивая расчет на одном шаге по времени от  $n$ -го к  $(n+1)$ -му слою на отдельные этапы расчета по осям  $X$  и  $Y$ , со-

гласно [32], строят продольно-поперечную разностную схему следующего вида для уравнения (19):

$$\begin{aligned}
 & C\rho\delta \frac{\Theta_{nij}^{n+1/2} - \Theta_{nij}^n}{\tau/2} = \frac{\lambda\delta}{h_y^2} \times \\
 & \times (\Theta_{ni+1,j}^{n+1/2} - 2\Theta_{nij}^{n+1/2} + \Theta_{ni-1,j}^{n+1/2}) + \\
 & + \frac{\lambda\delta}{h_x^2} (\Theta_{ni,j+1}^n - 2\Theta_{nij}^n + \Theta_{ni,j-1}^n) + \\
 & + q_{v,nij}^n + q_{ж.контij}^n - q_{п.кij}^n - q_{п.lij}^n; \quad (26) \\
 & C\rho\delta \frac{\Theta_{nij}^{n+1} - \Theta_{nij}^{n+1/2}}{\tau/2} = \frac{\lambda\delta}{h_y^2} \times \\
 & \times (\Theta_{ni+1,j}^{n+1/2} - 2\Theta_{nij}^{n+1/2} + \Theta_{ni-1,j}^{n+1/2}) + \\
 & + \frac{\lambda\delta}{h_x^2} (\Theta_{ni,j+1}^{n+1} - 2\Theta_{nij}^{n+1} + \Theta_{ni,j-1}^{n+1}) + \\
 & + q_{v,nij}^{n+1/2} + q_{ж.контij}^{n+1/2} - q_{п.кij}^{n+1/2} - q_{п.lij}^{n+1/2}. \quad (27)
 \end{aligned}$$

Соответственно, по аналогии для уравнения (20):

$$\begin{aligned}
 & C\rho\delta \frac{\Theta_{nij}^{n+1/2} - \Theta_{nij}^n}{\tau/2} = \frac{\lambda\delta}{h_y^2} \times \\
 & \times (\Theta_{ni+1,j}^{n+1/2} - 2\Theta_{nij}^{n+1/2} + \Theta_{ni-1,j}^{n+1/2}) + \\
 & + \frac{\lambda\delta}{h_x^2} (\Theta_{ni,j+1}^n - 2\Theta_{nij}^n + \Theta_{ni,j-1}^n) + q_{v,nij}^n + \\
 & + q_{икл \rightarrow nij}^n - q_{п.кij}^n - q_{п.кij}^n - q_{п.lij}^n - q_{п.lij}^n; \quad (28) \\
 & C\rho\delta \frac{\Theta_{nij}^{n+1} - \Theta_{nij}^{n+1/2}}{\tau/2} = \frac{\lambda\delta}{h_y^2} \times \\
 & \times (\Theta_{ni+1,j}^{n+1/2} - 2\Theta_{nij}^{n+1/2} + \Theta_{ni-1,j}^{n+1/2}) + \\
 & + \frac{\lambda\delta}{h_x^2} (\Theta_{ni,j+1}^{n+1} - 2\Theta_{nij}^{n+1} + \Theta_{ni,j-1}^{n+1}) + \\
 & + q_{v,nij}^{n+1/2} + q_{икл \rightarrow nij}^{n+1/2} - q_{п.кij}^{n+1/2} - \\
 & - q_{п.кij}^{n+1/2} - q_{п.lij}^{n+1/2} - q_{п.lij}^{n+1/2}. \quad (29)
 \end{aligned}$$

Суть этой схемы состоит в том, что шаг по времени  $\tau$  делится на два полушага. На первом из них вторая производная по координате  $Y$  аппроксимируется на промежуточном слое  $(n+1/2)$ , т. е. используется неявная аппроксимация. В этом случае  $\partial^2\Theta/\partial x^2$  аппроксимируется на слое  $n$ , т. е. явно. На втором полушаге, наоборот, неявная аппроксимация используется только по направлению  $X$ .

Далее уравнения (26), (27) преобразуем и перепишем в виде систем нелинейных алгебраических уравнений относительно значений искомых температур, соответственно, в узлах  $(n+1/2)$ -го и  $(n+1)$ -го слоев:

$$\begin{aligned}
 & \Theta_{ni-1,j}^{n+1/2} - 2\left(\frac{c\rho h_y^2}{\lambda\tau} + 1\right)\Theta_{nij}^{n+1/2} + \Theta_{ni+1,j}^{n+1/2} = -F_{ij}^n, \\
 & \text{где } F_{ij}^n = \left(\frac{h_y}{h_x}\right)^2 (\Theta_{ni,j+1}^n + \Theta_{ni,j-1}^n) + \\
 & + 2\left(\frac{c\rho h_y^2}{\lambda\tau} - \left(\frac{h_y}{h_x}\right)^2\right)\Theta_{nij}^n + \left(\frac{h_y^2}{\lambda\delta}\right)(q_{v,nij}^n + q_{ж.контij}^n - \\
 & - q_{п.кij}^n - q_{п.lij}^n); \quad (30)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \Theta_{ni,j-1}^{n+1} - 2\left(\frac{c\rho h_x^2}{\lambda\tau} + 1\right)\Theta_{nij}^{n+1} + \Theta_{ni,j+1}^{n+1} = -F_{ij}^{n+1/2}, \\
 & \text{где } F_{ij}^{n+1/2} = \left(\frac{h_x}{h_y}\right)^2 (\Theta_{ni+1,j}^{n+1/2} + \Theta_{ni-1,j}^{n+1/2}) + \\
 & + 2\left(\frac{c\rho h_x^2}{\lambda\tau} - \left(\frac{h_x}{h_y}\right)^2\right)\Theta_{nij}^{n+1/2} + \left(\frac{h_x^2}{\lambda\delta}\right) \times \\
 & \times (q_{v,nij}^{n+1/2} + q_{ж.контij}^{n+1/2} - q_{п.кij}^{n+1/2} - q_{п.lij}^{n+1/2}). \quad (31)
 \end{aligned}$$

Аналогичным образом преобразуем и уравнения (28) и (29):

$$\begin{aligned}
 & \Theta_{ni-1,j}^{n+1/2} - 2\left(\frac{c\rho h_y^2}{\lambda\tau} + 1\right)\Theta_{nij}^{n+1/2} + \Theta_{ni+1,j}^{n+1/2} = -F_{ij}^n, \\
 & \text{где } F_{ij}^n = \left(\frac{h_y}{h_x}\right)^2 (\Theta_{ni,j+1}^n + \Theta_{ni,j-1}^n) + \\
 & + 2\left(\frac{c\rho h_y^2}{\lambda\tau} - \left(\frac{h_y}{h_x}\right)^2\right)\Theta_{nij}^n + \left(\frac{h_y^2}{\lambda\delta}\right) \times \\
 & \times (q_{v,nij}^n + q_{икл \rightarrow nij}^n - q_{п.кij}^n - q_{п.кij}^n - q_{п.lij}^n - q_{п.lij}^n); \quad (32)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \Theta_{ni,j-1}^{n+1} - 2\left(\frac{c\rho h_x^2}{\lambda\tau} + 1\right)\Theta_{nij}^{n+1} + \Theta_{ni,j+1}^{n+1} = -F_{ij}^n, \\
 & \text{где } F_{ij}^n = \left(\frac{h_x}{h_y}\right)^2 (\Theta_{ni+1,j}^{n+1/2} + \Theta_{ni-1,j}^{n+1/2}) + \\
 & + 2\left(\frac{c\rho h_x^2}{\lambda\tau} - \left(\frac{h_x}{h_y}\right)^2\right)\Theta_{nij}^{n+1/2} + \left(\frac{h_x^2}{\lambda\delta}\right) \times \\
 & \times (q_{v,nij}^{n+1/2} + q_{икл \rightarrow nij}^{n+1/2} - q_{п.кij}^{n+1/2} - q_{п.кij}^{n+1/2} - \\
 & - q_{п.lij}^{n+1/2} - q_{п.lij}^{n+1/2}). \quad (33)
 \end{aligned}$$

Матрицы систем (30)-(33) трехдиагональные, поэтому для решения этих систем наиболее рациональный способ – метод прогонки. При этом сначала необходимо решить системы уравнений (30), (32), из которых находятся значения сеточной функции

$\Theta_{nij}^{n+1/2}$ . Эти значения используются затем для вычисления искомым значений  $\Theta_{nij}^{n+1}$  из системы (31), (33). При решении этих систем к ним необходимо добавить начальные условия (25) и соответствующие граничные условия (21), (24) на каждом из этих дробных по времени шагов.

Из граничных условий находят прогоночные коэффициенты  $\alpha$  и  $\beta$  на концах напольной панели. Для этого граничные условия при  $x=0$  приводим к виду:

$$\Theta_{ni1} = \alpha_{i1}\Theta_{ni2} + \beta_{i1}, i = 1, 2, \dots, M, \quad (34)$$

а при  $x=B$  – к виду:

$$\Theta_{niK} = \alpha_{iK}\Theta_{ni,K-1} + \beta_{iK}, i = 1, 2, \dots, M. \quad (35)$$

При  $y=0$  приводим к виду:

$$\Theta_{n1j} = \alpha_{1j}\Theta_{n2j} + \beta_{1j}, j = 1, 2, \dots, K, \quad (36)$$

а при  $y=L$  – к виду:

$$\Theta_{nMj} = \alpha_{Mj}\Theta_{nM-1,j} + \beta_{Mj}, j = 1, 2, \dots, K. \quad (37)$$

Тогда, записав разностные схемы для каждого из граничных условий и преобразовав их, получим следующие прогоночные коэффициенты для  $(n+1/2)$ -го и  $(n+1)$ -го слоев.

Для граничных условий:

$$\text{при } x = 0 \quad \Theta_{ni1} = \Theta_{ni2}; \quad \alpha_{i1} = 1; \quad \beta_{i1} = 0; \quad (38)$$

$$\text{при } x = L \quad \Theta_{niK} = \Theta_{ni,K-1}; \quad \alpha_{iK} = 1; \quad \beta_{iK} = 0; \quad (39)$$

$$\text{при } y = 0 \quad \Theta_{n1j} = \Theta_{n2j}; \quad \alpha_{1j} = 1; \quad \beta_{1j} = 0; \quad (40)$$

$$\text{при } y = L \quad \Theta_{nMj} = \Theta_{nM-1,j}; \quad \alpha_{Mj} = 1; \quad \beta_{Mj} = 0, \quad (41)$$

где  $i=1, 2, \dots, M, j=1, 2, \dots, K$ .

Вычислив прогоночные коэффициенты  $\alpha$  и  $\beta$  на границах напольной панели, определяют их значения в оставшихся внутренних точках по следующим рекуррентным формулам, соответственно, для  $(n+1/2)$ -го слоя:

$$\alpha_{ij} = -1 / \left( \alpha_{i-1,j} - 2 \left( \frac{c\rho h_y^2}{\lambda\tau} + 1 \right) \right); \quad (42)$$

$$\beta_{ij} = \alpha_{ij}(\beta_{i-1,j} + F_{ij}^n), \quad (43)$$

$i=2, 3, \dots, M-1, j=2, 3, \dots, K-1,$

и для  $(n+1)$ -го слоя:

$$\alpha_{ij} = -1 / \left( \alpha_{i,j-1} - 2 \left( \frac{c\rho h_x^2}{\lambda\tau} + 1 \right) \right); \quad (44)$$

$$\beta_{ij} = \alpha_{ij}(\beta_{i,j-1} + F_{ij}^{n+1/2}), \quad (45)$$

$i=2, 3, \dots, M-1, j=2, 3, \dots, K-1.$

После расчета прогоночных коэффициентов находят значения температуры в точках последних  $M$ -го и  $K$ -го рядов, соответственно, для  $(n+1/2)$ -го слоя:

$$\Theta_{nMj}^{n+1/2} = \frac{\alpha_{Mj}\beta_{M-1,j} + \beta_{Mj}}{1 - \alpha_{Mj}\alpha_{M-1,j}}, \quad (46)$$

$j=1, 2, \dots, K,$

и  $(n+1)$ -го слоя:

$$\Theta_{niK}^{n+1} = \frac{\alpha_{iK}\beta_{i,K-1} + \beta_{iK}}{1 - \alpha_{iK}\alpha_{i,K-1}}, \quad (47)$$

$i=1, 2, \dots, M.$

Далее определяют значения температуры напольной панели в оставшихся точках по рекуррентным формулам для  $(n+1/2)$ -го слоя:

$$\Theta_{nij}^{n+1/2} = \alpha_{ij}\Theta_{ni+1,j}^{n+1/2} + \beta_{ij}, \quad (48)$$

$i=M-1, M-2, \dots, 1, j=1, 2, \dots, K;$

для  $(n+1)$ -го слоя:

$$\Theta_{nij}^{n+1} = \alpha_{ij}\Theta_{ni,j+1}^{n+1} + \beta_{ij}, \quad (49)$$

$j=K-1, K-2, \dots, 1, i=1, 2, \dots, M.$

Решаемое уравнение трехмерное (двумерное в пространстве и одномерное во времени) нелинейное, поэтому его решают методом итераций для каждого временного слоя.

При решении приведенных нелинейных задач на каждом шаге по времени строится итерационный процесс и производится уточнение коэффициентов (в нашем случае коэффициента теплопередачи), зависящих от решения. В этих случаях целесообразно контролировать устойчивость вычислительного процесса по числу итераций, необходимых для получения требуемой точности. Если, например, число итераций на данном временном слое превышает заданное максимально допустимое число  $N_{\max} \sim 7 \dots 10$ , то временной шаг  $\tau^n$  уменьшается вдвое, и счет задачи повторяется для этого же временного слоя с уменьшенным шагом  $0,5 \cdot \tau^n$ . Если же необходимая точность вычислительного процесса достигается за число итераций, меньшее какого-то заданного числа  $N_{\min}$  (обычно  $N_{\min}=2$  или  $3$ ), то новый временной слой рассчитывается с  $\tau^{n+1}=1,3 \cdot \tau^n$ . В том случае, когда число итераций  $S$  находится в пределах  $N_{\min} \leq S \leq N_{\max}$ , очередной  $(n+1)$ -й слой рассчитывается с  $\tau^{n+1}=\tau^n$ . Соблюдение данного условия приводит к ведению вычислительно процесса с переменным шагом по времени. При этом достигается хорошая адекватность математической модели не только в статических, но и динамических режимах работы напольных панелей.

На рисунке 2 приведен обобщенный алгоритм расчета характеристик напольной панели установки комбинированного обогрева животных в двумерном пространстве.

### Заключение

1. Для обеспечения высокой сохранности поросят-сосунов в помещениях для их содержания необходимо поддерживать температуру воздуха на уровне  $35 \dots 20$  °С в зависимости от возраста, а для подсосных свиноматок –  $11 \dots 13$  °С, что является явным противоречием в режиме содержания разновозрастных животных. Содержание подсосных свиноматок при температуре выше  $13$  °С снижает их молокоотдачу, что приводит к недокорму поросят-сосунов и, соответственно, снижению их роста.

2. Создание требуемых температурных режимов для разных возрастных групп животных, находящихся в одном производственном помещении, возможно только при использовании системы общего обогрева помещения и средств местного обогрева поросят-сосунов, в частности, комбинированных установок, состоящих из напольных панелей и инфракрасных излучателей.

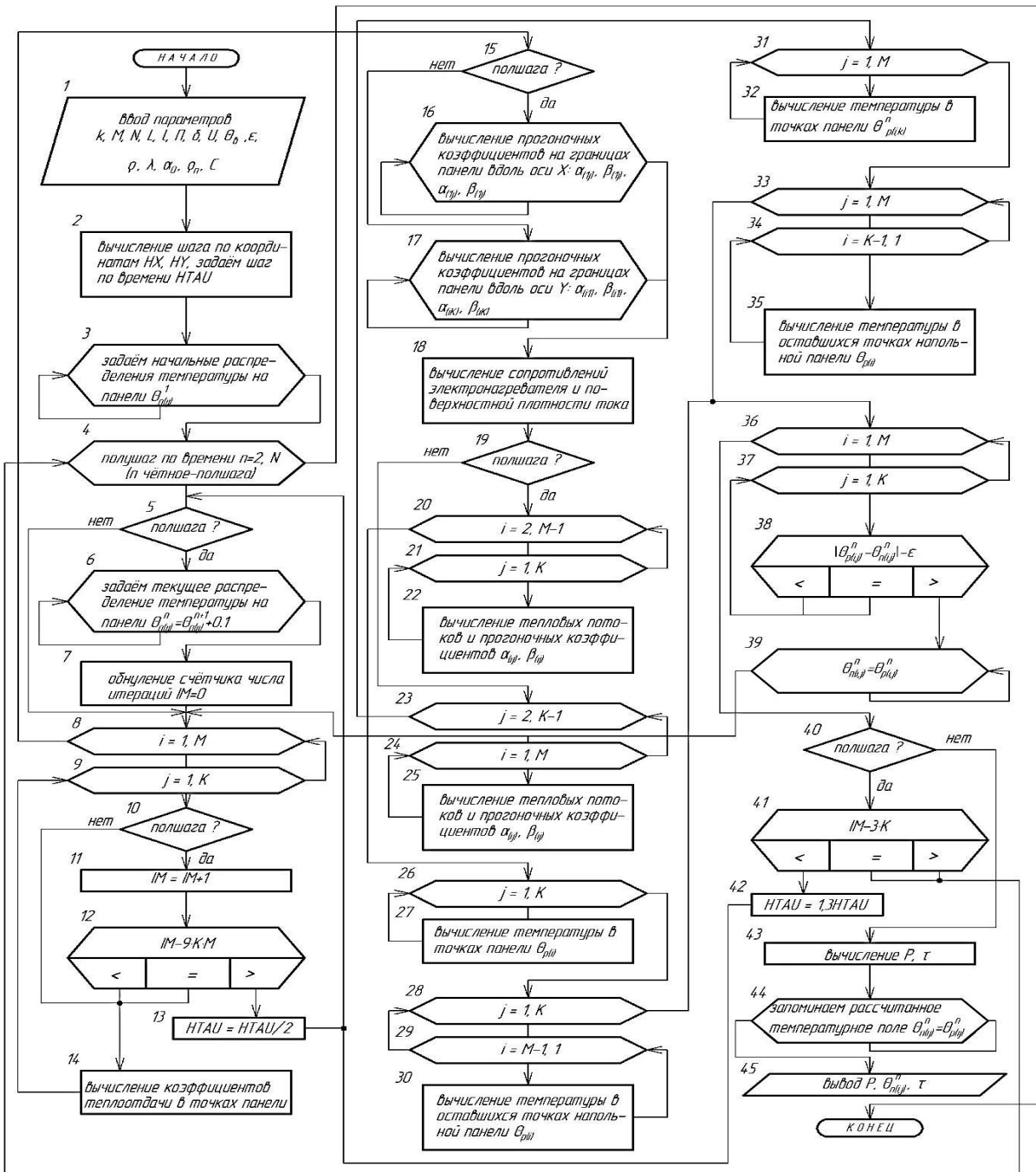


Рисунок 2. Алгоритм расчета характеристик напольных панелей в двумерном пространстве при комбинированном обогреве животных

3. При комбинированном обогреве животных теплоотдача от тела животного, которое можно представить в виде цилиндра с оболочкой и усеченной боковой поверхностью, контактирующей с напольной панелью, осуществляется теплопроводностью, со свободной поверхности – конвекцией и излучением.

4. Моделирование процесса теплообмена животных при комбинированном обогреве в одномерном пространстве, проведенное в работе [9] с учетом коэффициента теплопроводности напольного обогрева-

теля вдоль его теплоотдающей поверхности, а также температурного коэффициента резистивного нагревателя, показало хорошую адекватность, однако рассчитываемый тепловой поток, теряемый теплопроводностью частью тела животного, контактирующей с напольной панелью, имеет весьма приближенное значение из-за искажения одномерного температурного поля напольной панели в зоне контакта.

5. Предложенная двумерная в напольном пространстве математическая модель теплообмена жи-

вотного при комбинированном обогреве исключает указанные недостатки ранее используемых моделей. При этом разработанный алгоритм расчета характеристик напольной панели требует использования численных методов и ЭВМ.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Комлацкий, В.И. Биология и экология свиней: учеб. пособие / В.И. Комлацкий, Л.Ф. Величко, В.А. Величко. – Краснодар: КубГАУ, 2017. – 137 с.

2. Хэммонд, Дж. Биологические основы продуктивности животных / Дж. Хэммонд, Йоганссон, Ф. Хаинг // Руководство по разведению животных. – М., 1963. – Т. 1. – 503 с.

3. Винчестер, К. Окружающая среда и рост животных / К. Винчестер // Сельское хозяйство за рубежом. – 1965. – № 8. – С. 30-37.

4. Бабаев, А.Н. Влияние стрессовых факторов на организм свиней / А.Н. Бабаев, В.Д. Володарская // Сельское хозяйство за рубежом. – 1981. – № 1. – С. 53-55.

5. Эдди, С. Температурный режим при содержании свиней / С. Эдди // Свиноводство / ВНИИТЭИСХ, 1977. – № 9. – С. 26.

6. Понд, У. Дж. Биология свиньи / У. Дж. Понд, К.А. Хаупт; пер. с англ. – М.: Колос, 1983. – 334 с.

7. Кнап, И. Условия организации эффективности откорма свиней / И. Кнап // Международный сельскохозяйственный журнал. – 1965. – № 5. – С. 25-28.

8. Плященко, С.И. Естественная резистентность организма животных / С.И. Плященко, В.Г. Сидоров. – Л.: Колос, 1979. – 184 с.

9. Прищепов, М.А. Энергетическая эффективность систем обогрева поросят-сосунов / М.А. Прищепов. – Минск: БГАТУ, 1998. – 92 с.

10. Ажаев, А.М. Физико-гигиенические аспекты действия высоких и низких температур. Проблемы космической биологии / А.М. Ажаев. – М.: Наука, 1979. – Т. 38. – 264 с.

11. Голиков, А.Н. Адаптация сельскохозяйственных животных / А.Н. Голиков. – М.: Агропромиздат, 1985. – 215 с.

12. Windisch, K. Untersuchungen zur strahlungs / K. Windisch // Wärmeabgabe des Menschen – Stadt – und Gebäudetechnik, 1980. – № 4. – S. 110-113.

13. Дворников, А.Ф. К вопросу использования «внепиковой» электроэнергии для теплоснабжения / А.Ф. Дворников // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1971. – № 1. – С. 22-23.

14. Смолянский, Г.Б. Теплообмен и терморегуляция / Г.Б. Смолянский. – Петрозаводск: ПГУ, 1975. – 224 с.

15. Егназаров, А.Г. Отопление и вентиляция зданий и сооружений сельскохозяйственных комплексов / А.Г. Егназаров. – М.: Стройиздат, 1981. – 239 с.

16. Богомолов, А.И. Газовые горелки ИК-излучения и их применение / А.И. Богомолов, Д.Я. Виздорчик, М.А. Маевский. – М.: Стройиздат, 1967. – 254 с.

17. Кошечев, В.С. Физиология и гигиена индивидуальной защиты человека от холода / В.С. Кошечев. – М.: Медицина, 1981. – 288 с.

18. Левитин, И.Б. Применение ИК техники в народном хозяйстве / И.Б. Левитин. – Л.: Энергоиздат, 1981. – 264 с.

19. Онегов, А.П. Гигиена сельскохозяйственных животных / А.П. Онегов, И.Ф. Храбустовский, В.И. Черных. – М.: Колос, 1972. – 432 с.

20. Быстрицкий, Д.Н. Электрические установки инфракрасного излучения в животноводстве / Быстрицкий Д.Н., Н.Ф. Кожевникова, А.К. Ломцов, В.П. Муругов. – М.: Энергоиздат, 1981. – 152 с.

21. Петрухин, И.В. Биологические основы выращивания поросят / И.В. Петрухин. – М.: Россельхозиздат, 1970. – 239 с.

22. Кожевникова, Н.Ф. Выбор режима инфракрасного обогрева молодняка / Н.Ф. Кожевникова // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1978. – № 3. – С. 30-32.

23. Банхиди, Л. Тепловой микроклимат помещений / Л. Банхиди; пер. с венг. – М.: Стройиздат, 1981. – 248 с.

24. Муринас, К.Ю. исследование и разработка технических средств местного обогрева молодняка поросят в условиях Литовской ССР: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.02 / К.Ю. Муринас; Латвийская с.-х академия. – Елгава, 1967. – 22 с.

25. Исаченко, В.П. Теплопередача / В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел. – М.: Энергоиздат, 1981. – 416 с.

26. Герасимович, Л.С. Исследование и разработка напольных полупроводниковых пленочных электрообогревателей для молодняка птицы: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.02 / Л.С. Герасимович; ЦНИИМЭСХ НЗ СССР. – Минск, 1970. – 25 с.

27. Карелина, В.В. Исследование эффективности работы систем газового ИК локального обогрева в помещениях свинарников-маточников животноводческих комплексов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.02 / В.В. Карелина; МИСИ. – М., 1977. – 20 с.

28. Плященко, С.И. Микроклимат и продуктивность животных / С.И. Плященко, Н.И. Хохлова. – Л.: Колос, 1976. – 208 с.

29. Беляева, С.К. Исследование энергетики технических средств локального обогрева в свинарниках-маточниках: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.02 / С.К. Беляева; ВИЭСХ. – М., 1978. – 20 с.

30. Кисель, А.К. Разработка тепловой модели комбинированного электрообогревателя поросят-сосунов / А.К. Кисель // Низкотемпературные поверхностно-распределенные электронагреватели в сельском хозяйстве: сборник науч. трудов. – Горки, 1985. – Вып. 124. – С. 12-19.

31. Берковский, Б.М. Разностные методы исследования задач теплообмена / Б.М. Берковский, Е.Ф. Ногогов. – Минск: Наука і тэхніка, 1975. – 114 с.

32. Самарский, А.А. Теория разностных схем / А.А. Самарский. – М.: Наука, 1983. – 616 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 13.02.2025



## ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ МОБИЛЬНЫХ МАШИН

**Е.К. Волкова,**

*доцент каф. корпоративных финансов БГУ, канд. экон. наук*

**В.Е. Тарасенко,**

*зав. каф. технологий и организации технического сервиса БГАТУ, канд. техн. наук, доцент*

**К.В. Щурин,**

*профессор каф. механики материалов и деталей машин БГАТУ, докт. техн. наук, профессор*

*В статье представлен подробный анализ внутренних показателей ремонтпригодности – эксплуатационной и ремонтной технологичности, их влияния на другие показатели надежности и в целом на экономическую эффективность мобильной машины в процессе эксплуатации. Показатели надежности и их комбинации тесно коррелированы, нормируются проектантами и заводами-изготовителями по принципу «необходимо и достаточно», и назначаются с использованием критериев оптимизации, основным из которых является экономическая эффективность. Предложенный метод технико-экономического анализа показателей надежности послужил основой для разработки предметно ориентированного программно-вычислительного комплекса, апробированного применительно к показателям надежности большегрузных тракторных прицепов.*

*Ключевые слова: безотказность, долговечность, ремонтпригодность, сохраняемость, эксплуатационная технологичность, ремонтная технологичность, экономический эффект.*

*The article presents a detailed analysis of internal indicators of maintainability - operational and repair manufacturability, their impact on other reliability indicators and, in general, on the economic efficiency of a mobile machine during operation. Reliability indicators and their combinations are closely correlated, standardized by designers and manufacturers according to the principle of "necessary and sufficiently" and assigned using optimization criteria, the main of which is economic efficiency. The proposed method of technical and economic analysis of reliability indicators served as the basis for the development of a subject-oriented software and computing complex, tested in relation to the reliability indicators of heavy-duty tractor trailers.*

*Key words: failure-free operation, durability, maintainability, storability, operational manufacturability, repair manufacturability, economic effect.*

### Введение

В настоящее время со стороны стран «коллективного Запада» введены неправомерные экономические санкции в отношении ряда суверенных государств, реализующих независимую политику. Эти меры в основном направлены на подрыв ранее сформированных внешнеэкономических связей независимых стран, действующих в рамках системы международного разделения труда. В сложившейся ситуации для обеспечения экономической безопасности нашей страны необходимо некоторое корректирование государственной технической политики, направленной, прежде всего, на определение приоритетов при формировании показателей технического уровня мобильных машин (ММ) собственного производства. Среди них особое место занимает надежность – интегральный показатель, определяемый оптимальным сочетанием составляющих комплексных показателей

надежности (ПН), таких как безотказность, долговечность, ремонтпригодность, сохраняемость.

Надежность – это качество, распределенное во времени. Повышение ПН продукции машиностроения должно осуществляться с учетом экономической целесообразности, так как границы повышения ПН определяются не только совокупностью желаемых технических параметров, но и их экономической эффективностью. Это объясняется тем, что современный уровень развития техники и технологий позволяет достичь практически любых значений ПН, и все сводится только к финансовым затратам на достижение поставленной цели. Такие затраты могут быть столь высоки, что эффект от повышения надежности объекта не возместит их, и суммарный результат от проведенных мероприятий будет отрицательным [1-8].

Целью настоящей работы является разработка методики технико-экономического обоснования по-

казателей эксплуатационной надежности мобильных машин с учетом особенностей их эксплуатационной и ремонтной технологичности.

### Основная часть

К основным факторам, влияющим на ПН, относятся следующие:

- характеризующие особенности конструкции ММ;
- характера и режимов эксплуатации, использования ММ по назначению;
- последствий отказа узлов и деталей ММ (характеризующиеся размером обобщенного ущерба);
- функциональной структуры (отражающие наличие в объекте различных видов избыточности – структурной, временной, информативной, энергетической);
- организации использования ММ по назначению (отражающие организационную и материальную структуру технической эксплуатации).

При использовании ММ по назначению к числу факторов, влияющих на ПН, добавляются климатические условия, интенсивность и культура эксплуатации [9].

Во многих случаях мероприятия по повышению надежности не требуют существенных затрат, а их реализация может достигаться, например, методами оптимизации [2; 10; 13-14]. Однако и в этом случае необходимо проводить сравнение различных вариантов достижения требуемого уровня надежности по условию получения наибольшего суммарного экономического эффекта (ЭЭ) с учетом затрат при производстве и эксплуатации ММ, а также положительного ЭЭ, полученного при ее использовании по назначению. В общем случае изменение во времени суммарного ЭЭ при эксплуатации ММ складывается под влиянием двух основных факторов [11].

Во-первых, необходимо учитывать затраты на изготовление новой ММ  $Q_n$ , включая ее проектирование, изготовление, испытание, отладку, транспортировку к месту работы и другие, а также затраты на эксплуатацию  $Q_э$ , включая обслуживание, ремонт, профилактические мероприятия. Эти затраты  $Q_n + Q_э$  являются отрицательными в балансе эффективности. С другой стороны, главным показателем является работа ММ, которая в зависимости от ее целевого назначения дает положительный экономический эффект  $Q_p$  (прибыль).

Экономический показатель надежности  $K_э$  определяется как отношение суммы всех затрат, связанных с изготовлением  $Q_n$  и эксплуатацией  $Q_э$  ММ, к длительности ее эксплуатации  $T_э$

$$K_э = \frac{Q_n + Q_э}{T_э} \quad (1)$$

Следует стремиться к минимизации этого показателя за счет рационального распределения капиталовложений между сферами производства и эксплуатации.

Экономическая эффективность повышения надежности может рассчитываться как по ее комплексным составляющим – безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости, так и по обобщающим показателям – коэффициенту технической готовности и коэффициенту технического использования.

Повышение безотказности характеризуется увеличением наработки на отказ или вероятности безотказной работы, а также параметром потока отказов [2; 12-15]. При этом эксплуатационные издержки определяются или за год работы ММ в расчете на единицу выпущенной продукции (выполненной работы), или в расчете на единицу полезного эффекта, что предпочтительнее. Повышение безотказности приводит к увеличению времени эффективной работы ММ за счет уменьшения времени простоя в ходе ремонта, что равносильно повышению роста производительности ММ.

Основными показателями долговечности являются – ресурс и срок службы [2; 13-15]. Повышение долговечности равнозначно дополнительному выпуску ММ серийного и массового производства, поскольку ММ с увеличенным сроком службы ежегодно переносит на выпускаемую ею продукцию (выполненную работу) меньшую часть своей балансовой стоимости, уменьшая тем самым стоимость выпущенной продукции.

Ремонтопригодность ММ в современных реалиях является важнейшим показателем технического уровня, формирующим другие комплексные показатели надежности, прежде всего, безотказность и долговечность. Обобщающими составляющими ремонтпригодности являются – эксплуатационная и ремонтная технологичность.

Эксплуатационная технологичность характеризует приспособленность ММ к проведению всех видов технических обслуживаний и эксплуатационных (текущих) ремонтов и представляет собой отношение удельной трудоемкости технического обслуживания ( $T_{то}$ ) ММ к номинальному значению ее основного параметра  $N$ :

$$R_{то} = \frac{T_{то}}{l_{то} \cdot N} \cdot 1000 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^s \left( \frac{T_{ij}^{yb}}{l_{ij}^{yb}} + \frac{T_{ij}^{cm}}{l_{ij}^{cm}} + \frac{T_{ij}^{kp}}{l_{ij}^{kp}} + \frac{T_{ij}^p}{l_{ij}^p} \right) \cdot \beta_{ij} \cdot \frac{1}{N} \cdot 1000, \quad (2)$$

где  $m$  – количество регламентных операций технических обслуживаний конкретного вида;

$s$  – количество видов технических обслуживаний за эксплуатационный цикл;

$T_{ij}^{yb}$ ,  $T_{ij}^{cm}$ ,  $T_{ij}^{kp}$ ,  $T_{ij}^p$  – средние трудоемкости выполнения  $i$ -й регламентной операции, соответственно, оборочных, смазочно-очистительных, крепежных и регулировочных работ  $j$ -го вида обслуживания, чел.-ч;

$\beta_{ij}$  – коэффициент сложности конструкции при выполнении  $i$ -й регламентной операции  $j$ -го вида технического обслуживания;

$N$  – основной параметр ММ;

$l_{ij}$  – периодичность выполнения  $i$ -й операции  $j$ -го вида обслуживания.

Показатель эксплуатационной технологичности по текущему ремонту  $R_{тр}$  представляет собой отношение удельной трудоемкости текущего ремонта ( $T_{тр}$ ) к номинальному значению его основного параметра

$$R_{тр} = \frac{T_{тр}}{l_{тр} \cdot N} \cdot 1000 = \frac{\sum_{i=1}^b \sum_{j=1}^c T_{ij}^{TR}}{l_i^{TR} \cdot N} \cdot 1000, \quad (3)$$

где  $T_{ij}^{TR}$  – средняя трудоемкость (основная и дополнительная)  $i$ -го текущего ремонта по  $j$ -му агрегату, узлу, детали, чел.-ч;

$b$  – количество одноименных текущих ремонтов по  $j$ -му агрегату, узлу, детали;

$c$  – количество агрегатов, узлов деталей, подвергшихся текущему ремонту за определенный период эксплуатации;

$l_i^{TP}$  – средняя наработка агрегата, узла, детали за определенный период эксплуатации.

Уровень эксплуатационной технологичности по техническому обслуживанию  $K_{УТО}$  позволяет произвести сравнительную оценку эксплуатационной технологичности ММ по отношению к существующим аналогам-образцам отечественного и зарубежного производства или к базовому показателю технологичности конструкции, принятому за исходный

$$K_{УТО} = \frac{R_{ТО}^{нов}}{R_{ТО}^{баз}}, \quad (4)$$

где  $R_{ТО}^{нов}$  – показатель эксплуатационной технологичности по текущему обслуживанию новой конструкции изделия;

$R_{ТО}^{баз}$  – показатель эксплуатационной технологичности по текущему обслуживанию базовой конструкции изделия.

Ремонтная технологичность является свойством конструкции ММ и ее составных частей, которое характеризует приспособленность к ремонтным работам, осуществляемым с целью восстановления потенциала работоспособности для обеспечения нормированного ресурса при оптимальных затратах труда, материалов, времени и средств.

Для количественной оценки ремонтной технологичности узла применяют показатель  $P_{РТ}^y$ , учитывающий ремонтную технологичность входящих в него деталей и приспособленность к разборочно-сборочным работам [16]:

$$P_{РТ}^y = \frac{\sum_{i=1}^e T_i^{oc} K_{ki}^{oc}}{\sum_{i=1}^e T_i^{oc} K_{ki}^{oc} + \sum_{j=1}^f T_j^{bc} K_{kj}^{bc}} \cdot \frac{\sum_{q=1}^{n_{\Sigma}^y} P_{РТ}^D}{\sum_{q=1}^{n_{\Sigma}^y} S_q^D}, \quad (5)$$

где  $e$  – количество основных разборочно-сборочных операций;

$f$  – количество вспомогательных разборочно-сборочных операций;

$T_i$  – трудоемкость  $i$ -й основной разборочно-сборочной операции ремонта узла, чел.-ч;

$T_j$  – трудоемкость  $j$ -й вспомогательной разборочно-сборочной операции ремонта узла, чел.-ч;

$K_{ki}$  – коэффициент квалификации работ  $i$ -й основной операции ремонта узла;

$K_{kj}$  – коэффициент квалификации работ  $j$ -й вспомогательной операции ремонта узла;

$n_{\Sigma}^y$  – количество деталей, входящих в узел;

$P_{РТ}^D$  – показатель ремонтной технологичности  $q$ -й детали;

$S_q^D$  – стоимость  $q$ -й детали.

Коэффициент экономической целесообразности ремонта детали определяется:

$$K_{\mathcal{E}} = \frac{C_{Д}^{и}}{C_{Д}^{и} + C_{Д}^{р}}, \quad (6)$$

где  $C_{Д}^{и}$  – преискурная стоимость новой детали, руб.;

$C_{Д}^{р}$  – затраты на ремонт детали, руб.

Улучшение ремонтпригодности ММ формирует ЭЭ, аналогичный возникающему при росте показателей безотказности и долговечности. При одинаковых назначенных ПН эффективнее будет работа ММ с повышенной ремонтпригодностью.

Сохраняемость объектов характеризуется средним или установленным сроком сохраняемости и во многом определяется условиями транспортирования и хранения. Повышение показателей сохраняемости приводит к снижению (иногда значительному) сопутствующих затрат потребителя на монтаж, приведение ММ в работоспособное состояние.

Анализ ПН позволяет представить расчетную зависимость для определения годового ЭЭ в общем виде:

$$\mathcal{E} = \left[ \begin{aligned} & (C_1 + E_H K_1) \frac{B_2}{B_1} \cdot \frac{P_1 + E_H}{P_2 + E_H} + \\ & + \frac{(I_1' - I_2') - E_H (K_2' - K_1')}{P_2 + E_H} - (C_2 + E_H K_2) \end{aligned} \right] A_2, \quad (7)$$

где  $C_1$  – себестоимость единицы продукции до повышения надежности;

$C_2$  – себестоимость единицы продукции после повышения надежности;

$E_H = 0,15$  – нормативный коэффициент экономической эффективности;

$K_1$  – удельные капитальные вложения в производственные фонды до повышения ПН;

$K_2$  – удельные капитальные вложения в производственные фонды после повышения ПН;

$B_1$  – годовые объемы продукции (работы), производимой одной ММ до повышения надежности;

$B_2$  – годовые объемы продукции (работы), производимой одной ММ после повышения надежности;

$I_1'$  – среднегодовые эксплуатационные издержки потребителя до повышения надежности в расчете на объем продукции (работы), производимой ММ с повышенной надежностью;

$I_2'$  – среднегодовые эксплуатационные издержки потребителя после повышения надежности в расчете на объем продукции (работы), производимой ММ с повышенной надежностью;

$K_1'$  – сопутствующие капитальные вложения потребителя (без учета стоимости оцениваемых ММ) до повышения надежности в расчете на объем продукции (работы), производимой ММ с повышенной надежностью;

$K_2'$  – сопутствующие капитальные вложения потребителя (без учета стоимости оцениваемых ММ) после повышения надежности в расчете на объем продукции (работы), производимой ММ с повышенной надежностью;

$P_1$  – доля отчислений от балансовой стоимости на полное восстановление (реновацию) до повышения ПН;

$P_2$  – доля отчислений от балансовой стоимости на полное восстановление (реновацию) после повышения ПН;

$A_2$  – годовой объем производства ММ с повышенными ПН в расчетном году.

При повышении безотказности годовой ЭЭ равен

$$\mathcal{E} = \left[ \begin{aligned} & (C_1 + E_H K_1) \frac{B_2}{B_1} + \\ & + \frac{(I_1' - I_2') - E_H (K_2' - K_1')}{P_2 + E_H} - (C_2 + E_H K_2) \end{aligned} \right] A_2. \quad (8)$$

Основные экономические преимущества повышения безотказности выражаются в увеличении коэффициента учета производительности  $B_2/B_1$  в связи с уменьшением количества отказов, снижением годовых эксплуатационных издержек  $I_2$  в расчете на ММ, более высокой производительности и экономии сопутствующих капитальных вложений ( $K_2' - K_1'$ ) в связи с ростом производительности ММ.

Годовой ЭЭ от повышения долговечности рассчитывается по формуле:

$$\mathcal{E} = \left[ \begin{aligned} & (C_1 + E_H K_1') \frac{P_1 + E_H}{P_2 + E_H} + \\ & + \frac{(I_1' - I_2') - E_H (K_2' - K_1')}{P_2 + E_H} - (C_2 + E_H K_2) \end{aligned} \right] A_2. \quad (9)$$

ЭЭ от повышения ремонтпригодности будет также определяться по формуле (9), а основные экономические последствия будут связаны с уменьшением длительности простоев в связи с уменьшением времени на поиск и устранение отказов.

Годовой ЭЭ от повышения сохраняемости выражается в сокращении затрат на монтаж, наладку, приведение ММ в работоспособное состояние и сокращение сроков освоения проектной мощности:

$$\mathcal{E} = \left[ \begin{aligned} & (C_1 + E_H K_1) + \\ & + \frac{(I_1' - I_2') - E_H (K_2' - K_1')}{P_2 + E_H} - (C_2 + E_H K_2) \end{aligned} \right] A_2; \quad (10)$$

$$\mathcal{E} = B_2 \frac{\Delta t}{12} (\mathcal{C} - C) A_2, \quad (11)$$

где  $\Delta t$  – сокращение длительности освоения проектной мощности (месяцы);

$\mathcal{C}$  – цена продукции (работы), произведенной ММ с повышенной надежностью;

$C$  – себестоимость продукции, произведенной ММ с повышенной надежностью.

Кроме основного ЭЭ, определяемого по формулам (7) – (11), при повышении показателей надежности некоторых видов ММ возможно формирование дополнительного ЭЭ в сопряженных сферах. Его определяют по величине предотвращенного в результате повышения надежности ущерба исходя из технологических особенностей эксплуатации конкретных ММ. Продукцию тракторного и сельскохозяйственного машиностроения оценивают, прежде всего, по критериям повышения урожайности, уменьшения потерь сельскохозяйственной продукции и снижения экологического ущерба.

Сбор исходных данных для проведения расчета экономической эффективности осуществляется двумя основными методами: статистической обработки информации с использованием корреляционного анализа и методами прогнозирования [1; 5; 10]. Дополнительные текущие затраты на повышение надежности  $c(f(n))$  могут определяться прямым счетом, если известны конкретные мероприятия по повышению ПН. В этом случае необходимо определить затраты на эти мероприятия

$$c_1(f(n)) = c_p + c_3 + c_c + c_v + c_m + c_{пр}, \quad (12)$$

где  $c_p$  – затраты на резервирование;

$c_3$  – затраты на замену узлов и деталей, часто выходящих из строя, на более совершенные по конструктивному исполнению, материалам, применяемой технологии изготовления и т. д.;

$c_c$  – затраты на совершенствование методов контроля;

$c_v$  – затраты на введение дополнительных контрольных операций;

$c_m$  – затраты на совершенствование методов испытаний;

$c_{пр}$  – прочие затраты.

Повышение показателей безотказности и ремонтпригодности ММ позволяет увеличить время эффективной работы ММ за счет уменьшения количества отказов и сокращения времени на поиск и устранение отказов. В этом случае можно считать:

$$\Delta K = \sum_1^t K_i (1 + E)^{t-1}. \quad (13)$$

При этом коэффициент учета производительности

$$\frac{B_2}{B_1} = \frac{T_\partial - K_{отк2} t_{y2}}{T_\partial - K_{отк1} t_{y1}}, \quad (14)$$

где  $T_\partial$  – плановый годовой фонд времени работы ММ с учетом коэффициента сменности и времени простоя в плановых ремонтах и техническом обслуживании;

$K_{отк1}$  и  $K_{отк2}$  – число внезапных отказов за год у ММ с исходной и повышенной безотказностью;

$t_{y1}$  и  $t_{y2}$  – время устранения одного отказа у ММ с исходной и повышенной ремонтпригодностью.

Плановый годовой фонд времени работы ММ устанавливается исходя из средних условий эксплуатации.

Данные о количестве отказов и длительности их устранения принимаются как на основании величин, указанных в нормативно-технической документации, так и по данным испытаний (уточненный расчет).

Повышение долговечности характеризуется коэффициентом учета изменения срока службы  $(P_1 + E_H) / (P_2 + E_H)$ .

Доля отчислений от балансовой стоимости на полное восстановление (реновацию) определяется в зависимости от срока службы

$$P_i = \frac{1}{T_{\text{сп}}} \text{ или } P = \frac{E_H}{(1 + E_H)^{T_{\text{сп}} - 1}}, \quad (15)$$

где  $T_{\text{сп}}$  – срок службы до списания с учетом морального износа.

Изменение сопутствующих капитальных вложений при эксплуатации определяется без учета изменения стоимости (цены) ММ с повышенными ПН в расчете на объем продукции (работы), производимой такой ММ. В тех случаях, когда сопутствующие капитальные вложения не изменяются, учитывается только изменение производительности ММ с повышенными ПН:

$$K'_2 = K'_1 \frac{B_1}{B_2}. \quad (16)$$

При этом

$$\frac{B_2}{B_1} = \frac{T_o - K_{\text{отк2}} t_{\gamma 2}}{T_o - K_{\text{отк1}} t_{\gamma 1}}. \quad (17)$$

Величины единовременных и текущих затрат можно осуществлять прямым счетом или исходя из нормативов, разработанных на проведение этих мероприятий.

При замене одной сборочной единицы, детали или крепежа другими себестоимость вычисляется по формуле:

$$C_2 = C_1 - C_{3i} + C_{3i}, \quad (18)$$

где  $C_{3i}$  – стоимость исключаемой детали;

$C_{3i}$  – стоимость детали, устанавливаемой взамен.

При использовании другого материала для детали, лимитирующей надежность, оценка себестоимости осуществляется по формуле:

$$C_2 = C_1 - N_3 \Pi_3 + N_B \Pi_B, \quad (19)$$

где  $N_3$  и  $N_B$  – норма расхода исключаемого и вновь вводимого материала;

$\Pi_3$  и  $\Pi_B$  – цена исключаемого и вновь вводимого материала.

При введении дополнительных узлов и деталей (резервирование, блокировка, автоконтролирующие и саморегулирующие устройства и т. д.) себестоимость рассчитывается по формуле:

$$C_2 = C_1 + \sum_1^n C_{3i}, \quad (20)$$

где  $n$  – количество узлов и деталей.

Мероприятия, осуществляемые на стадии эксплуатации, связаны с изменением текущих затрат как в изготовлении, так и в эксплуатации.

Оптимизация системы технического обслуживания, ремонта и диагностирования связана с изменением текущих издержек.

При уменьшении периодичности и увеличении объемов технических обслуживаний и текущих ремонтов

$$I_2 = I_1 + \sum_1^n \left( \frac{\Gamma_{\phi}}{T''_{oi}} C''_{oi} - \frac{\Gamma_{\phi}}{T'_{oi}} C'_{oi} \right) - \left( \frac{\Gamma_{\phi}}{T''_{\text{ТР}}} C''_{\text{ТР}} - \frac{\Gamma_{\phi}}{T'_{\text{ТР}}} C'_{\text{ТР}} \right), \quad (21)$$

где  $\Gamma_{\phi}$  – годовой фонд времени работы ММ;

$T'_{oi}$  и  $T''_{oi}$  – периодичность технического обслуживания  $i$ -го вида до и после проведения работ по повышению ПН;

$C'_{oi}$  и  $C''_{oi}$  – стоимость технического обслуживания  $i$ -го вида до и после проведения работ по повышению ПН;

$T'_{\text{ТР}}$  и  $T''_{\text{ТР}}$  – периодичность проведения текущих ремонтов до и после проведения работ по повышению ПН;

$C'_{\text{ТР}}$  и  $C''_{\text{ТР}}$  – стоимость текущего ремонта до и после проведения работ по повышению ПН.

Капитальные вложения в результате изменения номенклатуры и количества запасных частей:

$$K'_2 = K'_1 \pm \sum_1^k C_{3\phi i} (\gamma_{1i} - \gamma_{2i}), \quad (22)$$

где  $C_{3\phi i}$  – стоимость запасных частей  $i$ -го вида;

$\gamma_{1i}$  и  $\gamma_{2i}$  – норма расхода запасных частей  $i$ -го вида до и после изменения ПН;

$k$  – количество видов запасных частей.

### Заключение

Надежность сложных технических систем – интегральный многокритериальный показатель, и выборочное увеличение любого ПН чаще всего является тупиковым решением вследствие несоразмерного возрастания затрат на его обеспечение. Рациональной концепцией оптимизации ПН является соблюдение базового принципа оптимизации – «необходимо и достаточно».

Предложенная методика технико-экономического обоснования показателей эксплуатационной надежности является прямым следствием выполненных исследований, эффект от которых заключается в апробировании разработанной методики применительно к выбору рациональных показателей ремонтпригодности большегрузных тракторных прицепов.

Приведенные в настоящей работе методы определения рациональных значений ПН являются основой разрабатываемого авторами программно-вычислительного комплекса оптимизации ПН – одного из главных инструментов повышения технического уровня продукции машиностроения.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Шкарина, Т.Ю. Экономика качества: учеб. пособие / Т.Ю. Шкарина // Владивосток: ТГЭУ. – 2008. – 144 с.

2. Щурин, К.В. Надежность мобильных машин: учебник для вузов / К.В. Щурин, В.Е. Тарасенко. – СПб.: Лань, 2024. – 400 с.

3. Щурин, К.В. Формирование алгоритма нормирования показателей надежности технических систем / К.В. Щурин, В.Е. Тарасенко, В.Н. Еднач // Механика машин, механизмов и материалов. – 2024. – № 1 (66). – С. 15-23.

4. Панин, И.Г. Техничко-экономический анализ мероприятий по повышению надежности сложных систем / И.Г. Панин, Е.К. Волкова, К.В. Щурин // Информационно-технологический вестник. – 2017. – № 3. – С. 39-55.

5. Экономика качества: учебник / Е.В. Нежников [и др.] – 2-е изд. – М.: Дашков и К°, 2019. – 216 с.

6. Синельников, В.М. Экономика технического сервиса: учеб. пособие для вузов / В.М. Синельников. – Минск: БГАТУ, 2020. – 246 с.

7. Технический сервис машин и основы проектирования предприятий: учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности: «Механизация сельского хозяйства» / М.И. Юдин [и др.]. – Краснодар: Кубанский гос. аграрный ун-т, 2007. – 968 с.

8. Организация технического сервиса машин и оборудования. Практикум: учеб. пособие для вузов / Ю.А. Кузнецов, И.Н. Кравченко, П.В. Сенин [и др.]. – СПб.: Лань, 2022. – 536 с.

9. Щурин, К.В. Корректирование периодичности операций технического сервиса мобильных машин с

учетом жесткости климата / К.В. Щурин, В.Е. Тарасенко // Механика машин, механизмов и материалов. – 2023. – № 2 (63). – С. 14-24.

10. Щурин, К.В. Планирование и организация эксперимента: учеб. пособие для вузов / К.В. Щурин, Е.К. Волкова. – СПб.: Лань, 2022. – 336 с.

11. Тарасенко, В.Е. Формирование номенклатуры и количества запасных частей при восстановлении работоспособности мобильных машин / В.Е. Тарасенко, К.В. Щурин // Агропанорама. – 2024. – № 5 (165). – С. 23-29.

12. Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения: ГОСТ 18322–2016; введен 01.09.2017 г. – М.: Стандартинформ, 2017. – 15 с.

13. Журавлев, С.Ю. Основы надежности машин: учеб. пособие / С.Ю. Журавлев. – Красноярск, 2021. – 251 с.

14. Зубарев, Ю.М. Технологическое обеспечение надежности эксплуатации машин: учеб. пособие / Ю.М. Зубарев. – СПб.: Лань, 2018. – 320 с.

15. Шишмарев, В.Ю. Надежность технических систем: учебник для вузов / В.Ю. Шишмарев. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Юрайт, 2024. – 289 с.

16. Щурин, К.В. Надежность мобильных машин / К.В. Щурин; Оренбургский государственный университет. – Оренбург: ОГУ, 2010. – 585 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 26.12.2024

При верстке журнала № 6/2024, с. 25 допущена ошибка.  
Следует читать: (рис. 6)

Изготовитель	Компонент	Тип	Серийные номера				
<b>Bosch</b>	<b>CR1</b>	<b>1 MV</b>	1. 0490-2525				
Типовой номер	Обозначение						
<b>0445120074</b>	<b>CRIN 2</b>						
Тестплан	P, бар	t, мкс	U, В	n, 1/мин	Tбак, °С	Подача, см³	Обратка, см³
Leak test	1600	---	---	---	37,2°	---	0,0 - 70,0
		FM	Результат	---	Тобр, °С	Подача, см³	Обратка, см³
		1	✗		---	---	<b>276,5</b>
Тестплан	P, бар	t, мкс	U, В	n, 1/мин	Tбак, °С	Подача, см³	Обратка, см³
VL1	1600	1600	---	400	32,5°	178,5 - 198,9	5,0 - 80,0
		FM	Результат	---	Тобр, °С	Подача, см³	Обратка, см³
		1	✗		---	<b>242,5</b>	<b>756,0</b>
Тестплан	P, бар	t, мкс	U, В	n, 1/мин	Tбак, °С	Подача, см³	Обратка, см³
VL2	1200	2000	---	400	35,6°	185,8 - 206,6	---
		FM	Результат	---	Тобр, °С	Подача, см³	Обратка, см³
		1	✗		---	<b>243,3</b>	---
Тестплан	P, бар	t, мкс	U, В	n, 1/мин	Tбак, °С	Подача, см³	Обратка, см³
EM	700	400	---	1000	38,2°	1,3 - 11,5	---
		FM	Результат	---	Тобр, °С	Подача, см³	Обратка, см³
		1	✓		---	9,30	---
Тестплан	P, бар	t, мкс	U, В	n, 1/мин	Tбак, °С	Подача, см³	Обратка, см³
LL	400	400	---	1000	35,0°	0,4 - 6,0	---
		FM	Результат	---	Тобр, °С	Подача, см³	Обратка, см³
		1	✓		---	<b>4,69</b>	---

Рисунок 6. Результаты (тест-план) диагностирования форсунки на стенде

УДК 621.432/004.932

<https://doi.org/10.56619/2078-7138-2025-167-1-29-36>

## МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПРЕСС-ТЕСТИРОВАНИЯ МОТОРНЫХ МАСЕЛ, ОСНОВАННЫЕ НА ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА IMAGEJ

### ЧАСТЬ 2. ЦВЕТОВЫЕ МОДЕЛИ И ВОЗМОЖНОСТИ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ ПРИ КОЛОРИМЕТРИЧЕСКИХ МЕТОДАХ

**В.К. Корнеева,**

*доцент каф. технологии металлов БГАТУ, канд. техн. наук, доцент*

**В.М. Капцевич,**

*зав. каф. технологии металлов БГАТУ, докт. техн. наук, профессор*

**В.В. Остриков,**

*магистрант каф. технологии металлов БГАТУ*

*В статье рассмотрены основные цветовые пространства RGB, HSB и CIE Lab, позволяющие более информативно характеризовать цветное изображение. Расширены возможности колориметрических методов оценки цвета моторного масла за счет использования плагина «Color Inspector 3D» программного комплекса ImageJ. Определены цветовые координаты моторных масел в основных цветовых пространствах и проведено их сравнение с соответствующими значениями цветовых координат балльной шкалы ASTM D 1500.*

*Ключевые слова: моторное масло, метод оценки цвета, цветовое пространство, цветовые координаты, ImageJ, «Color Inspector 3D».*

*The article considers the basic RGB, HSB and CIE Lab color spaces, which allow characterizing color image more informatively. The possibilities of colorimetric methods of motor oil color evaluation are extended by using the plug-in “Color Inspector 3D” of the ImageJ software package. The color coordinates of motor oils in the main color spaces are determined and compared with the corresponding values of the color coordinates of the ASTM D 1500 point scale.*

*Key words: motor oil, color evaluation method, color space, color coordinates, ImageJ, «Color Inspector 3D».*

#### Введение

Цвет является одной из основных характеристик моторных масел, по изменению которого можно судить как об изменении состояния самого масла, так и о процессах, протекающих в системах ДВС при его эксплуатации [1]. Изменение цвета масла обусловлено его термическим разложением, попаданием топлива, воды, продуктов износа и сажи. Так, при обводнении масла при неисправности системы охлаждения его цвет становится мутным, при попадании сажи из-за нарушения системы топливоподачи оно может резко чернеть, а при окислении в результате старения – цвет приобретает красновато-коричневые оттенки [2].

Одним из методов контроля за изменением цвета моторного масла является оценка цвета по ASTM D 1500 [3, 4]. Для осуществления этого метода используются различные приборы – колориметры: ЦНТ (РФ), Цвет-ПХП (РФ), Koehler Instrument

K13290 (США), Huazheng Electric HZSD-29 (КНР) и другие (рис. 1).

Принцип действия колориметров основан на визуальном сравнении цвета моторного масла, помещенного в кюветы, с цветом 16 стандартных стеклянных светофильтров с заданными значениями координат цветности, соответствующими шкале ASTM D 1500, с баллами от 0 до 8 через 0,5 единиц [5]. Такие приборы, имеющие высокую стоимость, позволяют проводить оценку цвета моторного масла только в лабораторных условиях.

Для проведения исследований в полевых условиях АПК ранее было рекомендовано [6] проводить сравнение цвета пробы моторного масла непосредственно с изображением цветовых элементов шкалы ASTM D 1500. Однако такая органолептическая оценка является субъективной и трудоемкой. Поэтому авторами было предложено [7] проводить анализ цифровых изображений моторных масел, полученных с помощью камеры фотоаппарата или смартфона, с



**а б в г**

Рисунок 1. Колориметры: а – ЦНТ; б – Цвет-ПХП; в – Koehler Instrument K13290; г – Huazheng Electric HZSD-29

использованием компьютерных технологий, в частности программного комплекса *ImageJ*.

В предыдущей работе (часть I) [7] предложена методика анализа цвета моторного масла, основанная на анализе изображений в оттенках серого. Такие изображения состоят из черных и белых пикселей, каждый из которых имеет 256 комбинаций оттенков серого. Для цветных изображений пиксели содержат информацию для трех основных цветовых каналов: красного, зеленого и синего, причем интенсивность каждого канала варьируется от 0 до 255. Поэтому сочетание этих трех основных каналов может создать 16777216 цветовых комбинаций для каждого пикселя. В отличие от изображения в оттенках серого анализ цветного изображения дает возможность в широком диапазоне цветов контролировать такие характеристики, как тон, насыщенность, яркость, что позволяет более информативно различать объекты даже при едва заметных различиях в цвете.

Представление цвета как сложного физического явления, характеризуемого длиной волны отраженного света, ее амплитудой и частотой, не нашло применения на практике. Поэтому для описания цвета при решении практических задач рассматриваются системы – цветовые пространства, описываемые в виде цветовых моделей с различными цветовыми координатами (тон, насыщенность, яркость и др.) [8].

При проведении колориметрического анализа программа *ImageJ* позволяет представить цифровые цветные изображения, используя различные цветовые пространства.

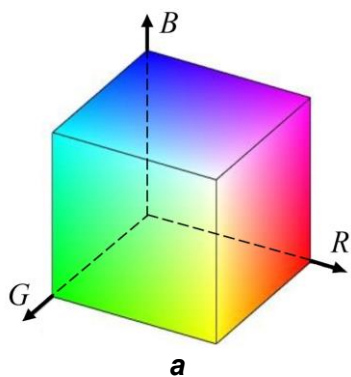
Целью второй части данной работы является развитие колориметрического метода количественной оценки цвета моторного масла, основанного на его сравнении с цветом шкалы *ASTM D 1500* в различных цветовых пространствах.

### Основная часть

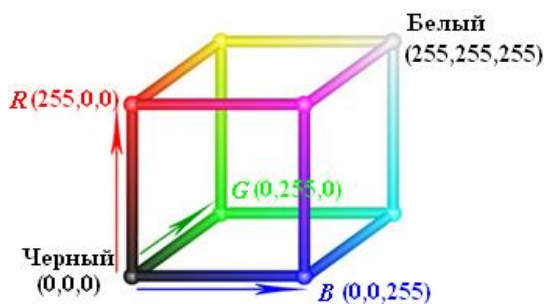
Для представления шкалы *ASTM D 1500* предлагается использовать цветовые пространства *RGB*, *HSB* и *CIE Lab* [9, 10], которые описываются в виде трехмерных моделей с определенными цветовыми координатами в различных диапазонах их значений.

Цветовое пространство *RGB* (рис. 2) описывается аддитивной моделью представления цвета объекта с помощью сочетания трех основных цветов: *R (Red)* – красный; *G (Green)* – зеленый; *B (Blue)* – синий (рис. 2а). Модель *RGB* можно представить в виде куба, в котором любой цвет задается точкой с цветовыми координатами основных цветов (*R*, *G* и *B*) соответствующей интенсивности, изменяющейся от 0 до 255 (рис. 2б). В этом случае код цвета записывается в виде перечисления цветовых координат основных цветов (*R*, *G*, *B*), разделенных запятой. Например, для зеленого – 000, 255, 000.

Цветовое пространство *HSB* (рис. 3) описывается перцепционной (интуитивной) моделью представления цвета с помощью комбинации трех базовых параметров: цветового тона *H (Hue)*, насыщенности *S (Saturation)* и яркости *B (Brightness)* (рис. 3а). Эту модель можно представить в виде цилиндра, в кото-



**а**



**б**

Рисунок 2. Цветовое пространство RGB: а – визуальное представление модели; б – цветовые координаты



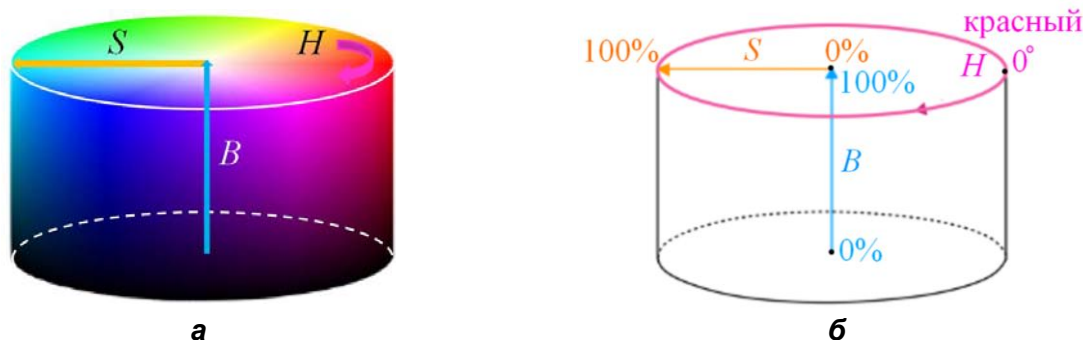


Рисунок 3. Цветовое пространство HSB: а – визуальное представление модели; б – цветовые координаты

ром любой цвет задается точкой с координатами базовых параметров: цветовой тон  $H$  – значением угла на периферии основания цилиндра от  $0^\circ$  (красный) через все цвета видимого спектра до  $360^\circ$  (красный); насыщенность  $S$  – радиальной координатой от 0 % (центр основания цилиндра) до 100 % (на периферии); яркость  $B$  – координатой по высоте цилиндра от 0 % (нижнее основание) до 100 % (верхнее основание) (рис. 3б). Код цвета цветовой модели HSB записывается в виде перечисления цветовых координат ( $H, S, B$ ), разделенных запятой. Например, для зеленого цвета –  $120^\circ, 100\%, 100\%$ .

Цветовое пространство CIE Lab (рис. 4) описывается аппаратно-независимой моделью представления цвета с помощью комбинации трех базовых параметров: светлоты  $L$  (lightness) и двух хроматических составляющих в цветовых гаммах:  $a$  – от зеленого цвета до красного и  $b$  – от синего до желтого (рис. 4а). В цветовой модели CIE Lab любой цвет задается точкой с координатами базовых параметров ( $L, a$  и  $b$ ):  $L$  – координата по высоте от 0 (черный цвет) до 100 (белый цвет); хроматическая составляющая  $a$  – от  $-128$  (зеленый цвет) до  $+127$  (красный цвет); хроматическая составляющая  $b$  – от  $-128$  (синий цвет) до  $+127$  (желтый цвет) (рис. 4б). Код цвета цветовой модели CIE Lab записывается в виде перечисления цветовых координат ( $L, a, b$ ), разделенных запятой. Например, для зеленого цвета –  $100, -128, 0$ .

Одним из достоинств ImageJ является наличие программных модулей – плагинов, позволяющих значительно расширить функциональные возможности ком-

плекса. В настоящее время в базовый дистрибутив ImageJ включены более 1000 плагинов, состав которых можно обновлять с сайта ImageJ, а также дополнять разработанными непосредственно пользователем.

Для количественного анализа цвета нашли применение плагины – «Color Profiler», «RGB Profiler», «Color Inspector 3D», «JJP Color», «3D Surface Plot», «Volume Viewer» и другие, представляющие собой инструменты для калибровки, визуализации, преобразования цветовых данных, определения цветовых координат и т.д.

Для анализа цвета моторного масла в пространствах RGB, HSB и CIE Lab особый интерес представляет плагин «Color Inspector 3D» [11-13]. Этот плагин позволяет визуализировать цифровое изображение в 14 различных трехмерных цветовых пространствах (Color Space) (RGB, YCbCr, YIQ, YCgCo, HSB, HSV, HSL, HMMD, xyY, XYZ, Lab, Luv, KLT/PCA), менять угол наклона моделей пространств, определять цветовые координаты для каждой из них, представлять модели в различных видах отображения и др.

Применяемый плагин активируется в строке меню программы ImageJ путем выбора команд Plugins → Color Inspector 3D в виде отдельного окна (рис. 5). Далее открываем изображение шкалы ASTM D 1500 (File → Open → выбранный файл) и получаем ее 3D-изображение в цветовой модели RGB (рис. 6).

Для получения изображения шкалы в других моделях выбираем последовательность команд Color Space → выбранный вид цветового пространства (рис. 7). Например, HSB (рис. 7а), CIE Lab (рис. 7б).

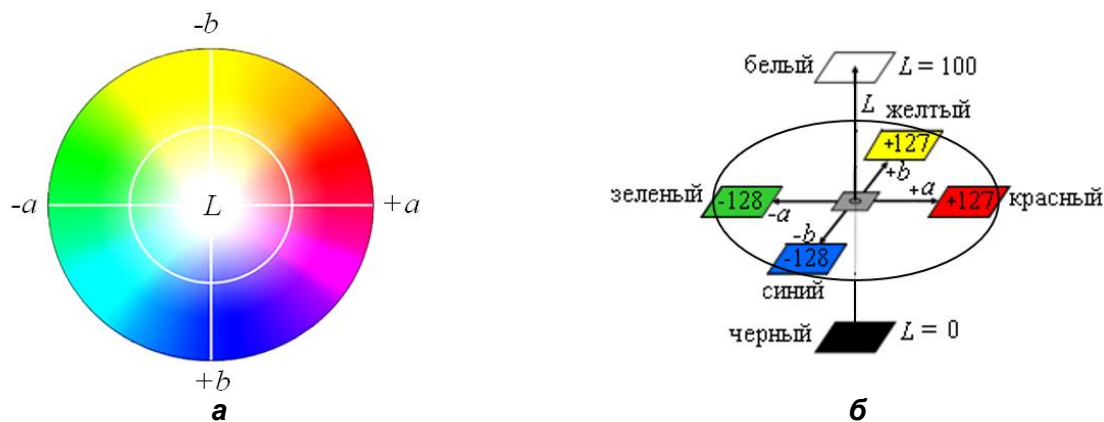


Рисунок 4. Цветовое пространство CIE Lab: а – визуальное представление модели; б – цветовые координаты

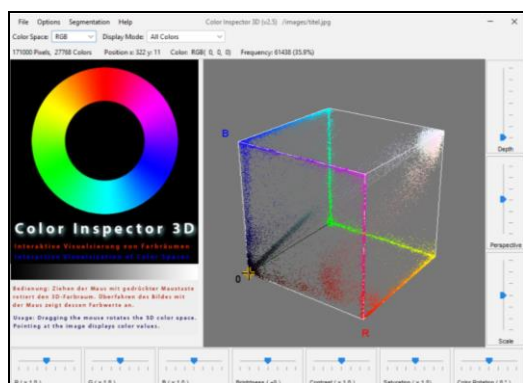


Рисунок 5. Интерфейс плагина Color Inspector 3D

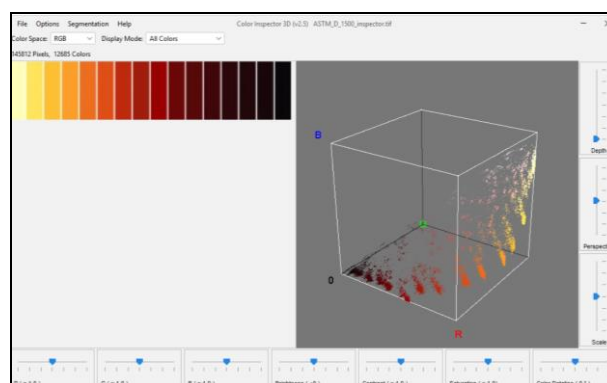
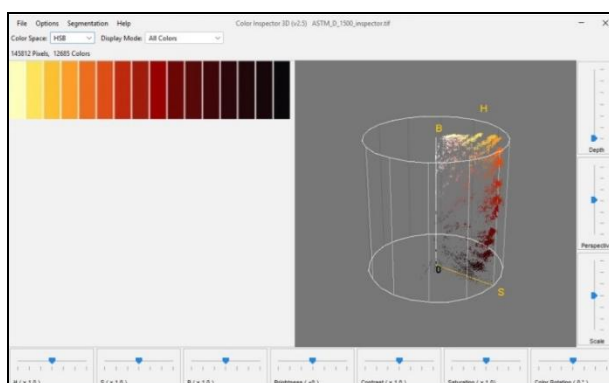
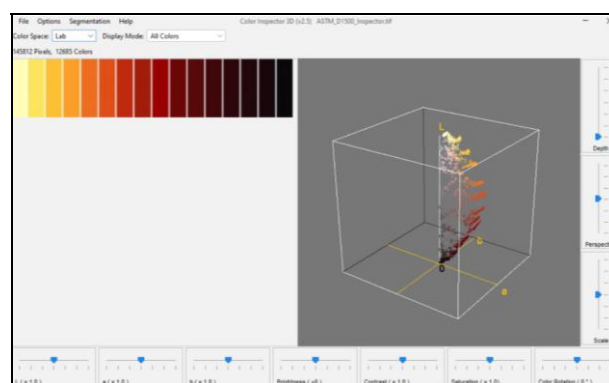


Рисунок 6. Шкала ASTM D 1500 в плагине Color Inspector 3D (модель RGB)



**а**



**б**

Рисунок 7. Шкала ASTM D 1500 в плагине Color Inspector 3D: а – модель HSB; б – модель CIE Lab

Плагин *Color Inspector 3D* позволяет выбирать пять видов отображения 3D-изображений (*Display Mode*):

- «*All Colors*» – отображаются все цвета независимо от их частоты в виде отдельных точек;

- «*Frequency Weighted*» – отображаются цвета в виде отдельных точек, количество которых в зависимости от частоты можно регулировать настройкой с помощью ползунка «*Weight*»;

- «*Histogram*» – отображаются близкие по цвету, объединенные в сферические ячейки с размером, пропорциональным частоте цветов, при этом количество ячеек можно регулировать настройкой с помощью ползунка «*Number of Color Cells*»;

- «*Median Cut*» – отображается уменьшенное с помощью метода медианного сечения [14] количество цветов, объединенных в сферические ячейки с размером, пропорциональным частоте цветов, при этом количество цветов можно регулировать настройкой с помощью ползунка «*Colors*»;

- «*Wu Quant*» – отображается уменьшенное с помощью алгоритма *Xiaolin Wu* [15] количество цветов, объединенных в сферические ячейки с размером, пропорциональным частоте цветов, при этом количество цветов можно регулировать настройкой с помощью ползунка «*Number of Colors*». Этот вид отображения используется при определении цветовых координат.

В качестве примера на рисунке 8 представлены 3D-изображения шкалы *ASTM D 1500* в цветовой мо-

дели *CIE Lab* при рассмотренных выше видах отображения.

Для определения цветовых координат для каждой заданной цветовой модели необходимо выбрать вид отображения «*Wu Quant*», вид цветового пространства (например, *HSB*) и навести курсор мыши на исследуемый элемент изображения шкалы *ASTM D 1500* (рис. 9). В приведенном примере в строке состояния отобразятся значения цветовых координат для модели *HSB* и соответствующие им значения для модели *RGB*.

Полученные значения цветовых координат для рассматриваемых моделей *RGB*, *HSB* и *CIE Lab* балльной шкалы *ASTM D 1500* представлены на рисунках 10-12.

Для обоснования работоспособности метода количественной оценки цвета моторного масла в различных цветовых пространствах определим цветовые координаты пяти моторных масел, оценка которых приведена в баллах шкалы *ASTM D 1500* (рис. 13) [5]. После чего проведем сравнение полученных значений цветовых координат с соответствующими значениями цветовых координат балльной шкалы *ASTM D 1500*.

На рисунке 14 представлены 3D-изображения анализируемых моторных масел в рассматриваемых цветовых моделях с отображением «*Wu Quant*».

Цветовые координаты моторных масел в каждой рассматриваемой цветовой модели устанавливались аналогично определению координат балльной шкалы *ASTM D 1500* (рис. 9).

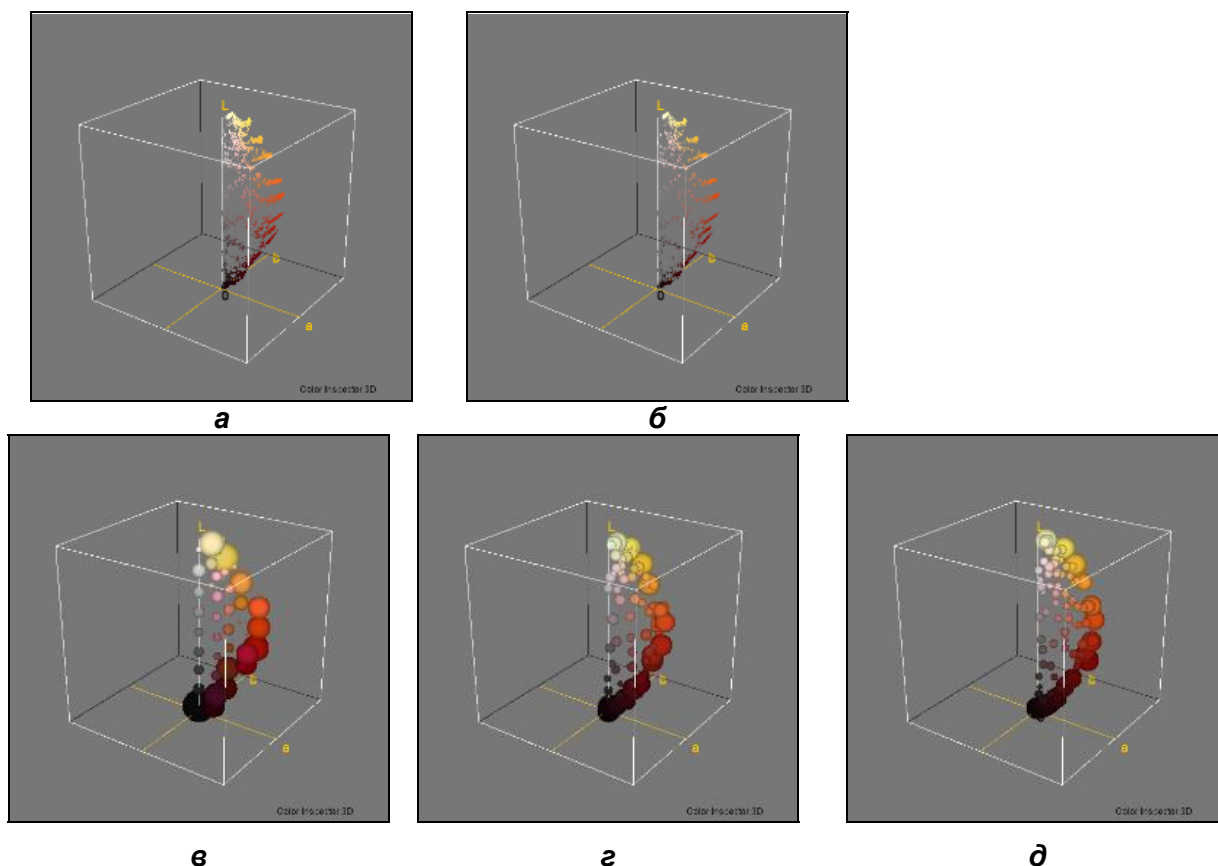


Рисунок 8. 3D-изображения шкалы ASTM D 1500 в модели CIE Lab при различных видах отображения: а – «All Colors»; б – «Frequency Weighted»; в – «Histogram»; г – «Median Cut»; д – «Wu Quant»

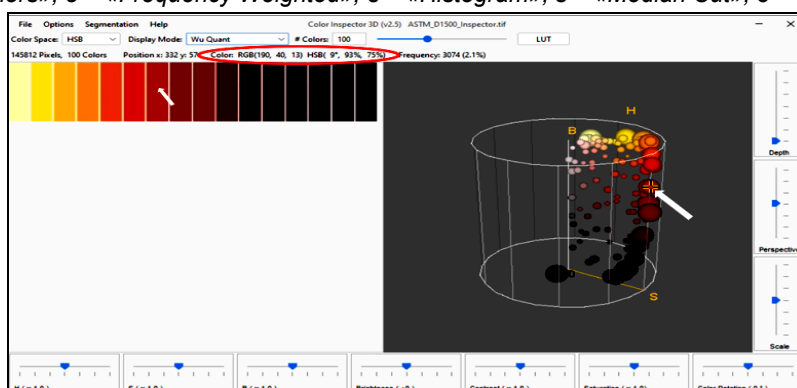


Рисунок 9. Определение значений цветowych координат шкалы ASTM D 1500 в цветовой модели HSB

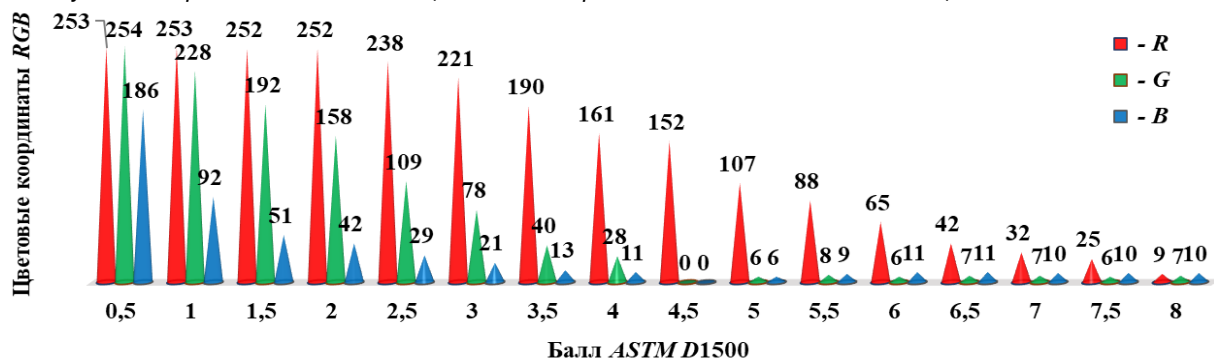


Рисунок 10. Цветовые координаты шкалы ASTM D 1500 в модели RGB

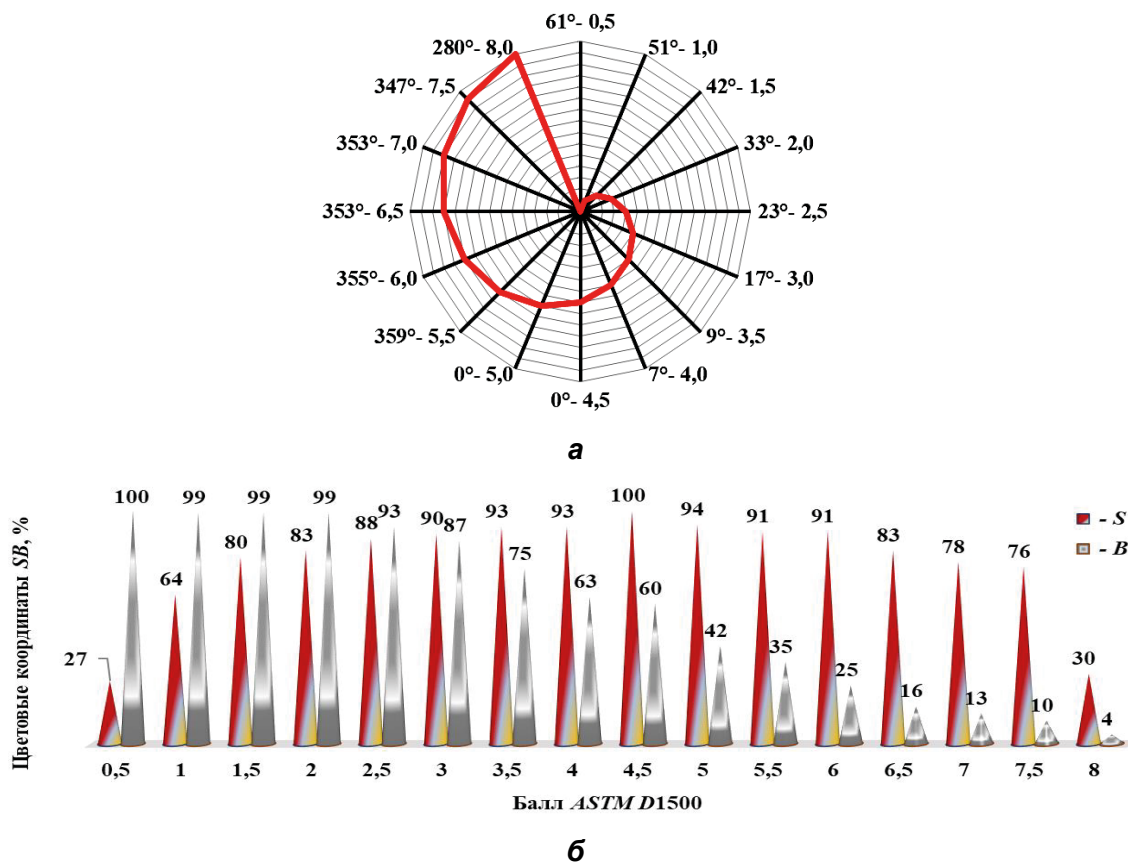


Рисунок 11. Цветовые координаты шкалы ASTM D 1500 в модели HSB: а – H; б – S и B

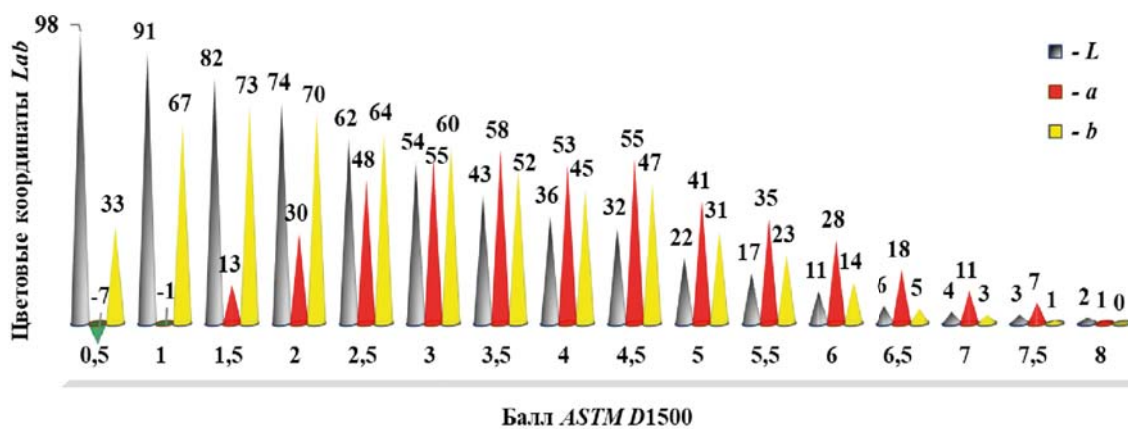


Рисунок 12. Цветовые координаты шкалы ASTM D 1500 в модели CIE Lab

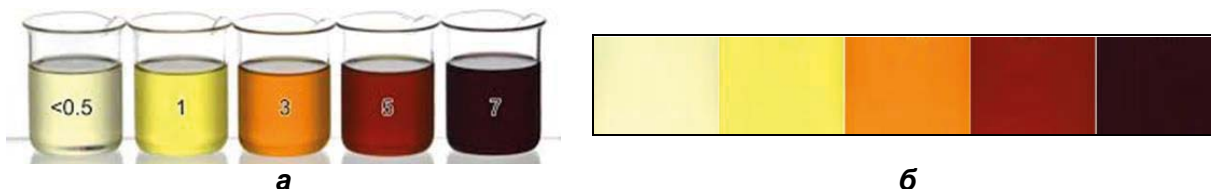


Рисунок 13. Цветное изображение моторных масел: а – внешний вид с балльной оценкой по шкале ASTM D 1500; б – выделенные фрагменты цифровых изображений

На рисунках 15-17 приведено сравнение цвет-  
вых координат моторных масел в рассматриваемых  
цветовых моделях RGB, HSB и CIE Lab с соответ-  
ствующими координатами шкалы ASTM D 1500.

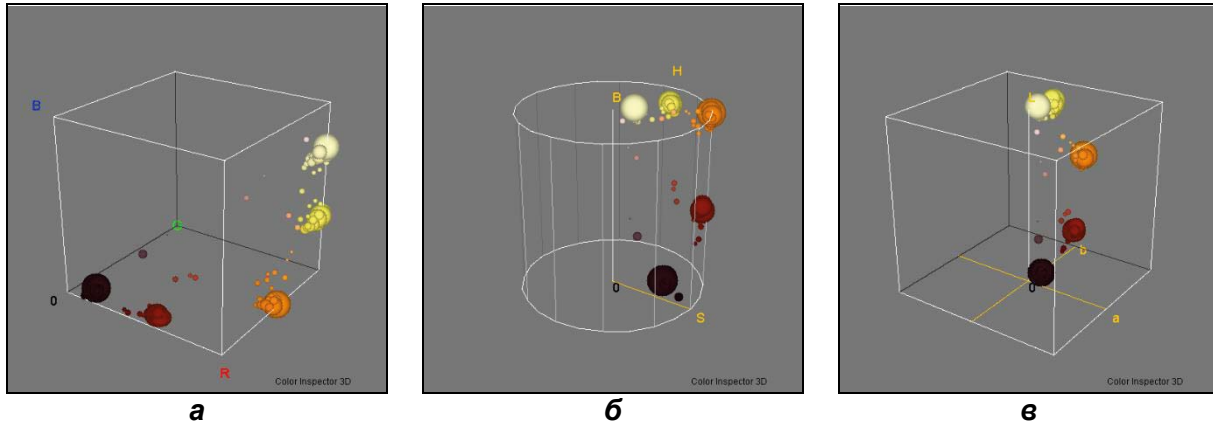


Рисунок 14. 3D-изображения моторных масел в различных моделях: а – RGB; б – HSB; в – CIE Lab

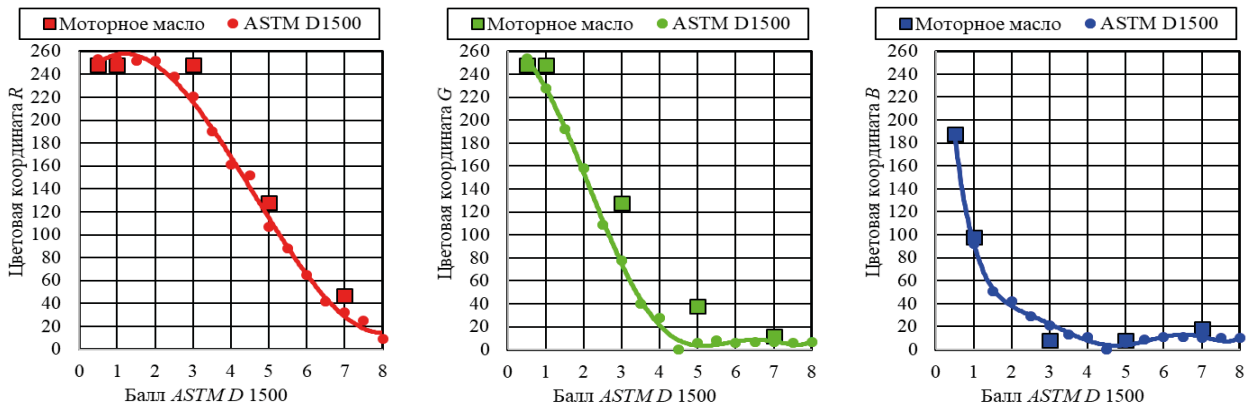


Рисунок 15. Сравнение цветовых координат моторных масел в модели RGB с координатами шкалы ASTM D 1500: а – координата R; б – координата G; в – координата B

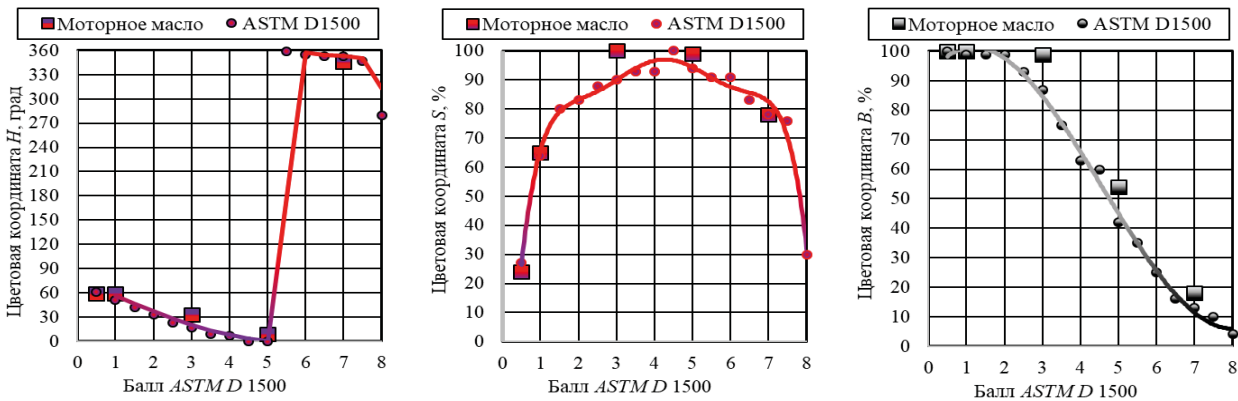


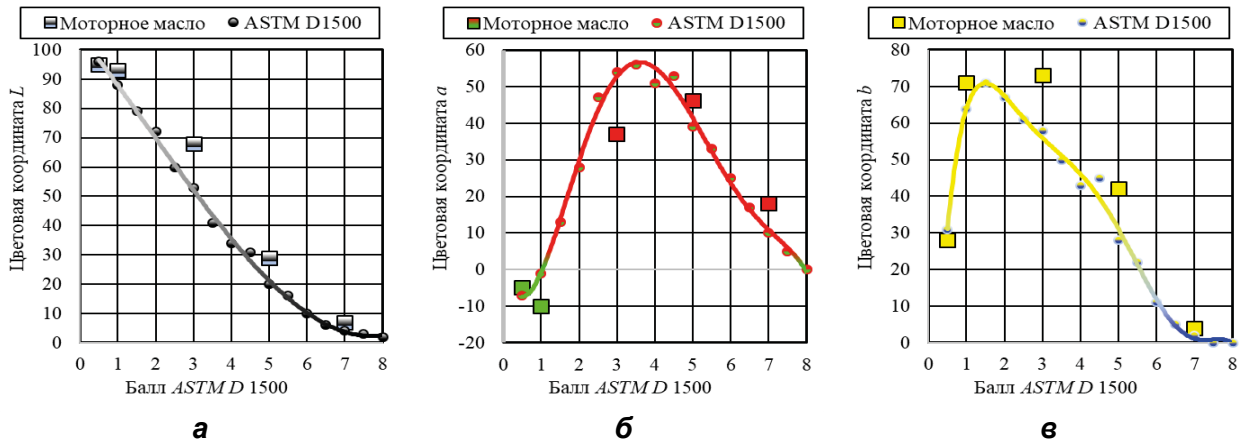
Рисунок 16. Сравнение цветовых координат моторных масел в модели HSB с координатами шкалы ASTM D 1500: а – координата H; б – координата S; в – координата B

Анализ полученных данных показывает совпадение цветовых координат  $r$  и  $b$  моторных масел в модели RGB с координатами шкалы ASTM D 1500 и значительное отклонение координаты  $G$  для масел с баллами 3,0 и 5,0 (рис. 15). В модели HSB (рис. 16) отмечается соответствие по цветовому тону  $H$  для всех масел, а для масла с баллом 3 – отклонение по насыщенности  $S$  и яркости  $B$ . В модели CIE Lab для масел с баллами 3 и 5 отклонение наблюдается по всем трем

координатам (рис. 17). Причина такого отклонения может быть связана, либо с неточной оценкой баллов при визуальном сравнении со шкалой, либо с неправильной калибровкой светофильтров при использовании колориметра.

### Заключение

Рассмотрены основные цветовые пространства, описываемые цветовыми моделями RGB, HSB и CIE



**Рисунок 17. Сравнение цветовых координат моторных масел в модели CIE Lab с координатами шкалы ASTM D 1500: а – L; б – A; в – B**

Lab, которые в отличие от изображения в оттенках серого, позволяют более информативно характеризовать цветное изображение за счет определения таких характеристик цвета, как тон, насыщенность, яркость и др.

Расширены возможности колориметрических методов оценки цвета моторного масла за счет использования плагина «3D Color Inspector» программного комплекса ImageJ для представления шкалы ASTM D 1500 в цветовых пространствах RGB, HSB и CIE Lab и установления соответствующих им цветовых координат.

Для обоснования работоспособности метода количественной оценки цвета в различных цветовых пространствах определены цветовые координаты моторных масел и проведено их сравнение с соответствующими значениями цветовых координат балльной шкалы ASTM D 1500.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Венцель, С.В. Применение смазочных материалов в двигателях внутреннего сгорания / С.В. Венцель. – М.: Химия, 1979. – 240 с.
2. Ivanova-Vasileva, A. Determination of the parameter color of fresh engine oils by color indices and predictive models / A. Ivanova-Vasileva [et al.] // MATEC Web of Conferences. – 2023. – № 387. – 04001.
3. Standard Test Method for Color of Petroleum Products (ASTM Color Scale): ASTM D1500-12 (2017). – ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017. – 5 p.
4. Нефтепродукты. Метод определения цвета по шкале ASTM: СТБ 1796-2007 (ASTM D 1500-04a, IDT). – Введ. 01.05.2008. – Минск: Госстандарт: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2008. – 9 с.
5. Georgieva, T. Determination of the viscosity class of motor oils using color characteristics and statistical analysis / T. Georgieva, A. Ivanova-Vasileva, P. Daskalov // 32nd DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation. – 2021. – Vol. 32. – № 1. – P. 0327-0332.

6. Экспресс-методы контроля свойств моторного масла автотракторных двигателей внутреннего сгорания в условиях организаций агропромышленного комплекса / В.М. Капцевич, С.К. Карпович, В.К. Корнеева, И.В. Закревский; под общ. ред. В.М. Капцевича. – Минск: БГАТУ, 2023. – 120 с.

7. Корнеева, В.К. Методы оценки экспериментальных результатов экспресс-тестирования моторных масел, основанные на использовании программного комплекса ImageJ. Часть 1. Колориметрические методы / В.К. Корнеева, В.М. Капцевич // Агропанорама. – 2024. – № 6. – С. 29-36.

8. Tebbe, F. Colour Spaces / F. Tebbe, C. Fath. – JOVIS Verlag, 2008. – 44 p.

9. Malacara, D. Color vision and colorimetry: theory and applications / D. Malacara. – 2nd ed. – Bellingham, Washington: SPIE, 2011. – 188 p.

10. Shamo, P. Comparative Overview of Color Models for Content-Based Image Retrieval / P. Shamo, D. Sansyzbayev, N. Abiley // International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST), 14 August 2022. – Nur-Sultan, Kazakhstan, 2022. – P. 1-6.

11. Barthel, K.U. 3D-Data Representation with ImageJ / K.U. Barthel // ImageJ Conference, 2006. – Luxembourg: Luxembourg Institute of Science and Technology, 2006. – 215458973.

12. Muljosumarto, C.A Case Study Color as a Visual Language: Focused on TV Commercial / C.A. Muljosumarto // NIRMANA. – 2017. – Vol. 17, № 1 (Januari). – P. 1-9.

13. Medina, J.J. A rapid and cost-effective pipeline for digitization of museum specimens with 3D photogrammetry / J.J. Medina [et al.] // PLoS ONE. – 2020. – № 15 (8). – P. 1-14.

14. Kruger, A. Median-cut color quantization / A. Kruger // Dr. Dobb's Journal. – 1994. – Sept. – P. 46-54.

15. Wu, X. An efficient antialiasing technique / X. Wu // ACM SIGGRAPH Computer Graphics. – 1991. – Vol. 25. – Issue 4. – P. 143-152.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 10.02.2025

## МОДЕЛИ ФОРМИРОВАНИЯ ИНФРАСТРУКТУРЫ СБАЛАНСИРОВАННОГО ЭКОНОМИЧЕСКОГО РОСТА ПРОИЗВОДСТВА МЯСНОЙ ПРОДУКЦИИ

Т.В. Гусарова,

ст. преподаватель БГСХА, магистр экон. наук

*В статье проведен сравнительный анализ трактовки категории «инфраструктура». Предложена модель оптово-распределительного центра, ориентированная на сельскохозяйственные и перерабатывающие организации и отвечающая современным требованиям агропромышленной производственно-сбытовой инфраструктуры.*

*Ключевые слова: инфраструктура, производство, сбыт, оптово-распределительный центр, мясная продукция, сбалансированный экономический рост.*

*The article provides a comparative analysis of the interpretation of the category “infrastructure”. The model of wholesale and distribution center is proposed, focused on agricultural and processing organizations satisfying the modern requirements of agro-industrial production and sales infrastructure.*

*Keywords: infrastructure, production, sales, wholesale distribution center, meat products, balanced economic growth.*

### Введение

Инфраструктура является неотъемлемым компонентом любой социально-экономической системы, без нее нельзя представить эффективное функционирование экономической деятельности. Она играет важнейшую роль в обеспечении устойчивого экономического роста производства продукции АПК.

Изучение научной литературы позволило сделать вывод о том, что в настоящее время отсутствует единое мнение относительно определения сущности данного понятия как экономической категории. Термин «инфраструктура» исследовался в работах Р. Йохимсена [1], П. Розенштейна-Родана [3], П. Самуэльсона [18], Э. фон Биевентера и Й. Хампе [5], М.Н. Бахтина, А.Ю. Кособуцкой, И.А. Дядюна [4], В.Ю. Иванова [8], Г.Я. Кипермана [16], А.И. Кузнецовой [10], А.Е. Ланцова [11], И.И. Рахмеевой [14] и др. В то же время с внедрением цифровизации расширяются бизнес-процессы, требующие создания новых субъектов и обеспечивающие результативное продвижение продукции на рынок.

Исходя из вышеизложенного, целью данной статьи является определение сущности понятия «инфраструктура» как экономической категории и ее составляющих, а также обоснование модели инфраструктуры, позволяющей расширить возможности экономического роста организаций АПК, в том числе производителей мясной продукции.

### Материалы и методы

Научное исследование базировалось на изучении научных трудов отечественных и зарубежных ученых

в области аграрной экономики, организации и управления производством АПК, маркетинга, логистики и сбыта. Использованы методы системного и сравнительного анализа.

### Основная часть

Сравнительный анализ трактовки понятия «инфраструктура» (от лат. *infra* – ниже, под и *structura* – строение, расположение) показал, что первоначально данный термин применялся в военном смысле. Во французских научных источниках данная категория встречалась в 1875 г., а начиная с 1887 г. использовалась и в англоязычных [2].

Анализ трактовки понятий, представленных в таблице, показал, что П. Розенштейн-Родан [3, с. 60] раскрывал категорию «инфраструктура» относительно условий, необходимых для развития частного предпринимательства.

В своем подходе П. Самуэльсон [18, с. 324] рассматривал государственные средства как основной источник инвестиций в инфраструктуру.

Авторы Э. фон Биевентер, Й. Хампе [5, с.74] сформулировали определение инфраструктуры применительно к любой социально-экономической системе. Однако, по мнению исследователя В. Бура [1, с. 1], наиболее широкое экономическое определение инфраструктуры представил в 1966 году Р. Йохимсен в своей книге «Теория инфраструктуры. Основы развития рыночной экономики». По мнению В. Бура, автору следовало бы в определении принять во внимание специфические функции инфраструктуры.

А.И. Кузнецова [10, с. 14] определяет инфраструктуру как обеспечивающую подсистему эконо-

**Таблица. Сравнительный анализ трактовки понятия «инфраструктура»**

Автор, источник	Определение понятия «инфраструктура»
Международный этимологический словарь [2]	Установки, которые составляют основу любой операции или системы
П. Розенштейн-Родан [3, с. 60]	Комплекс общих условий, обеспечивающих благоприятное развитие частного предпринимательства в основных отраслях экономики и удовлетворяющих потребности всего населения
П. Самуэльсон [18, с. 324]	Крупные капиталовложения, предпринимаемые исключительно государством и закладывающие предпосылки для успешного развития частного сектора
Э. фон Биевентер, Й. Хампе [5, с. 74]	Совокупность элементов, обеспечивающих бесперебойное функционирование взаимосвязей объектов и субъектов данной системы
Р. Йохимсен [1, с. 1]	Совокупность материальных, институциональных и личных объектов и данных, которые доступны экономическим агентам и способствуют достижению равенства вознаграждения за сопоставимые затраты в случае надлежащего распределения ресурсов (полной интеграции и максимального уровня экономической деятельности)
А. И. Кузнецова [10, с. 14]	Экономическая производственная подсистема (части общественного производства), где используется живой труд, а в качестве деятельности производятся услуги: производственного и непроизводственного характера, где не создается прибавочной стоимости, а увеличивается стоимость производимого товара, обеспечиваются жизненно важные условия существования общества
И. И. Рахмеева [14, с. 19]	Совокупность институтов, предприятий, объектов, обслуживающих экономику и выполняющих определенные функции по обеспечению ее функционирования и развития
Г. Я. Киперман [16, с. 183-184]	Совокупность учреждений, организаций, государственных и коммерческих предприятий и служб, обеспечивающих нормальное функционирование рынка товаров, рынка капиталов и других рынков
А. Е. Ланцов [11, с.53]	Совокупность материальных и нематериальных активов, обеспечивающих осуществление экономической деятельности и условия жизнедеятельности хозяйствующих субъектов и обладающих набором характеристик: капиталоемкость, длительный срок создания и использования, проявление рыночной неэффективности, привязанность к определенной территории, незначительное количество субститутов в краткосрочной перспективе, возможность использования в промежуточном и конечном потреблении домохозяйствами и компаниями
М. Н. Бахтин, А.Ю. Кособуцкая, И.А. Дядюн [4, с.9]	Интегральная экономическая категория, составляющие которой могут относиться к разным отраслям экономики, но объединены общей целью – создают условия для устойчивого функционирования и развития экономического производства, товарного обмена и жизнеобеспечения в стране или регионе и обеспечивают пространственную целостность территории, в первую очередь экономическую целостность
В. Ю. Иванов [8, с.41]	Совокупность элементов (условий, объектов, видов деятельности, субъектов, процессов, форм, способов, инструментов, технологий и механизмов), обеспечивающих непрерывную взаимосвязь субъектов (хозяйствующих субъектов, рынков, отраслей) в рамках конкретной экономической системы для обеспечения структур общества, его пространственно-временных образований и отдельных членов в разрезе отраслей (связь, коммуникации, транспорт, дорожные системы, энергетика, коммунальные сети)

*Примечание. Составлена автором на основе [1-5; 8; 10, 11; 14; 16; 18].*

мики. Схожие трактовки предложены И.И. Рахмеевой [14, с. 19] и Г.Я. Киперманом [16, с. 183-184]. Различие состоит лишь в том, что в понятии И. И. Рахмеевой инфраструктура должна обеспечивать функционирование экономики, а Г.Я. Кипермана – рынков.

По мнению М.Н. Бахтина, А.Ю. Кособуцкой, И.А. Дядюн [4, с.9], данная категория должна обеспечивать пространственную целостность территории, в первую очередь экономическую целостность.

Исследователь А.Е. Ланцов [11, с.53] под инфраструктурой понимает совокупность материальных и нематериальных активов, обладающих набором определенных отличительных характеристик, а В.Ю. Иванов [8, с. 41] – совокупность элементов, обеспечивающих непрерывную взаимосвязь субъектов в рамках конкретной экономической системы.

Разнообразие определений, описывающих видение их сторонниками инфраструктуры, свидетельствуют о том, что составляющие данной категории могут относиться к разным отраслям экономики, но все они создают условия для устойчивого функционирования и экономического роста производства, товарного обмена и жизнеобеспечения в обществе, а также обеспечивают экономическую целостность.

Как показывают исследования, состав инфраструктуры определяется ее масштабами, географией, отраслевой специализацией и многими другими факторами, характеризующими ее как территориально-демографическую, социально-экономическую и административно-политическую ценность. В зависимости от выполняемых функций можно выделить производственную, социальную, рыночную, инноваци-



онную и институциональную инфраструктуру. Важнейшей составной частью производственной и социальной инфраструктуры является транспортная инфраструктура, которая играет одну из ключевых ролей в процессе развития региона [20, с.9].

Огромный объем информации, возникающий и циркулирующий во всех бизнес-процессах деятельности предприятий и сопровождающий каждый из этапов принятия и реализации управленческого решения, неизбежно требует применения современных цифровых инструментов и технологий, образующих цифровую инфраструктуру. По мнению А.Р. Хайруллиной [21, с. 1154], данная инфраструктура представляет собой комплекс технико-технологических средств, включающих набор технических средств, центры сбора, обработки, преобразования и хранения информации, передачи информации, программное обеспечение, средства связи и информационно-телекоммуникационные технологии, обеспечивающие организацию деятельности предприятий и бизнес-взаимодействий с рыночными субъектами.

Инфраструктура представлена комплексом производственной и непроизводственной отраслей, которые обеспечивают условия для воспроизводства – дороги, связь, транспорт, образование, здравоохранение. Основная производственная инфраструктура – энергоснабжение, транспорт и связь. Развитие инфраструктуры зависит от эффективности, как отдельных видов рынков, так и тех ее типов, которые обеспечивают общие условия воспроизводства: производственной, социальной, институциональной, информационной и экологической [17, с.6].

По мнению исследователя Б.С. Шохкурбониев [22, с.91-92], основными направлениями качественного развития производственной инфраструктуры отдельных регионов являются:

- создание благоприятных условий для привлечения иностранных инвестиций;
- формирование сети товародвижения, которая обеспечит движение сырья к производству и готовой продукции к потребителю;
- совершенствование технологической оснащенности производства;
- развитие кластеризации региональной экономики, рациональное использование потенциала региона в направлении развития производственной инфраструктуры и экономического роста производства продукции.

Ключевым направлением обеспечения устойчивого экономического роста производства продукции агропромышленного комплекса (АПК), в том числе и мясной, является, по мнению Н.В. Киреенко [9], производственно-сбытовая инфраструктура (ПСИ), представляющая собой рациональную систему, связанную с организацией эффективного механизма производства и реализации сельскохозяйственной продукции и продуктов питания. Основными ее составляющими должны быть – инструментальное, энергетическое, ремонтное, транспортно-складское и другие хозяйства, службы материально-технического снабжения,

маркетинга и сбыта, технического контроля качества продукции, метрологии и патентования, подготовки производства новой продукции, планирования и учета, кадровой и финансовой деятельности, сбыта готовой продукции и т. п.

По мнению И.Н. Рыковой [15], инфраструктура агрологистики должна быть представлена базовыми и дополнительными объектами. К базовым объектам исследователь относит оптово-распределительные центры (ОРЦ) и транспортную инфраструктуру (рефрижераторные, контейнерные и прочие перевозки продовольствия), а к дополнительным – электронную торговую площадку, сельскохозяйственную и продовольственную биржу, агроиндустриальные парки, транспортно-логистические терминалы, продовольственные рынки.

Целесообразно отметить, что развитие рыночных институтов способствовало преобразованию ПСИ, что нашло отражение в нормативных правовых актах Республики Беларусь [12-13].

Одним из направлений государственной аграрной политики является развитие ПСИ, в том числе и в отдельных областях республики. Развитие ПСИ позволит организациям АПК хранить, подрабатывать, подсортировать и поставлять мясную продукцию к местам ее потребления, что обеспечит снижение непроизводственных потерь, повышение доступности качественных продуктов питания для населения.

Считаем, что решить данную проблему поможет создание областных ОРЦ, являющихся одним из главных звеньев в цепи поставок мясной продукции от производителей к конечным потребителям.

Создание ОРЦ поможет решить следующие проблемы, характерные для областей, в которых отсутствуют современные мощности по хранению, обработке и распределению продукции:

- обеспечение сбыта продукции, повышение ее товарности за счет создания условий для ее хранения и обработки;
- оптимизация логистики и стандартизация качества продукции;
- расширение объемов частных инвестиций в АПК;
- увеличение удельного веса продукции отечественного производства в общем товарообороте;
- обеспечение доступа малым и средним предприятиям к мощностям по хранению, переработке, упаковке и транспортировке продукции;
- снижение конечной цены продукции за счет оптимизации товаропроводящей цепочки и уменьшения количества посредников;
- снижение потерь продукции на стадии ее хранения и транспортировки;
- возможность выхода области на самообеспечение по основным видам продукции, т.е. снижение импорта продуктов за счет увеличения собственного производства и удовлетворения тем самым общеобластного личного и производственного потребления [6, с. 20].

Следует отметить, что создание ОРЦ невозможно без технико-технологического обоснования проекта, анализа продовольственного баланса отдельной

области и учета специфики логистических цепочек по видам мясной продукции. Количество создаваемых объектов в области или республике будет зависеть от объема производимой мясной продукции и возможностей ее длительного хранения. Для определения местоположения ОРЦ необходимо учитывать сроки хранения, условия перевозки отдельных видов мясной продукции, потребительский спрос на мясную продукцию в динамике, а также наличие необходимого объема инвестиций.

Исследователи А.И. Трубилин, К.Э. Тюпаков, А.А. Адаменко [19] предлагают разделить ОРЦ на следующие уровни:

- региональные ОРЦ, обслуживающие территорию в радиусе от 150 до 350 км. На данном уровне возможна доработка продукции, осуществляется формирование мелкооптовых партий продукции и распределение по торговым сетям на территории региона;

- межрегиональные ОРЦ, ареал обслуживания которых может достигать 600 км. Такие центры должны быть оснащены необходимым оборудованием не только для хранения разнородной продукции, но и для подработки, первичной переработки, упаковки, маркировки, а также ветеринарного и фитосанитарного контроля. В них могут формироваться консолидированные партии продукции для межрегиональных поставок и распределения импортных потоков продукции;

- национальные ОРЦ, которые формируют национальную сеть распределения продукции АПК, осуществляют экспортно-импортные операции и охватывают всю территорию государства.

ОРЦ должны быть оснащены технологическими линиями для обработки продукции и холодильными установками, на которые, по нашему мнению, должно приходиться две трети площади центра.

К преимуществам создания ОРЦ можно отнести условия открытости и доступности информации, обеспечения конкурентных преимуществ, отсутствия дискриминации, добровольного исполнения сторонами достигнутых соглашений. Такие объекты будут способствовать расширению объемов производства мясной продукции, так как их функционирование позволит распределить продукцию на большое количество потребителей, упорядочить продовольственное обеспечение населенных пунктов и укрепить связи между оптовыми рынками и производителями продукции, что снизит риски для малых и средних организаций.

К.В. Борель [7, с. 21-22] отмечает, что ОРЦ могут выступать в качестве основных клиентов для сельскохозяйственных организаций, а также К(Ф)Х и хозяйств населения. Система каналов сбыта продукции в рамках цифровой инфраструктуры обуславливает расширение перечня входящих в нее субъектов хозяйствования и установление доминирующего положения цифровых платформ. Сфера оптовой торговли в сравнении с базовой схемой распределения аграрной продукции дополняется ОРЦ, а сфера розничной торговли – современными маркетплейсами. Одновременно наблюдается построение цифровых цепочек поставок, в рамках которых особую роль зани-

мают электронные торговые площадки, функционирующие вне традиционных звеньев и предоставляющие место для реализации продукции.

Таким образом, современная инфраструктура позволяет сформировать совокупность субъектов рынка, обеспечивающих наиболее оптимальное продвижение определенного вида аграрной продукции по конкретному товарному направлению на внутреннем и внешнем рынках.

### **Заключение**

На основании изложенного выше вытекают следующие основные результаты исследований:

1. Проведенный сравнительный анализ трактовки понятия «инфраструктура» показал, что в настоящее время отсутствует единое мнение относительно определения его сущности как экономической категории, и ее составляющие могут относиться к разным отраслям экономики, но все они создают условия для устойчивого функционирования и экономического роста производства, товарного обмена и жизнеобеспечения в обществе, а также обеспечивают экономическую целостность.

2. Предложена модель ОРЦ для производства мясной продукции, ориентированная на сельскохозяйственные и перерабатывающие организации, которая отвечает современным требованиям ПСИ данных организаций и значительно расширяет возможности их развития, что будет способствовать повышению уровня самообеспеченности населения отдельных областей качественными продуктами питания по более доступным ценам.

3. Новизна разработок заключается в комплексном их использовании в новых условиях, что позволяет определить соответствие сбытовой инфраструктуры характеристикам аграрного рынка, провести оценку степени удовлетворения потребностей товаропроизводителей в ее структурах на внешних и внутренних сегментах, а также учитывать сбалансированность развития отдельных подсистем.

### **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Buhr, W. What is Infrastructure? / W. Buhr // Department of Economics, School of Economic Disciplines, University of Siegen. Siegen Discussion Paper №. 107-03. – 2003 – P 3-35.
2. Online Etymology Dictionary. – URL: [https://www.etymonline.com/word/infrastructure#etymonline\\_y\\_6466](https://www.etymonline.com/word/infrastructure#etymonline_y_6466). – (дата обращения : 22.01.2025).
3. Rosenstein-Rodan, P.N. Notes on the Theory of the «Big Push» / P.N. Rosenstein-Rodan // Economic Development for Latin America: proceedings of a conference held by the International Economic Association / ed: H. S. Ellis and H. C. Wallich. – London: Macmillan, 1961 – P 57-81.
4. Бахтин, М.Н. Генезис и развитие понятия «инфраструктура» в работах зарубежных и отечествен-

ных исследователей / М.Н. Бахтин, А.Ю. Кособуцкая, И.А. Дядюн // Вестник ВГУ. Серия: Экономика и управление. – 2020. – № 1. – С. 5-10.

5. Биевентер, Э. фон. Основные знания по рыночной экономике: в 8 лекциях; пер. с нем. / Э. фон Биевентер, Й. Хампе. – М.: Республика, 1993. – 175 с.

6. Болтенков, И.А. Создание сети оптово-распределительных центров в Иркутской области как механизм развития агропромышленного комплекса региона / И.А. Болтенков, Е.Е. Ивашутина, А.Д. Матвеева // Бизнес-образование в экономике знаний. – 2023. – № 2 (25). – С. 18-21.

7. Борель, К.В. Направления трансформации производственно-сбытовой системы АПК Республики Беларусь в условиях цифровой экономики / К.В. Борель // Вестник БГСХА. – 2023. – № 2 – С. 19-23.

8. Иванов, В.Ю. Инфраструктурные проекты и инфраструктурные мегапроекты как целевые вложения в инфраструктуру: общее и различное / В.Ю. Иванов // Экономика: вчера, сегодня, завтра. – 2020. – Т. – 10. – № 12А. – С. 40-49.

9. Киреенко, Н.В. Система сбыта продукции АПК на основе маркетингового подхода: теория, методология, практика: в 2 ч. / Н. В. Киреенко; под ред. В.Г. Гусакова. – Минск: Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2015. – Ч. 1. – 267 с.

10. Кузнецова, А.И. Инвестирование развития инфраструктуры: теория и методология: автореф. дис. ... д-ра экон. наук: 08.00.05 / А.И. Кузнецова; Гос. акад. проф. переподготовки и повышения квалификации руководящих работников и специалистов инвестиц. сферы. – Москва, 2007. – 47 с.

11. Ланцов, А.Е. Инфраструктура: понятие, виды и значение / А.Е. Ланцов // Экономика, статистика и информатика. – 2013. – № 53. – С. 49-54.

12. О Государственной программе «Аграрный бизнес» на 2021–2025 годы: постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 1 фев. 2021 г. № 59: в ред. от 30 дек. 2024 г. № 1041 // КонсультантПлюс. Беларусь: справ. правовая система (дата обращения: ).

13. Об утверждении Программы социально-экономического развития Республики Беларусь на 2021-2025 годы: Указ Президента Респ. Беларусь от

29 июл. 2021 г. № 292: в ред. от 23 июн. 2023 г. № 180 // КонсультантПлюс. Беларусь: справ. правовая система (дата обращения: ).

14. Рахмеева, И.И. Региональные особенности развития и пространственной организации производственной инновационной инфраструктуры: дис. ... канд. экон. наук: 08 00 05. / И.И. Рахмеева; Екатеринбург, 2014. – 180 с.

15. Рыкова, И.Н. Элементы концепции создания транспортно-логистической системы экспорта и импорта сельскохозяйственной и продовольственной продукции в России и в странах ЕАЭС. – URL : [https://www.nifi.ru/images/FILES/NEWS/2019/Agrologistica\\_RSPP27082019.pdf](https://www.nifi.ru/images/FILES/NEWS/2019/Agrologistica_RSPP27082019.pdf) (дата обращения: 11.01.2025).

16. Рыночная экономика: словарь / Э.А. Азроянц [и др.]; под общ. ред. Г.Я. Кипермана. – М.: Республика, 1993. – 524 с.

17. Сайфулина, А.Ф. Развитие производственной инфраструктуры в условиях цифровой экономики / А.Ф. Сайфулина, Р.А. Исломов // Economics. – 2021. – № 1 (48). – С. 5-7.

18. Самуэльсон, П. Экономика: учебник: в 2 т. / П. Самуэльсон. – М.: Алгон, 1992. – Т. 2. – 740 с.

19. Трубилин, А.И. Продовольственная безопасность: проблемы и пути решения / А.И. Трубилин, К.Э. Тюпаков, А.А. Адаменко // Труды КубГАУ. – 2021. – № 90. – С. 5-10.

20. Ускова, Т.В. Транспортная инфраструктура как фактор развития территорий и связанности экономического пространства / Т.В. Ускова // Проблемы развития территории. – 2021. – Т. 25. – № 3. – С. 7-22.

21. Хайруллина, А.Р. Цифровая инфраструктура как среда принятия управленческих решений в малом и среднем предпринимательстве / А.Р. Хайруллина // Экономика, предпринимательство и право. – 2021. – Т. 11. – № 5. – С. 1151-1166.

22. Шохкурбониев, Б.С. Теоретические аспекты развития производственной инфраструктуры экономики региона / Б.С. Шохкурбониев // Вестник ТГУПБП. – 2018. – № 4 (77). – С. 84-94.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 31.01.2025

**“Агропанорама” - научно-технический журнал для работников агропромышленного комплекса. Это издание для тех, кто стремится донести результаты своих исследований до широкого круга читателей, кого интересуют новые технологии, кто обладает практическим опытом решения задач.**

Журнал “Агропанорама” включен в список изданий, рекомендуемых Высшей аттестационной комиссией для опубликования результатов диссертационных исследований по техническим (сельскохозяйственное машиностроение и энергетика, технический сервис в АПК), экономическим (АПК) и сельскохозяйственным наукам (зоотехния).

Журнал выходит один раз в два месяца, распространяется по подписке и в розницу в киоске БГАУ. Подписной индекс в каталоге Республики Беларусь: для индивидуальных подписчиков - 74884, предприятий и организаций - 748842.

Стоимость подписки на 1-е полугодие 2025 года: для индивидуальных подписчиков - 48,39 руб., ведомственная подписка - 50,91 руб.

УДК 339.187:63-021.66

<https://doi.org/10.56619/2078-7138-2025-167-1-42-48>

## ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ГОСУДАРСТВ – ЧЛЕНОВ ЕВРАЗИЙСКОГО ЭКОНОМИЧЕСКОГО СОЮЗА В УСЛОВИЯХ МЕЖДУНАРОДНЫХ ЭКОНОМИЧЕСКИХ САНКЦИЙ И ОГРАНИЧЕНИЙ

И.А. Войтко,

доцент каф. инновационного развития АПК ИПК и ПК АПК БГАТУ, канд. экон. наук, доцент

*В статье рассмотрены отдельные экономические показатели деятельности стран в период до и после введения для Республики Беларусь и Российской Федерации экономических санкций. Фактические данные показывают, что часть товарных и валютных потоков, которые вследствие экономических санкций и ограничений в отношении России и Беларуси были перенаправлены в (через) другие страны, способствовали сохранению общего интеграционного потенциала ЕАЭС, а также дальнейшему совместному развитию государств – членов.*

**Ключевые слова:** экономика, санкции, ограничения, ЕАЭС, сельское хозяйство, эффективность, таможенные пошлины, налоги.

*The article examines selected economic indicators of the countries' activities before and after the introduction of economic sanctions against the Republic of Belarus and the Russian Federation. According to actual data a part of the commodity and currency flows, which due the economic sanctions and restrictions against Russia and Belarus were redirected to (through) other countries, contributed to the preservation of the common integration potential of the EAEU as well as the further joint development of the Member States.*

**Key words:** economy, sanctions, restrictions, EAEU, agriculture, efficiency, customs duties, taxes.

### Введение

Аграрная сфера является одним из ключевых направлений экономической деятельности государств – членов Евразийского экономического союза (ЕАЭС), обеспечивающая продовольственную безопасность, влияющая на макроэкономическое развитие и устойчивое функционирование сельских территорий. Продовольственная система Союза развивается с учетом национальных социально-экономических приоритетов стран на основе проводимой согласованной (скоординированной) агропромышленной политики.

Научно-методические подходы и практические рекомендации по становлению и оценке развития данного интеграционного объединения широко изложены в трудах белорусских и зарубежных ученых, таких как В.И. Бельский, И.А. Войтко, В.Г. Гусаков, А.Е. Дайнеко, Н.В. Карпович, Н.В. Киреенко, С.И. Киселев, Т.В. Турбан, И.Г. Ушачев и др. [1-8]. В то же время, учитывая турбулентность мировой экономики и введение различных ограничительных мер в отношении государств – членов ЕАЭС, требуется выявление тенденций их функционирования в условиях международных экономических санкций и ограничений. Предложенный в статье подход базируется на комплексном анализе отдельных экономических показателей деятельности стран в период до и после введения для Республики Беларусь и Российской Федерации экономических санкций, позволяющий выделить направления, характеризующиеся опережающим развитием и создающие до-

полнительные преференциальные условия, положительно влияющие в целом на национальную экономику. Это в совокупности и определило цель данной статьи.

### Материалы и методы

В ходе исследования изучены международные и национальные статистические данные об уровне экономического развития государств – членов ЕАЭС. Использованы методы – монографический, системного и сравнительного анализа, расчетно-конструктивный.

### Основная часть

Как показали исследования, одной из основных задач создания интеграционного объединения и реализации его потенциала является устранение барьеров, которые возникают в различных сферах взаимодействия, в том числе в условиях проявления экономического кризиса, международных вызовов и угроз. Страны проводят работу в направлении учета взаимных интересов, развития системы государственной поддержки аграрной сферы и нормативно-законодательной базы по обеспечению свободного продвижения товаров. В то же время выполненный анализ выявления тенденций изменения основных экономических показателей государств – членов ЕАЭС показал, что существуют препятствия в виде барьеров и ограничений для реализации интеграционного потенциала. Одной из основных целей разви-

тия интеграционного потенциала государств – членов объединений является создание условий для максимально рационального его использования в каждой стране. В результате предполагается, что экономические показатели результативности деятельности будут улучшаться. Это касается, прежде всего, формирования условий для роста инвестиций и, как следствие, увеличения производительности имеющихся национальных ресурсов, а также наращивания объемов взаимной торговли.

Установлено, что инвестиции в основной капитал в целом по ЕАЭС имеют тенденцию к увеличению, что свидетельствует о результативной согласованной (скоординированной) агропромышленной политике (табл. 1).

Как показывает практика, для выявления тенденций развития аграрной сферы государств – членов большее значение имеет не размер анализируемого показателя, а темпы его роста. Анализ свидетельствует, что рост инвестиций в экономику в последние го-

ды происходит непропорционально (рис. 1).

Как видно из рисунка 1, размер инвестиций в основной капитал по годам варьирует. Падение инвестиций практически по всем странам наблюдалось в 2020 г., что объясняется началом пандемии, которая вызвала снижение деловой активности субъектов аграрного бизнеса. В 2021 г. наблюдается пик инвестиционной активности на фоне ее сокращения в 2020 г. В 2022 г. Кыргызстан и Россия продолжили наращивание вложений в основной капитал в сельском, лесном и рыбном хозяйствах. В то же время Беларусь и Казахстан замедлили темпы роста, а Армения показала отрицательный прирост. Замедление темпов роста в 2022 г. для нашей страны может быть связано с введением ряда международных экономических ограничений.

Неоднозначно выглядят данные 2023 г. Так, Беларусь и Казахстан увеличили объемы инвестиций в основной капитал по виду деятельности «Сельское, лесное и рыбное хозяйство», в то время как другие государства – члены показали снижение на 11-19 %.

**Таблица 1. Объем инвестиций в основной капитал (в текущих ценах), 2019-2023 гг., млн долл. США**

Государства – члены	Годы				
	2019	2020	2021	2022	2023
Всего по экономике					
<b>ЕАЭС</b>	<b>348 519</b>	<b>327 723</b>	<b>361 310</b>	<b>468 125</b>	<b>457 010</b>
Армения	938	887	1 014	1 371	1 729
Беларусь	13 788	12 046	12 221	10 781	12 461
Казахстан	32 859	29 713	31 083	33 120	38 678
Кыргызстан	2 324	1 594	1 452	1 657	2 106
Россия	298 610	283 483	315 540	421 196	402 036
по виду деятельности «Сельское, лесное и рыбное хозяйство»					
<b>ЕАЭС</b>	<b>16 042</b>	<b>15 030</b>	<b>16 663</b>	<b>20 190</b>	<b>18 754</b>
Армения	40	30	41	40	33
Беларусь	1 621	1 574	1 714	1 741	1 973
Казахстан	1 293	1 369	1 813	1 847	1 982
Кыргызстан	46	30	32	37	30
Россия	13 043	12 027	13 063	16 525	14 737

Примечание. Составлена автором на основе источника [9].

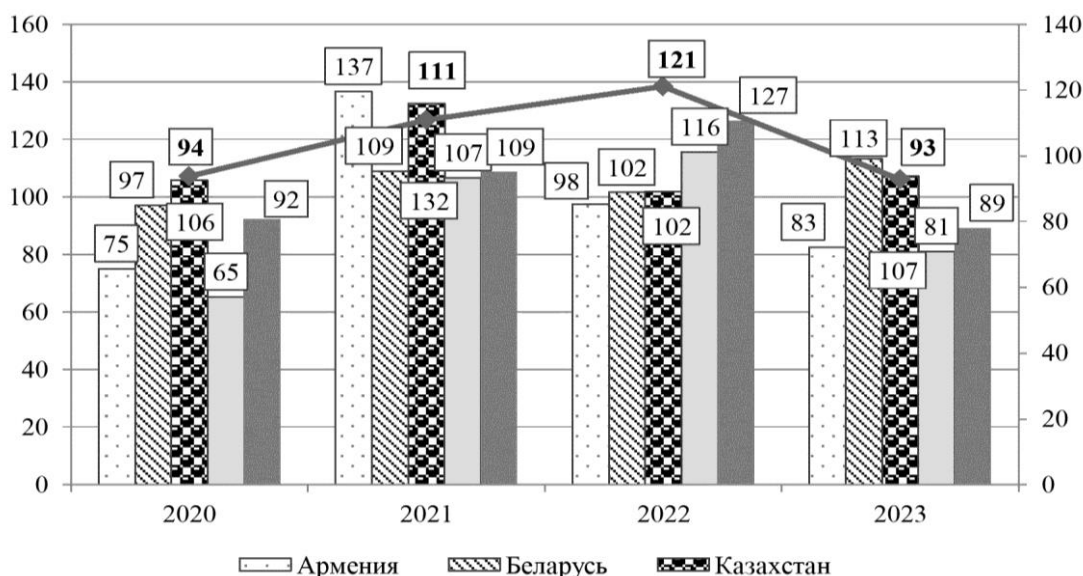


Рисунок 1. Темпы роста инвестиций в основной капитал по виду деятельности «Сельское, лесное и рыбное хозяйство» в государствах – членах ЕАЭС, 2019-2022 гг., %

Это свидетельствует о том, что Казахстан в течение всего исследуемого периода наращивает инвестиции в сельское хозяйство, а в других государствах эти показатели варьируют.

Практика показывает, что сельское хозяйство в меньшей степени, нежели другие отрасли, реагирует снижением объемов производства и падением доходности на внешние и внутренние потрясения, такие как пандемия, введение экономических санкций (табл. 2). Это обусловлено тем, что данный вид экономической деятельности во всех государствах – членах ЕАЭС ориентирован на достижение национальной продовольственной безопасности. Кроме того, аграрное производство имеет дело с живыми организмами и, в отличие от промышленности, не может сделать перерыв в работе без масштабного ущерба. Поэтому правительства стран в эти периоды не ослабляют как финансовую поддержку этого вида экономической деятельности, так и другие меры экономического содействия.

Приведенные данные показывают, что в целом по экономике государства – члены ЕАЭС в 2020 г. имели отрицательный темп роста ВВП. В то же время по продукции сельского хозяйства такая тенденция наблюдается в Армении и Беларуси. При этом в Казахстане прирост добавленной стоимости в сельском хозяйстве в этот период составил почти 12 %, производства валовой продукции – 14 %.

Обращает на себя внимание также и 2022 г. Это

год ужесточения экономических санкций и ограничений для России и Беларуси. В этот период в Беларуси прирост добавленной стоимости составил 17,1 %, что является наименьшим показателем по Союзу после Кыргызстана, а по производству валовой продукции сельского хозяйства – 17,2 %. При этом другие страны, в том числе и Россия, показали более высокие темпы роста анализируемых показателей.

Введение экономических санкций и, как следствие, дополнительных ограничений в рамках ЕАЭС (будет представлено ниже) влияет на все сферы экономической активности государств. При этом страны, на которые распространяются ограничения, теряют рынки сбыта своей продукции и поставщиков сырья и материалов. Это негативно сказывается на объемах производства и эффективности деятельности. В то же время введение ограничений на ввоз отдельных видов продукции приводит к появлению дополнительных возможностей для развития импортозамещающих производств (в том числе в части оказания услуг).

Так, изучение динамики объемов биржевых торгов по государствам – членам ЕАЭС показало, что в 2022 г. был зафиксирован пик роста таких сделок для некоторых стран Союза (рис. 2). На фондовом рынке происходит торговля акциями, облигациями и прочими активами. Понятие рынка затрагивает не только функцию передачи ценных бумаг, но и другие операции с ними, такие как выпуск и налогообложение.

**Таблица 2. Основные экономические показатели государств – членов ЕАЭС по виду деятельности «Сельское, лесное и рыбное хозяйство», 2018-2022 гг.**

Государства – члены	Годы					
	2018	2019	2020	2021	2022	2023
<b>Индексы валового внутреннего продукта (в целом по экономике)</b>						
<b>ЕАЭС</b>	<b>103,0</b>	<b>102,4</b>	<b>97,3</b>	<b>105,6</b>	<b>99,2</b>	<b>103,8</b>
Армения	105,2	107,6	92,8	105,8	112,6	108,3
Беларусь	103,1	101,4	99,3	102,4	95,3	103,9
Казахстан	104,1	104,5	97,5	104,3	103,2	105,1
Кыргызстан	103,8	104,6	92,9	105,5	109,0	106,2
Россия	102,8	102,2	97,3	105,9	98,8	103,6
<b>Индексы валовой добавленной стоимости по сельскому, лесному и рыбному хозяйствам, (в процентах к предыдущему году)</b>						
<b>ЕАЭС</b>	<b>x</b>	<b>102,9</b>	<b>101,1</b>	<b>99,9</b>	<b>106,9</b>	<b>99,2</b>
Армения	x	94,2	96,3	99,2	99,3	102,9
Беларусь	x	102,9	104,8	95,9	102,6	99,6
Казахстан	x	99,9	105,9	97,8	109,1	92,1
Кыргызстан	x	104,6	92,7	95,5	108,1	105,4
Россия	x	103,5	100,2	100,5	107,0	100,1
<b>Индексы объема сельскохозяйственного производства (в процентах к предыдущему году)</b>						
<b>ЕАЭС</b>	<b>x</b>	<b>103,6</b>	<b>102,1</b>	<b>98,7</b>	<b>110,4</b>	<b>99,3</b>
Армения	x	96,4	103,2	99,2	101,6	100,0
Беларусь	x	103,4	104,4	96,0	103,6	101,1
Казахстан	x	99,9	105,7	97,8	109,1	91,7
Кыргызстан	x	102,6	101,0	95,2	107,3	100,6
Россия	x	104,3	101,3	99,3	111,3	100,2
<i>Примечания:</i>						
1. Составлена автором на основе источника [9];						
2. По Армении Казахстану и Кыргызстану использованы данные по сельскому, лесному и рыбному хозяйствам.						

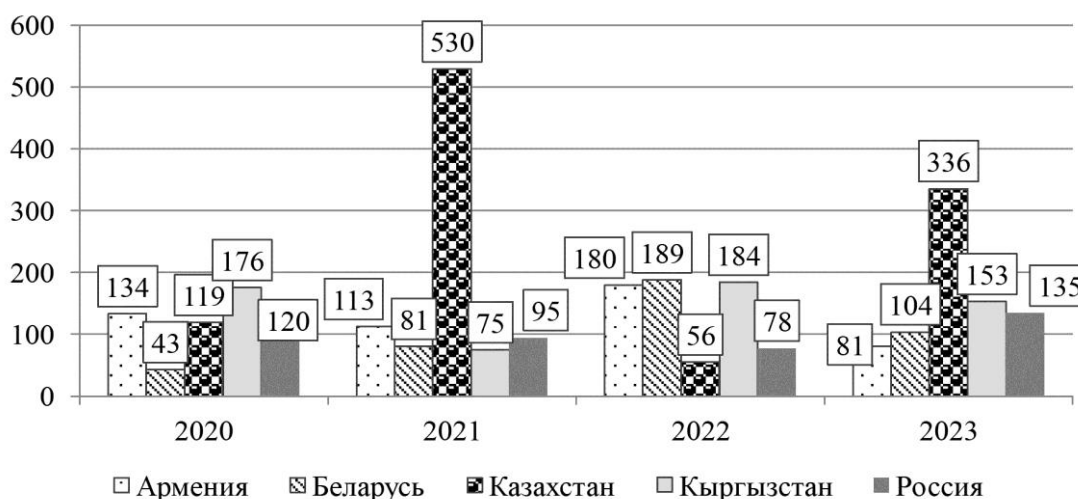


Рисунок 2. Темпы роста биржевых торгов на фондовом рынке в государствах – членах ЕАЭС, 2020-2023 гг., %. Примечание. Выполнен автором на основе данных источника [10].

В 2023 г. объемы биржевых торгов на фондовом рынке существенно выросли в Казахстане (более чем в три раза по сравнению с 2022 г.). Также в этот период наблюдается увеличение торгов на фондовом рынке Кыргызстана. При этом обращает на себя внимание существенное увеличение объемов биржевых торгов в 2022 г. на фондовом рынке Армении и Кыргызстана. В 2021 г. на фоне снижения активности на этих рынках практически во всех странах ЕАЭС Казахстан показывает более чем пятикратное увеличение.

Довольно информативным в части анализа перенаправления валютных потоков на рынке ЕАЭС может стать изучение темпов роста биржевых торгов на валютных рынках государств – членов ЕАЭС (рис. 3). В период 2021 г. объемы биржевых торгов на валютном рынке России показывают тенденцию к сокращению. В то же время темпы роста объема проведения таких операций имеют стабильный прирост в Казахстане (от 23 до 44 % ежегодно). Кыргызстан также наращивал объемы валютных торгов в период 2021-2022 гг., однако на фоне существенного роста в предыдущие периоды, в 2023 г. наблюдается снижение.

дущие периоды, в 2023 г. наблюдается снижение.

Изучение динамики размера получаемых ввозных таможенных пошлин показало, что в государствах – членах ЕАЭС в последние годы происходит увеличение их совокупного размера (табл. 3). При этом наибольший прирост наблюдается в Казахстане.

Вывозные таможенные пошлины также имеют тенденцию к росту, однако их темпы не такие существенные, как по ввозным (табл. 4).

Как видно из данных таблицы 4, размер ввозных таможенных пошлин в 2023 г. в Казахстане и Кыргызстане возрос соответственно на 2,1 и 2,5 %, в то время как в России снизился более чем в два раза.

Аналогичные тенденции выявлены в суммах поступающего налога на добавленную стоимость по товарам, ввозимым на территорию страны (табл. 5).

Также о росте внешнеэкономических сделок в государствах – членах, не затронутых экономическими санкциями, свидетельствует и рост внешнего торгового оборота в этих странах (табл. 6).

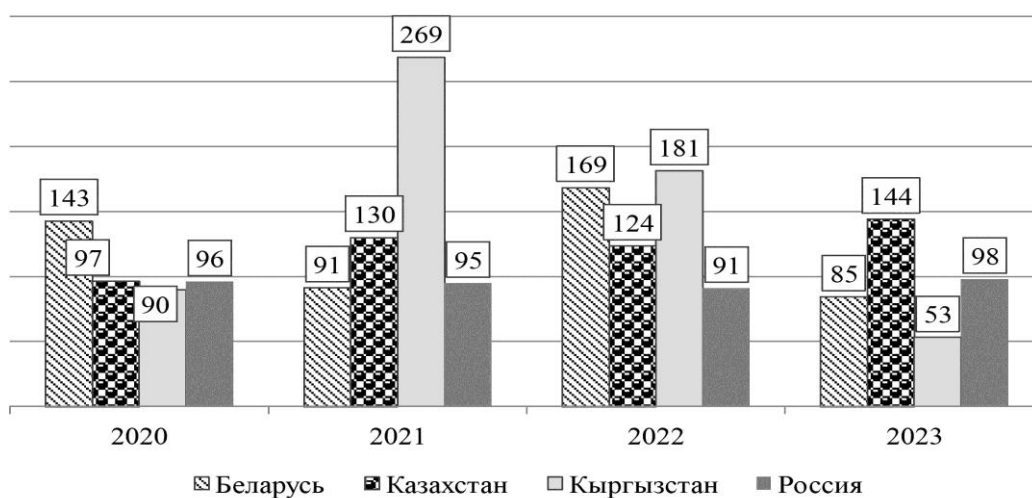


Рисунок 3. Темпы роста биржевых торгов на валютном рынке в государствах – членах ЕАЭС, 2020-2023 гг., %

**Таблица 3. Ввозные таможенные пошлины в государствах – членах ЕАЭС, 2019-2023 гг., млн долл. США**

Государства – члены	Годы					2023 г. в % к 2022 г.
	2019	2020	2021	2022	2023	
Армения	198,0	139,6	168,4	130,1	191,8	147,4
Беларусь	668,1	640,0	793,3	н/д	н/д	х
Казахстан	51,8	43,1	51,6	86,4	141,3	163,5
Кыргызстан	314,7	223,6	270,5	212,6	322,5	151,7
Россия	10 843,7	9 610,7	11 486,0	8 825,8	12 776,7	144,8

Примечание. Составлена автором на основе источника [10].

**Таблица 4. Вывозные таможенные пошлины в государствах – членах ЕАЭС, 2019-2023 гг., млн долл. США**

Государства – члены	Годы					2023 г. в % к 2022 г.
	2019	2020	2021	2022	2023	
Беларусь	1453,5	978,1	968,2	н/д	н/д	х
Казахстан	3 114,3	1 415,7	2 461,9	3605,9	3681,9	102,1
Кыргызстан	0,0	0,1	0,3	0,3	0,3	102,5
Россия	35 398,9	15 958,7	34 305,1	40 492,4	16 394,2	40,5

Примечание. Составлена автором на основе источника [10].

**Таблица 5. Налог на добавленную стоимость на товары, ввозимые на территорию страны, 2019-2023 гг., млн долл. США**

Государства – члены	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.		2023 г.	
				млн долл.	2022 г. в % к 2021 г.	млн долл.	2023 г. в % к 2022 г.
Армения	758,9	580,4	668,4	1 017,0	152,2	1 317,1	129,5
Беларусь	6076,8	5017,5	6683,8	н/д	х	н/д	х
Казахстан	3496,2	3210,6	4016,1	5324,3	132,6	6134,6	115,2
Кыргызстан	556,3	372,4	570,4	1 026,4	179,9	1 309,2	127,5
Россия	43 837,7	40 777,1	50 690,1	45 414,9	89,6	52 354,6	115,3

Примечание. Составлена автором на основе источника [10].

**Таблица 6. Торговый баланс государств – членов ЕАЭС, 2020-2023 гг.**

Показатели	2020 г.	2021 г.		2022 г.		2023 г.	
		млн долл. США	в % к предыдущему году	млн долл. США	в % к предыдущему году	млн долл. США	в % к предыдущему году
<b>Армения</b>							
Сальдо	-1 382,2	-1 504,8		-1 865,8		-2 514,7	
Экспорт	2 718,8	3 276,6	120,5	5 711,4	174,3	8 647,9	151,4
Импорт	4 101,0	4 781,4	116,6	7 577,1	158,5	11 162,5	147,3
<b>Беларусь</b>							
Сальдо	-1 993,0	-666,8		385,1		-2 356,3	
Экспорт	28 395,6	39 122,3	137,8	37 644,1	96,2	39 366,2	104,6
Импорт	30 388,6	39 789,1	130,9	37 259,0	93,6	41 722,5	112,0
<b>Казахстан</b>							
Сальдо	6 009,0	24 228,1		34 997,2		20 101,1	
Экспорт	44 065,1	65 790,6	149,3	85 630,4	130,2	79 812,2	93,2
Импорт	38 056,1	41 562,5	109,2	50 633,3	121,8	59 711,0	117,9
<b>Кыргызстан</b>							
Сальдо	-1 439,6	-2 418,1		-6 918,7		-8 205,8	
Экспорт	2 007,2	2 770,1	138,0	2 253,4	81,3	3 303,5	146,6
Импорт	3 446,8	5 188,1	150,5	9 172,1	176,8	11 509,3	125,5
<b>Россия</b>							
Сальдо	93 440,9	193 114,2		315 566,7		121 617,4	
Экспорт	333 529,5	494 161,1	148,2	592 076,5	119,8	424 482,5	71,7
Импорт	240 088,6	301 046,9	125,4	276 509,9	91,8	302 865,2	109,5

Примечание. Составлена автором на основе источника [10].

Анализ показал, что в странах, которые наряду с финансовыми санкциями не затронули, наблюдается существенный ежегодный прирост объемов экспорта

финансовых услуг (табл. 7). В то время как в Российской Федерации отмечается их существенное сокращение (от 9 % в 2022 г. до 21,9 % в 2023 г.).



Таблица 7. Динамика экспорта финансовых услуг государств – членов ЕАЭС, 2020-2023 гг.

Государства – члены	2020 г.	2021 г.		2022 г.		2023 г.	
		млн долл. США	в % к предыдущему году	млн долл. США	в % к предыдущему году	млн долл. США	в % к предыдущему году
Армения	19,1	14,2	74,3	198,3	1396,5	158,9	80,1
Беларусь	50,6	78,5	155,1				
Казахстан	115,1	153,7	133,5	198,1	128,9	480,9	242,8
Кыргызстан	14,7	14,2	96,6	20,8	146,5	115,6	555,8
Россия	1 166,40	1 425,50	122,2	1 297,10	91,0	1 012,90	78,1

Примечание. Составлена автором на основе источника [10].

Аналогичные тенденции наблюдаются и в экспорте транспортных услуг, а также телекоммуникационных, компьютерных и информационных услуг (рис. 4-5).

Как видно из рисунков 3-4, в 2021 г. темпы роста услуг были относительно стабильными по странам. Но уже в 2022 г. эти показатели в государствах, не затронутых санкциями, резко пошли вверх, в то

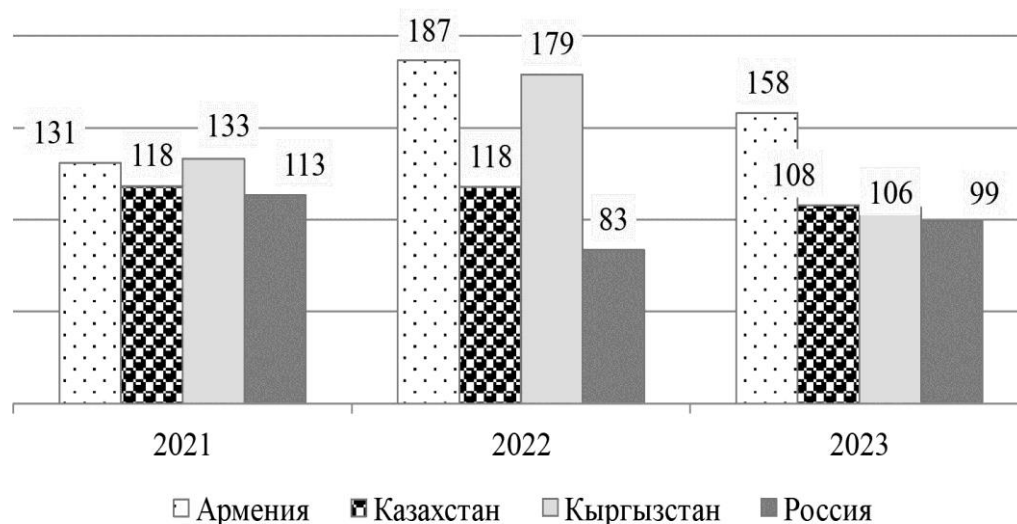


Рисунок 4. Темпы роста экспорта транспортных услуг в государствах – членах ЕАЭС, 2021-2023 гг., %  
Примечание. Выполнен автором на основе данных источника [10].

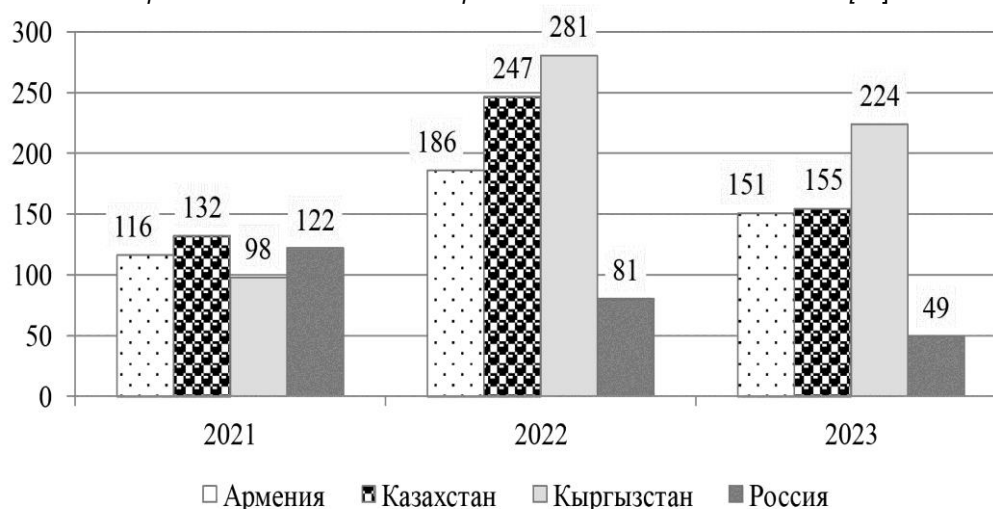


Рисунок 5. Темпы роста экспорта телекоммуникационных, компьютерных и информационных услуг в государствах – членах ЕАЭС, 2021–2023 гг., %  
Примечание. Выполнен автором на основе данных источника [10].

время как в России рост транспортных и коммуникационных услуг показывает обратную тенденцию. По Беларуси статистика по 2022 и 2023 гг. отсутствует.

В целом полученные результаты свидетельствуют о том, что часть товарных и валютных потоков, которые вследствие экономических санкций и ограничений в отношении России и Беларуси были перенаправлены в (через) другие страны, способствовали сохранению общего интеграционного потенциала ЕАЭС, а также дальнейшему совместному развитию государств – членов.

### **Заключение**

Таким образом, проведенные исследования позволили выявить современные тенденции и сделать следующие выводы:

1. Основные правовые положения ЕАЭС ориентированы на формирование благоприятных условий для взаимной торговли и других видов экономического взаимодействия. В то же время в целях защиты национальных интересов, в особых случаях нормами международного права предусмотрена возможность для государств – членов в одностороннем порядке принимать меры, ограничивающие перемещение товаров либо действие иных принятых договоренностей.

2. Развитие аграрной сферы государств – членов ЕАЭС в краткосрочной и долгосрочной перспективе базируется на экономическом состоянии стран, учете национальных особенностей социально-экономического развития, торговых взаимоотношений, законодательства и международных обязательств, эффективном использовании потенциала взаимной и внешней торговли для наиболее полного удовлетворения потребителей сельскохозяйственной продукции и продуктов питания. Наряду с этим, согласованная (скоординированная) агропромышленная политика ЕАЭС включает комплекс антикризисных мер и механизмов по продовольственному обеспечению внутреннего рынка и стимулированию спроса на данную продукцию, а также совместные мероприятия по решению возникающих проблем в условиях форс-мажорных обстоятельств.

3. Установлено, что введение в отношении Беларуси и России экономических санкций оказало отрицательное влияние на тенденции роста таких показателей, как грузооборот, пассажирооборот, оборот розничной торговли, экспорт финансовых услуг. В то же время, отмечаются опережающие темпы роста этих показателей в деятельности других государств – членов ЕАЭС. Это может свидетельствовать о том, что часть товарных и валютных потоков, которые вследствие экономических санкций и ограничений ушли из России и Беларуси, были эффективно перенаправлены в (через) другие страны и создали дополнительные преференциальные условия, положительно влияющие в целом на экономику этих государств – членов интеграционного объединения.

## **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Бельский, В.И. Механизм сбалансированного развития внешней торговли агропродовольственными товарами Беларуси в рамках ЕАЭС / В.И. Бельский, Н.В. Карпович. – Минск: Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2019. – 199 с.
2. Войтко, И.А. Прямое бюджетное субсидирование как фактор устойчивого развития сельскохозяйственного производства Республики Беларусь / И.А. Войтко // Вес. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. аграр. наук. – 2023. – Т. 61, № 2. – С. 95-108.
3. Гусаков, В.Г. Факторы и методы эффективного хозяйствования / В.Г. Гусаков. – Минск: Беларуская навука, 2020. – 56 с.
4. Киреенко, Н.В. Устойчивые продовольственные системы: мировая практика и опыт государств – членов Евразийского экономического союза / Н.В. Киреенко // Белорусский экономический журнал. – 2021. – № 1. – С. 70-86.
5. Киселев, С.В. Развитие экспорта продукции российского агропромышленного комплекса в условиях членства в Евразийском экономическом союзе / С.В. Киселев, С.К. Сеитов // Вестник Московского университета. Серия 6: Экономика. – М: Изд-во Моск. ун-та. – 2022. – № 3. – С. 84-106.
6. Международная конкурентоспособность реального сектора экономики Беларуси / А.Е. Дайнеко [и др.]; под науч. ред. А.Е. Дайнеко. – Минск: БНТУ, 2020. – 228 с.
7. Турбан, Г.В. Таможенный союз Казахстана, России и Беларуси в контексте развития региональных торговых соглашений / Г.В. Турбан // Белорусский экономический журнал. – 2013. – № 3. – С. 57-73.
8. Ушачев, И.Г. Приоритетные направления развития АПК на современном этапе / И.Г. Ушачев, А.В. Колесников, В.В. Маслова // АПК: Экономика, управление. – 2025. – № 1. – С. 3-13.
9. Статистический ежегодник Евразийского экономического союза; Евразийская экономическая комиссия. – Москва, 2024. – URL: [https://eec.eaeunion.org/upload/files/dep\\_stat/econstat/statpub/Stat\\_Yearbook\\_2024.pdf](https://eec.eaeunion.org/upload/files/dep_stat/econstat/statpub/Stat_Yearbook_2024.pdf) (дата обращения: 03.02.2025).
10. Финансовая статистика Евразийского экономического союза. Оперативные данные за 2023 год. Статистический сборник; Евразийская экономическая комиссия. – Москва, 2024. – URL: [https://eec.eaeunion.org/comission/department/dep\\_stat/union\\_stat/current\\_stat/financial\\_sector\\_entities/statistical\\_compilations/finstat2023.pdf](https://eec.eaeunion.org/comission/department/dep_stat/union_stat/current_stat/financial_sector_entities/statistical_compilations/finstat2023.pdf) (дата обращения: 03.02.2025).

**ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 06.02.2025**

# Правила для авторов

1. Журнал «Агропанорама» помещает достоверные и обоснованные материалы, которые имеют научное и практическое значение, отличаются актуальностью и новизной, способствуют повышению экономической эффективности агропромышленного производства, носят законченный характер. Статьи публикуются на русском языке.

Приказом ВАК от 4 июля 2005 г. № 101 (в редакции приказа ВАК от 2.02.2011 г. № 26) журнал «Агропанорама» включен в Перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований по техническим (сельскохозяйственное машиностроение и энергетика, технический сервис в АПК), экономическим (АПК) и сельскохозяйственным (зоотехния) наукам.

2. Объем научной статьи, учитываемой в качестве публикации по теме диссертации, должен составлять, как правило, не менее 0,35 авторского листа (14000 печатных знаков, включая пробелы между словами, знаки препинания, цифры и др.), что соответствует 8 стр. текста, напечатанного через 2 интервала между строками (5,5 стр. в случае печати через 1,5 интервала).

Рукопись статьи, представляемая в редакцию, должна удовлетворять основным требованиям современной компьютерной верстки. К набору текста и формул предъявляется ряд требований:

1) рукопись, подготовленная в электронном виде, должна быть набрана в текстовом редакторе Word версии 6.0 или более поздней. Файл сохраняется в формате «doc»;

2) текст следует сформатировать без переносов и выравнивания правого края текста, для набора использовать один из самых распространенных шрифтов типа Times (например, Times New Roman Cyr, Times ET);

3) знаки препинания (.,!?:;...) не отделяются пробелом от слова, за которым следуют, но после них пробел обязателен. Кавычки и скобки не отделяются пробелом от слова или выражения внутри них. Следует различать дефис«-» и длинное тире «—». Длинное тире набирается в редакторе Word комбинацией клавиш: Ctrl+Shift+«-». От соседних участков текста оно отделяется единичными пробелами. Исключение: длинное тире не отделяется пробелами между цифрами или числами: 1991-1996;

4) при наборе формул необходимо следовать общепринятым правилам:

а) формулы набираются только в редакторе формул Microsoft Equation. Размер шрифта 12. При длине формулы более 8,5 см желательно продолжение перенести на следующую строку;

б) буквы латинского алфавита, обозначающие переменные, постоянные, коэффициенты, индексы и т.д., набираются курсивом;

в) элементы, обозначаемые буквами греческого и русского алфавитов, набираются шрифтом прямого начертания;

г) цифры набираются шрифтом прямого начертания;

д) аббревиатуры функций набираются прямо;

е) специальные символы и элементы, обозначаемые буквами греческого алфавита, использованные при наборе формул, вставляются в текст только в редакторе формул Microsoft Equation.

ж) пронумерованные формулы пишутся в отдельной от текста строке, а номер формулы ставится у правого края.

Нумеруются лишь те формулы, на которые имеются ссылки в тексте.

3. Рисунки, графики, диаграммы необходимо выполнять с использованием электронных редакторов и вставлять в файл документа Word. Изображение должно быть четким, толщина линий более 0,5 пт, размер рисунка по ширине: 5,6 см, 11,5 см, 17,5 см и 8,5 см.

4. Цифровой материал должен оформляться в виде таблиц. Каждая таблица должна иметь заголовок и номер (если таблиц несколько). Рекомендуется установить толщину линии не менее 1 пт. В оформлении таблиц и

графиков не следует применять выделение цветом, заливку фона.

Фотографии и рисунки должны быть представлены в электронном виде в отдельных файлах формата \*.tif или \*.jpg с разрешением 300 dpi.

Научные статьи, публикуемые в изданиях, включенных в перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований, должны включать:

индекс УДК;

название статьи;

фамилию и инициалы, должность, ученую степень и звание автора (авторов) статьи;

аннотацию на русском и английском языках;

ключевые слова на русском и английском языках;

введение;

основную часть, включающую графики и другой иллюстративный материал (при их наличии);

з а к л ю ч е н и е , з а в е р ш а е м о е ч е т к о сформулированными выводами;

список цитированных источников;

дату поступления статьи в редакцию.

В разделе «Введение» должен быть дан краткий обзор литературы по данной проблеме, указаны не решенные ранее вопросы, сформулирована и обоснована цель работы.

Основная часть статьи должна содержать описание методики, аппаратуры, объектов исследования и подробно освещать содержание исследований, проведенных авторами.

В разделе «Заключение» должны быть в сжатом виде сформулированы основные полученные результаты с указанием их новизны, преимуществ и возможностей применения.

Дополнительно в структуру статьи может быть включен перечень принятых обозначений и сокращений.

5. Литература должна быть представлена общим списком в конце статьи. Библиографические записи располагаются в алфавитном порядке на языке оригинала или в порядке цитирования. Ссылки в тексте обозначаются порядковой цифрой в квадратных скобках. Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

6. Статьи из научно-исследовательских или высших учебных заведений направляются вместе с сопроводительным письмом, подписанным директором и приложенной экспертной справкой по установленной форме.

7. Статьи принимаются в электронном виде с распечаткой в одном экземпляре. Распечатанный текст статьи должен быть подписан всеми авторами. В конце статьи необходимо указать полное название учреждения образования, организации, предприятия, ученую степень и ученое звание (если есть), а также полный почтовый адрес и номер телефона (служебный или домашний) каждого автора.

8. Авторы несут ответственность за направление в редакцию статей, опубликованных ранее или принятых к печати другими изданиями.

9. Плата за опубликование научных статей не взимается.

10. Право первоочередного опубликования статей предоставляется лицам, осуществляющим послевузовское обучение (аспирантура, докторантура, соиска-тельство), в год завершения обучения.

*Авторские материалы для публикации в журнале «Агропанорама» направляются в редакцию по адресу:*

*220012, г. Минск, пр-т Независимости, 99, корп. 5, к. 602; 608. БГАТУ*

## **Мобильная установка для очистки отработанных гидравлических и моторных масел**



*Предназначена для очистки как свежих товарных смазочных материалов, так и ранее использованных масел в ДВС и гидравлических системах, удовлетворяющих техническим требованиям для дальнейшего повторного использования.*

*Применение установки позволит повысить качество и продлить срок службы моторных и гидравлических масел. Она может использоваться на предприятиях по ремонту и техническому сервису машинно-тракторного парка, а также непосредственно в хозяйствах.*

*Данную установку можно использовать также для профилактической очистки свежих масел, в которых количество загрязнений выше допустимых пределов.*

### **Основные технические данные**

Производительность установки, л/мин.....	20
Рабочий объем бака, л.....	45
Рабочая температура масла, °С.....	60–90
Мощность маслонагревателя, кВт.....	6
Время нагрева масла от 10 до 60°С, мин.....	12
Потребляемая мощность, кВт.....	1,5
Тонкость очистки, мкм.....	5–15
Габаритные размеры установки, мм.....	1250x650x1000
Масса, кг.....	110

