

# ВЕСТНИК

## БЕЛОРУССКОЙ ГОСУДАРСТВЕННОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ АКАДЕМИИ

Научно-методический журнал  
Издается с января 2003 г.  
Периодичность издания – 4 раза в год

2026 № 1

В соответствии с приказом Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь журнал включен в перечень научных изданий для опубликования результатов диссертационных исследований по сельскохозяйственным, техническим (сельскохозяйственное машиностроение) и экономическим (агропромышленный комплекс) наукам

### СОДЕРЖАНИЕ

#### *АГРАРНАЯ ЭКОНОМИКА*

<b>А. А. Гайдуков.</b> Методические подходы к детерминированному факторному анализу начисленной суммы налога на добавленную стоимость .....	5
<b>Д. В. Ильеня.</b> Теоретические основы органического сельского хозяйства как научной категории .....	9
<b>В. И. Радюк.</b> Основные направления повышения эффективности производства продукции растениеводства в сельскохозяйственных организациях Горецкого района.....	13
<b>И. В. Журова, Е. А. Гудкова, С. В. Гудков.</b> Особенности закрытия счетов бухгалтерского учета в сельскохозяйственных организациях.....	19
<b>Е. Н. Гридюшко.</b> Параметры формирования и функционирования рынка ценных бумаг Республики Беларусь .....	23
<b>С. В. Шутова, В. К. Липская.</b> Инновации и нематериальные активы – стратегическая возможность обеспечения инновационной активности организаций аграрного бизнеса .....	28
<b>Т. А. Куруленко.</b> Особенности инвентаризации основных средств в свете новых нормативных актов.....	36

#### *ЗЕМЛЕДЕЛИЕ, СЕЛЕКЦИЯ, РАСТЕНИЕВОДСТВО*

<b>А. Л. Исакова.</b> Влияние регуляторов роста и удобрений на урожайность нигеллы ( <i>Nigella L.</i> ) .....	41
<b>А. А. Потапенко, А. Н. Иванистов, А. А. Пугач.</b> Истинный гетерозис и фенотипическое доминирование внутривидовых гибридов первого поколения яровой мягкой пшеницы.....	45
<b>Е. В. Панкратская, В. В. Скорина.</b> Сравнительная оценка сортов фасоли овощной по содержанию аминокислот .....	49
<b>А. Н. Иванистов, Ван Хайцян, Чжан Жуй.</b> Показатели качества зерна пшеницы китайской селекции .....	54
<b>Е. Л. Андроник, Е. В. Иванова, Д. А. Батюков.</b> Химический мутагенез в селекции льна масличного .....	58

<b>Н. Н. Цыбулько.</b> Коэффициенты использования сельскохозяйственными культурами азота удобрений на дерново-подзолистых почвах (результаты исследований с изотопом <sup>15</sup> N) .....	63
<b>Е. Л. Андроник, Е. В. Иванова, Д. А. Батюков.</b> Коллекция мутантов льна масличного .....	69
<b>И. П. Козловская, Ю. В. Винокурова-Лабунская.</b> Технологические приемы выращивания овощных культур в звене органического севооборота .....	74
<b>О. И. Мишура, М. Л. Радкевич.</b> Влияние форм известковых удобрений на кислотность почвы, содержание микроэлементов и тяжелых металлов в почве и зерне ярового ячменя .....	79
<b>А. А. Блохин, Т. В. Сачивко.</b> Особенности накопления эфирных масел растениями душицы обыкновенной и лаванды узколистной .....	84

### ***МЕХАНИЗАЦИЯ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ***

<b>А. В. Китун, Ю. А. Крупенин, П. Ю. Крупенин.</b> Конструктивно-технологические особенности роботизированных систем навозоудаления .....	89
<b>Конг Цзяли, Лян Эньцян, В. С. Астахов, Г. О. Иванчиков.</b> Исследование механизма газотвердотельного взаимодействия и стратегии управления пневматической системой точного дозирования при посеве кукурузы .....	96
<b>В. А. Шаршунов, С. В. Курзенков, М. В. Цайц, Н. С. Сентюров.</b> Теоретическое обоснование кинематики эксцентрикового воздействия на сетчатую ленту транспортера для очистки вороха льнокостры .....	100
<b>Цзюньянь Лу, С. В. Курзенков.</b> Направления совершенствования оборудования для микроволновой обработки семян .....	106
<b>И. И. Гаврилов, В. И. Клименко, С. В. Курзенков.</b> Оптимизация технологии опрыскивания садов: современные методы, физические основы процессов и направления развития высокоэффективных систем внесения пестицидов .....	110
<b>Цзюньянь Лу, С. В. Курзенков.</b> Исследование условий совмещения стимуляции и снижения обсемененности семян при СВЧ обработке .....	115
<b>Лян Эньцян, Конг Цзяли, В. С. Астахов, Г. О. Иванчиков.</b> Исследование состояния и развития сеялочных устройств для основных зерновых культур Китая .....	123
<b>В. А. Шаршунов, С. В. Курзенков, М. В. Цайц, Н. С. Сентюров.</b> Аналитические исследования рабочей зоны эксцентрика в устройстве очистки льнокостры с колеблющейся сетчатой лентой .....	127
<b>Конг Цзяли, Лян Эньцян, В. С. Астахов, Г. О. Иванчиков.</b> Технологические инновации и перспективы применения усовершенствованного комплекта ножей для посева кукурузы с пневматической системой дозирования .....	133
<b>М. В. Цайц, И. И. Сергеева, Е. Л. Ионас, М. П. Акулич.</b> Производственный травматизм в сельском хозяйстве Республики Беларусь: анализ структуры, динамики и стратегия снижения ....	138
<b>Ю. Д. Карпиевич, В. В. Михалков, А. Н. Карташевич, П. Ю. Малышкин.</b> Бортовой мониторинг технического состояния привода управления сцеплением автотракторной техники .....	145
<b>И. С. Крук, Т. П. Кот, Е. В. Сенчуров, О. В. Гордеенко, В. И. Сороко, Г. Гантулга, Л. Лхагвасурэн.</b> Системы воздушного сопровождения факелов распыла пестицидов в конструкциях современных полевых опрыскивателей .....	151

### ***МЕЛИОРАЦИЯ И ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВО***

<b>О. А. Мерзлова.</b> Альтернативные мелиоранты на загрязненных радионуклидами землях .....	161
--	-----

### ***ИННОВАЦИОННЫЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ***

<b>С. А. Гончаров, А. В. Гончаров.</b> Сравнительный анализ оценок параметров линейной функции прямоугольником и эллипсом в ОмЦН .....	166
--	-----

# BULLETIN

## OF THE BELARUSSIAN STATE AGRICULTURAL ACADEMY

---

The guidance journal  
is published since January, 2003  
Periodicity: issued four times a year

2026 № 1

According to the order of the High Attestation Commission of the Republic of Belarus the journal has been included in the list of scientific works for publishing results of theses on agricultural, technical (agricultural machine building) and economic (agrarian economics) sciences

---

### CONTENTS

#### *AGRICULTURAL ECONOMICS*

<b>A. A. Gaidukov.</b> Methodological approaches to deterministic factor analysis of the accrued value added tax amount.....	5
<b>D. V. Ilyenya.</b> Theoretical foundations of organic farming as a scientific category .....	9
<b>V. I. Radyuk.</b> Key directions for improving crop production efficiency in agricultural organizations in the Goretzky district .....	13
<b>I. V. Zhurova, E. A. Gudkova, S. V. Gudkov.</b> Features of closing accounts in agricultural organizations.....	19
<b>E. N. Gridushko.</b> Parameters of the formation and functioning of the securities market of the Republic of Belarus.....	23
<b>S. V. Shutova, V. K. Lipskaya.</b> Innovation and intangible assets – a strategic opportunity to support innovation activities in agricultural business organizations.....	28
<b>T. A. Kurulenko.</b> Features of fixed asset inventory in light of new regulations.....	36

#### *FARMING AND PLANT-GROWING*

<b>A. L. Isakova.</b> The effect of growth regulators and fertilizers on nigella ( <i>Nigella L.</i> ) yield.....	41
<b>A. A. Potapenko, A. N. Ivanistov, A. A. Pugach.</b> True heterosis and phenotypic dominance of first-generation intraspecific hybrids of spring soft wheat .....	45
<b>E. V. Pankrutskaya, V. V. Skorina.</b> Comparative evaluation of vegetable bean varieties by amino acids.....	49
<b>A. N. Ivanistov, Wang Haitaiyan, Zhang Rui.</b> Chinese wheat grain quality indicators .....	54
<b>E. L. Andronik, E. V. Ivanova, D. A. Batyukov.</b> Chemical mutagenesis in oil flax breeding .....	58
<b>N. N. Tsybulko.</b> Coefficients of consumption of fertilizer nitrogen by crops on sod-podzolic soils (results of <sup>15</sup> N isotopic studies).....	63
<b>E. L. Andronik, E. V. Ivanova, D. A. Batyukov.</b> A collection of oil flax mutants.....	69

<b>I. P. Kozlovskaya, Y. V. Vinokurova-Labunskaya.</b> Technological methods for cultivating vegetable crops in organic crop rotation .....	74
<b>O. I. Mishura, M. L. Radkevich.</b> The influence of lime fertilizer forms on soil acidity, trace element and heavy metal contents in soil and spring barley grain .....	79
<b>A. A. Blokhin, T. V. Sachivko.</b> Characteristics of essential oil accumulation in plants of <i>origonum vulgare</i> and lavender .....	84

### ***MECHANIZATION AND POWER ENGINEERING***

<b>A. V. Kitun, Yu. A. Krupenin, P. Yu. Krupenin.</b> Design and technological features of robotic manure removal systems .....	89
<b>Cong Jiali, Liang Enqian, V. S. Astakhov, G. O. Ivanchikov.</b> Study of the mechanism of gas-solidside interaction and control strategy for a pneumatic precision dosing system in corn sowing .....	96
<b>V. A. Sharshunov, S. V. Kurzenkov, M. V. Tsayts, N. S. Sentyurov.</b> Theoretical substantiation of the kinematics of eccentric impact on the mesh belt of a conveyor for cleaning flax shives .....	100
<b>Jungian Lu, S. V. Kurzenkov.</b> Directions for improvement of equipment for microwave seed treatment .....	106
<b>I. I. Gavrilov, V. I. Klimenko, S. V. Kurzenkov.</b> Optimizing garden spraying technology: modern methods, physical principles of processes, and development directions for highly efficient pesticide application systems .....	110
<b>Lyu Junyan, S. V. Kurzenkov.</b> Studying conditions for combining stimulation and reducing seed contamination during microwave treatment .....	115
<b>Liang Enqian, Kong Jiali, V.S. Astakhov, G.O. Ivanchikov.</b> A study of the status and development of seeding devices for China's main grain crops .....	123
<b>V. A. Sharshunov, S. V. Kurzenkov, M. V. Tsayts, N. S. Sentyurov.</b> Analytical studies of the working zone of an eccentric shaft in a flax-shive cleaning device with an oscillating mesh belt .....	127
<b>Cong Jiali, Liang Enqian, V.S. Astakhov, G.O. Ivanchikov.</b> Technological innovations and prospects for the use of an improved knife set for corn seeding with a pneumatic metering system .....	133
<b>M. V. Tsayts, I. I. Sergeyeva, E. L. Ionas, M. P. Akulich.</b> Occupational injuries in agriculture in the Republic of Belarus: analysis of structure, dynamics, and reduction strategy .....	138
<b>Yu. D. Karpievich, V. V. Mikhalkov, A. N. Kartashevich, P. Yu. Malyshkin.</b> On-board monitoring of the technical condition of automotive tractor clutch control drives .....	145
<b>I. S. Kruk, T. P. Kot, E. V. Senchurov, O. V. Gordeenko, V. I. Soroko, G. Gantulga, L. Lkhagvasuren.</b> Pesticide air guidance systems in modern field sprayer design .....	151

### ***MELIORATION AND LAND USE PLANNING***

<b>V. A. Miarzlova.</b> Alternative soil reclamation techniques for radionuclide-contaminated lands .....	161
---	-----

### ***INNOVATIVE EDUCATIONAL TECHNOLOGIES***

<b>S. A. Goncharov, A. V. Goncharov.</b> A comparative analysis of linear function parameter estimates using a rectangle and ellipse in the OMCN .....	166
--	-----

## АГРАРНАЯ ЭКОНОМИКА

УДК 303.722.2 : 336.22

### МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ДЕТЕРМИНИРОВАННОМУ ФАКТОРНОМУ АНАЛИЗУ НАЧИСЛЕННОЙ СУММЫ НАЛОГА НА ДОБАВЛЕННУЮ СТОИМОСТЬ

А. А. ГАЙДУКОВ

*УО «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции  
и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия»,  
г. Горки, Республика Беларусь, 213407, e-mail: haidukou@list.ru*

*(Поступила в редакцию 05.01.2026)*

*В статье рассмотрена методика проведения детерминированного факторного анализа суммы начисленного налога на добавленную стоимость. На основании условных данных с помощью способа цепной подстановки оценено влияние налоговой базы и ставки налога на изменение результативного показателя по отдельной ставке НДС. При этом отмечено воздействие на результат только одного фактора, так как ставка налога остается неизменной.*

*При проведении последовательного детерминированного факторного анализа по каждой ставке, а также по общей налоговой базе и средней ставке налога, представляется возможной более полная оценка влияния основных факторов на изменение начисленной суммы НДС. В качестве факторов выступает общая налоговая база, ее структура и ставка налога на добавленную стоимость. В данном случае при анализе на уровне отдельной организации ставка налога не изменяется и, по сути, ее влияние представляет собой изменение структуры налоговой базы по отдельным постоянным ставкам налога. Предлагаемая методика анализа заслуживает внимания при оценке влияния основных факторов на изменение суммы начисленного НДС по совокупности организаций на уровне отдельного региона.*

*Предложенная методика детерминированного факторного анализа суммы начисленного НДС позволяет более полно оценить влияние основных факторов на изменение суммы начисленных налогов, дополнить тематический анализ начисленных и выплаченных налогов и платежей при изучении экономического анализа, а также использовать в практической деятельности организаций АПК для обоснования оптимальных управленческих решений.*

**Ключевые слова:** *налог на добавленную стоимость, налоговая база, ставка налога, факторный анализ, результат.*

*This article examines the methodology for conducting a deterministic factor analysis of the accrued value-added tax amount. Using conditional data and chain substitution, the impact of the tax base and tax rate on the change in the performance indicator for a specific VAT rate is estimated. The impact of only one factor on the result is noted, as the tax rate remains unchanged.*

*By conducting a sequential deterministic factor analysis for each rate, as well as for the overall tax base and average tax rate, it is possible to more fully assess the impact of the main factors on changes in the accrued VAT amount. These factors include the overall tax base, its structure, and the value-added tax rate. In this case, when analyzed at the level of an individual organization, the tax rate remains unchanged, and its impact essentially represents a change in the structure of the tax base for individual fixed tax rates. The proposed analysis methodology merits consideration when assessing the impact of key factors on changes in the amount of accrued VAT for a group of organizations at the level of a single region.*

*The proposed methodology for deterministic factor analysis of the amount of accrued VAT allows for a more comprehensive assessment of the impact of key factors on changes in the amount of accrued taxes, complements thematic analysis of accrued and paid taxes and payments when studying economic analysis, and can also be used in the practical activities of agricultural organizations to substantiate optimal management decisions.*

**Key words:** *value added tax, tax base, tax rate, factor analysis, results.*

#### **Введение**

Важным элементом управления и обязательным условием эффективного функционирования финансовой системы и экономики страны в целом является анализ системы налогообложения. В системе управления налоговый анализ занимает основное место как при налоговом планировании, так и при налоговом контроле. В системе управления финансами экономического субъекта он направлен на оценку действующего налогового механизма с целью сокращения налоговых затрат и улучшения показателей деятельности налогоплательщика. Предметом налогового анализа на микроуровне выступают налогооблагаемые базы и налоговые платежи. Результаты анализа на макроуровне используются для разработки предложений по совершенствованию действующего законодательства и налогового администрирования, а анализа на микроуровне – для разработки легитимных мероприятий по уменьшению налоговой нагрузки [1].

В большинстве сельскохозяйственных организаций наибольший удельный вес в структуре начисленных налогов занимает налог на добавленную стоимость (НДС) [2]. В связи с этим анализ НДС, в том числе факторный, является важнейшей частью налогового анализа.

НДС по реализации исчисляется как произведение налоговой базы и налоговой ставки:

$$\text{НДС}_{\text{исч}} = \text{НБ} \cdot \text{Ст}, \quad (1)$$

где  $\text{НДС}_{\text{исч}}$  – исчисленная сумма налога; НБ – налоговая база; Ст – установленная ставка налога.

Данная формула используется как факторная модель для проведения детерминированного факторного анализа начисленной суммы НДС по отдельным ставкам налога [3, 4].

Отмечается, что НДС в Беларуси характеризуется обилием возможных ставок налога. Так, в 2025 г. в зависимости от вида операций обложение НДС может осуществляться по ставкам: 0, 10, 20 (общая ставка), 25 %. Кроме того, для некоторых плательщиков возможно применение расчетной ставки налога [5, 6]. Это предполагает отдельные особенности проведения факторного анализа начисленной суммы НДС.

Наиболее важная особенность методов детерминированного факторного анализа состоит в возможности точного определения величины влияния отдельных факторов на прирост результативных показателей [7–13]. В отношении факторного анализа суммы НДС это выражается в количественной оценке влияния на сумму начисленных налогов общей налоговой базы, установленных различных ставок налога, а также – изменения структуры данных факторов.

Цель исследования – с использованием традиционного инструментария факторного анализа рассмотреть отдельное направление количественной оценки влияния отдельных факторов на изменение начисленной суммы налога на добавленную стоимость сельскохозяйственной организации.

### Основная часть

Традиционно с использованием формулы (1) проводится факторный анализ сумм начисленного НДС по каждой ставке налога. Это можно сделать с применением любого способа детерминированного факторного анализа по фактическим данным «Налоговой декларации (расчет) по НДС». Исходные данные для проведения анализа приведены в табл. 1.

Таблица 1. Исходные данные для проведения факторного анализа сумм начисленного НДС

Показатель	Символ	2023 г.	2024 г.	2024 г. к 2023 г. (+, -)
Налоговая база по операциям, облагаемым по ставке 20 %, руб.	НБ <sub>20</sub>	293422,12	237316,33	-56105,79
Налоговая база по операциям, облагаемым по ставке 10 %, руб.	НБ <sub>10</sub>	24814031,11	24620014,09	-194017,02
Сумма НДС, исчисленная по ставке 20 %, руб.	НДС <sub>20</sub>	58684,42	47463,27	-11221,15
Сумма НДС, исчисленная по ставке 10 %, руб.	НДС <sub>10</sub>	2481403,11	2462001,41	-19401,70
Общая сумма начисленного НДС, руб.	НДС <sub>исч</sub>	2540087,53	2509464,68	-30622,85

Примечание. Составлена автором на основании условных данных.

Данные табл. 1 свидетельствуют об уменьшении налоговой базы и сумм начисленного НДС по двум ставкам. Общее снижение суммы начисленного НДС составило 30622,85 руб.

Как отмечалось ранее, при помощи традиционного факторного анализа определяется изменение суммы начисленного НДС по каждой ставке. В данном случае изменение суммы начисленного НДС происходит только под влиянием налоговой базы. Также суммированием налоговой базы и суммы начисленного НДС можно определить среднюю ставку и ее влияние на изменение результативного показателя факторной модели. По данным табл. 1 проведем соответствующие расчеты с помощью способа цепной подстановки и представим в табл. 2.

Таблица 2. Результаты факторного анализа суммы начисленного НДС

Показатель	Налоговая база, руб.		Ставка налога, %		
	2023 г.	2024 г.	2023 г.	2024 г.	
По ставке налога 20 %	293422,12	237316,33	20	20	
По ставке налога 10 %	24814031,11	24620014,09	10	10	
Итого	25107453,23	24857330,42	–	–	
По общей сумме НДС	25107453,23	24857330,42	10,12*	10,10*	
Показатель	Сумма НДС, руб.		всего	Изменение суммы НДС, руб.	
	2023 г.	2024 г.		В т. ч. за счет:	
				НБ	Ст
По ставке налога 20 %	58684,42	47463,27	-11221,15	-11221,15	–
По ставке налога 10 %	2481403,11	2462001,41	-19401,70	-19401,70	–
Итого	2540087,53	2509464,68	-30622,85	-30622,85	–
По общей сумме НДС	2540087,53	2509464,68	-30622,85	-25304,59	-5318,26

Примечание. Составлена автором на основании данных табл. 1.

\* – средняя ставка налога для расчетов используется с максимальной точностью.

Таким образом, за счет изменения налоговой базы по ставке 20 % сумма начисленного НДС уменьшилась в 2024 г. по сравнению с 2023 г. на 11221,15 руб. Изменение налоговой базы по ставке налога 10 % обусловило уменьшение начисленной суммы НДС на 19401,70 руб. Так как ставка налога не изменялась, данный фактор не оказывал влияние на результат. При этом изменение общей суммы налоговой базы вызвало уменьшение начисленного НДС на 24304,59 руб. Уменьшение средней ставки налога на 0,02 п. п. обусловило снижение начисленной суммы НДС на 5318,26 руб.

Тем не менее, по результатам расчетов, представленных в табл. 2, не представляется возможным оценить влияние изменение структуры налоговой базы на общую сумму начисленного НДС, что зачастую имеет значительную практическую значимость. В связи с этим, на наш взгляд, целесообразно учесть такое влияние с помощью введения в формулу (1) структурного фактора:

$$\text{НДС}_{\text{исч}} = \sum_{i=1}^n \text{НБ}_{\text{общ}} \cdot \text{Уд}_i \cdot \text{Ст}_i,$$

где  $\text{НБ}_{\text{общ}}$  – налоговая база по всем ставкам НДС;  $\text{Уд}_i$  – удельный вес налоговой базы по  $i$ -й ставке налога;  $\text{Ст}_i$  – установленная ставка  $i$ -го налога;  $i$  – номер ставки налога;  $n$  – множество ставок НДС в организации.

Далее представим расчеты с использованием формулы (2) способом цепной подстановки, предварительно определив структуру налоговой базы по отдельным ставкам НДС (табл. 3).

Таблица 3. Динамика состава и структуры налоговой базы НДС по отдельным ставкам

Показатель	Налоговая база, руб.		Структура, %		Изменение структуры 2024 г. к 2023 г., п. п.
	2023 г.	2024 г.	2023 г.	2024 г.	
По ставке налога 20 %	293422,12	237316,33	1,17	0,95	– 0,21
По ставке налога 10 %	24814031,11	24620014,09	98,83	99,05	+ 0,21
По общей сумме НДС	25107453,23	24857330,42	100,00	100,00	–

Примечание. Составлена автором на основании данных табл. 1.

Данные табл. 3 указывают на незначительное изменение структуры в сторону увеличения удельного веса налоговой базы по ставке НДС 10 %.

Вспомогательные расчеты для проведения факторного анализа:

$$\text{НДС}_{\text{исч}_{2023}} = 2540087,53 \text{ руб.};$$

$$\text{НДС}_{\text{исч}_{\text{усл}1}} = \sum_{i=1}^n \text{НБ}_{\text{общ}_{2024}} \cdot \text{Уд}_{i_{2023}} \cdot \text{Ст}_{i_{2023}} = 24857330,42 \cdot 0,0117 \cdot 0,20 + 24857330,42 \times 0,9883 \times 0,10 = 2514782,94 \text{ руб.};$$

$$\text{НДС}_{\text{исч}_{\text{усл}2}} = \sum_{i=1}^n \text{НБ}_{\text{общ}_{2024}} \cdot \text{Уд}_{i_{2024}} \cdot \text{Ст}_{i_{2023}} = 24857330,42 \cdot 0,0095 \cdot 0,20 + 24857330,42 \times 0,9905 \times 0,10 = 2509464,68 \text{ руб.};$$

$$\text{НДС}_{\text{исч}_{2024}} = 2509464,68 \text{ руб.}$$

Оценка влияния факторов на изменение суммы начисленного НДС в целом по организации:

– за счет изменения общей налоговой базы:

$$\Delta \text{НДС}_{\text{НБ}_{\text{общ}}} = \text{НДС}_{\text{исч}_{\text{усл}1}} - \text{НДС}_{\text{исч}_{2023}} = 2514782,94 - 2540087,53 = -25304,59 \text{ руб.};$$

– за счет изменения структуры налоговой базы по ставкам налога:

$$\Delta \text{НДС}_{\text{Уд}} = \text{НДС}_{\text{исч}_{\text{усл}2}} - \text{НДС}_{\text{исч}_{\text{усл}1}} = 2509464,68 - 2514782,94 = -5318,26 \text{ руб.};$$

– за счет изменения ставки налога:

$$\Delta \text{НДС}_{\text{Ст}} = \text{НДС}_{\text{исч}_{2024}} - \text{НДС}_{\text{исч}_{\text{усл}2}} = 2509464,68 - 2509464,68 = 0 \text{ руб.}$$

Следовательно, изменение общей налоговой базы и ее структуры по ставкам налога на добавленную стоимость сумма начисленного НДС уменьшилась на 25304,59 руб. и 5318,26 руб. соответственно.

Необходимо заметить, что в табл. 2 влияние общей налоговой базы на изменение суммы начисленного НДС по организации представлено влиянием данного фактора в факторной модели с использованием средней ставки НДС (–25304,59). Вместе с тем влияние структуры на сумму начисленного НДС можно определить как разницу между общим изменением суммы начисленного НДС и влиянием общей налоговой базы (–5318,26 = –30622,85 – (–25304,59)). Данный момент представляется достаточно важным при проведении факторного анализа на региональном уровне, когда в каждой организации средняя ставка НДС будет различной и вместе с общей налоговой базой и структурой будет также оказывать влияние на изменение суммы начисленного НДС по всем организациям региона.

Пример проведения факторного анализа по двум организациям представлен в табл. 4.

Таблица 4. Результаты факторного анализа суммы начисленного НДС на уровне региона

Показатель	Налоговая база, руб.		Ставка налога, %		
	2023 г.	2024 г.	2023 г.	2024 г.	
1-я организация	25107453,23	24857330,42	10,12*	10,10*	
2-я организация	13071025,05	14145849,06	10,34*	10,25*	
Итого	38178478,28	39003179,48	–	–	
В целом по региону	38178478,28	39003179,48	10,19*	10,15*	
Показатель	Сумма НДС, руб.		Изменение суммы НДС, руб.		
	2023 г.	2024 г.	всего	В т. ч. за счет:	
				НБ	Ст
1-я организация	2540087,53	2509464,68	– 30622,85	– 25304,59	– 5318,26
2-я организация	1351382,70	1449590,11	98207,41	111123,54	– 12916,13
Итого	3891470,23	3959054,79	67584,56	85818,95	– 18234,39
В целом по региону	3891470,23	3959054,79	67584,56	84060,45	– 16475,89

Примечание. Составлена автором на основании условных данных.

\* – средняя ставка налога для расчетов используется с максимальной точностью.

В целом с использованием взаимосвязи результатов факторного анализа, представленного в табл. 3, по результатам оценки влияния факторов на изменение начисленной суммы НДС на региональном уровне по двум организациям, можно отметить – сумма начисленного НДС по организациям региона в 2024 г. по сравнению с 2023 г. увеличилась на 67584,56 руб.: за счет изменения общей налоговой базы по всем организациям и налоговым ставкам сумма начисленного НДС увеличилась на 84060,45 руб.; за счет изменения средней ставки налога по организациям региона сумма начисленного НДС уменьшилась на 18234,39 руб.; за счет изменения структуры налоговой базы по отдельным организациям региона сумма начисленного НДС увеличилась на 1758,50 руб. ( $1758,50 = 67584,56 - 84060,45 - (-18234,39)$ ).

### Заключение

Результаты проведенного исследования позволяют сделать следующие основные выводы:

- традиционный детерминированный факторный анализ суммы начисленного НДС позволяет оценить влияние налоговой базы на изменение результативного показателя по каждой ставке налога, так как она остается неизменной;
- проведение факторного анализа по общей налоговой базе и средней ставке налога позволяет оценить изменение начисленной суммы НДС в зависимости от изменения налоговой базы без изменения ее структуры по отдельным критериям (по ставке налога, по организациям региона и т. д.);
- использование результатов факторного анализа по отдельным объектам и по итоговым значениям по всем объектам с использованием балансового метода позволяет учесть влияние всех основных факторов на изменение суммы начисленного НДС (налоговой базы, ее структуры по отдельным критериям, средней ставки налога).

### ЛИТЕРАТУРА

1. Попова, Л. В. Налоговый анализ: учеб. пособие / Л. В. Попова, Н. Г. Варакса, Е. Г. Дедкова. – Орел: ФГОУ ВПО «Гос. университет – УНПК», 2011. – 165 с.
2. Налогообложение в сельском хозяйстве Беларуси / Исследовательский центр ИМП [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.research.by/webroot/delivery/files/pp2004r08.pdf> (дата обращения: 14.12.2025).
3. Пищик, Т. В. Методика текущего анализа налогообложения на предприятиях торговли / Т. В. Пищик // Бухгалтерский учет и анализ. – 2004. – № 10. – С. 40–44.
4. Желада, Т. Анализ динамики, состава и структуры налогов, сборов и других обязательных платежей торговой организации [Электронный ресурс] / Т. Желада. – URL: <https://bii.by/docs/analiz-dinamiki-sostava-i-struktury-nalogov-sborov-i-drugikh-obyazatelnykh-161245> (дата обращения: 14.12.2025).
5. НДС в Беларуси: общие правила // ilex [Электронный ресурс]. – URL: <https://ilex.by/nds-v-belarusi-obshhie-pravila/>. – (дата обращения: 14.12.2025).
6. Налоговый кодекс Республики Беларусь. Особенная часть [Электронный ресурс]: 29 дек. 2009 г., № 71-3: принят Палатой представителей 11 дек. 2009 г.: одобр. Советом Респ. 18 дек. 2009 г.: в ред. Закона Респ. Беларусь от 13.12.2024 г., № 47-3 // Бизнес-инфо: аналит. правовая система / ООО «Профессиональные правовые системы». – Минск, 2025.
7. Гайдуков, А. А. Методика количественной оценки влияния структурного фактора на изменение результативного показателя с использованием способа логарифмирования / А. А. Гайдуков // Бухгалтерский учет и анализ. – 2022. – № 3. – С. 45–49.
8. Гайдуков, А. А. Методика оценки влияния структурного фактора в детерминированном факторном анализе с использованием интегрального метода / А. А. Гайдуков // Вестн. Белорус. гос. с.-х. акад. – 2022. – № 1. – С. 10–13.
9. Гайдуков, А. А. Отдельные аспекты использования способов детерминированного факторного анализа / А. А. Гайдуков // Современная аграрная экономика: наука и практика: материалы V междунар. науч.-практ. конф., Горки, 15–16 июня 2022 г. / Белорус. гос. с.-х. акад.; редкол.: И. В. Шафранская (гл. ред.) [и др.]. – Горки: БГСХА, 2022. – С. 39–42.
10. Гайдуков, А. А. Теория анализа хозяйственной деятельности: курс лекций / А. А. Гайдуков. – Горки: БГСХА, 2022. – 105 с.
11. Детерминированный факторный анализ / Финансовый директор. – 2022. – 6 дек.
12. Притула, О. Д. Особенности и условия применения методов детерминированного факторного анализа в исследовании социально-экономических процессов / О. Д. Притула // Дни науки – 2018: материалы Всерос. науч.-практ. конф., Великий Новгород, 17–19 апреля 2018 г. – В. Новгород, 2018. – С. 70–75.
13. Савицкая, Г. В. Теоретические основы анализа хозяйственной деятельности: учеб. пособие / Г. В. Савицкая. – М.: ИНФРА-М, 2018. – 217 с.

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОРГАНИЧЕСКОГО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА КАК НАУЧНОЙ КАТЕГОРИИ

Д. В. ИЛЬНЯ

УО «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции  
и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия»,  
г. Горки, Республика Беларусь, 213407, e-mail: [dasha.goretskaya@mail.ru](mailto:dasha.goretskaya@mail.ru)

(Поступила в редакцию 08.01.2026)

*В данной статье проведен анализ основных понятий органического сельского хозяйства. Интенсивная химизация сельскохозяйственного производства имеет свои отрицательные стороны. Возникают сомнения в безопасности продуктов питания, получаемых в условиях «химического прессинга» растений, усиливается тревога по поводу угрожающих человеку и животным высоких доз минеральных удобрений и особенно пестицидов, большинство из которых созданы путем химического синтеза и не имеют природных систем нейтрализации и разрушения. При интенсивных технологиях возделывания в больших объемах потребляются невозобновляемые природные ресурсы (например, фосфатное сырье), запасы которых быстро уменьшаются, не оставляя шансов нашим потомкам. Реально возникает угроза загрязнения элементов окружающей среды, таких как почвенный покров, грунтовые и поверхностные воды, атмосферный воздух и прочие – остаточными количествами агрохимикатов. Это обусловило в развитых странах Запада стремление к поиску таких приемов и систем, которые явились бы альтернативой сложившимся методам интенсивных технологий и были бы свободны от присущих им отрицательных черт. Возникло вначале стихийное, а позднее организационно оформившееся течение, включающее ряд направлений, объединенное под общим названием «органическое земледелие». Опыт такого земледелия насчитывает более 50 лет. Исследование истории становления понятия «органического сельского хозяйства» позволило обобщить опыт ученых разных стран мира и сформулировать собственное определение органического сельского хозяйства. Органическое сельское хозяйство – это инновационное направление ведения сельского хозяйства, направленное на работу с экосистемами, биогеохимическими циклами веществ и элементов, в рамках которой происходит сознательная минимизация или исключение использования синтетических удобрений, пестицидов, регуляторов роста растений, кормовых добавок, генетически модифицированных организмов, а для увеличения урожайности, обеспечения культурных растений элементами минерального питания, борьбы с вредителями и сорняками, активнее применяется эффект севооборотов, органических удобрений и различных методов обработки почвы.*

**Ключевые слова:** сельское хозяйство, органическое сельское хозяйство, органическая сельскохозяйственная продукция, органические продукты питания, органическое сельскохозяйственное производство.

*This article analyzes the basic concepts of organic agriculture. Intensive chemicalization of agricultural production has its downsides. Concerns have arisen about the safety of food products produced under conditions of "chemical pressure" on plants, and concerns have grown over the high doses of mineral fertilizers and, especially, pesticides, which pose a threat to humans and animals. Most of these are created through chemical synthesis and lack natural systems for neutralization and degradation. Intensive cultivation technologies consume large quantities of non-renewable natural resources (e.g., phosphate rock), whose reserves are rapidly depleting, leaving no chance for future generations. There is a real risk of contamination of environmental elements such as soil, groundwater, surface water, atmospheric air, and others with residual amounts of agrochemicals. This has prompted a search in developed Western countries for methods and systems that would provide an alternative to established intensive farming methods and be free of their inherent negative traits. A movement emerged, which was initially spontaneous and later institutionalized, encompassing a number of approaches, collectively known as "organic farming." This type of farming has a history spanning over 50 years. Research into the development of the concept of "organic farming" has allowed scientists around the world to synthesize the experience of scientists and formulate a unique definition of organic farming. Organic farming is an innovative approach to agriculture focused on ecosystems and the biogeochemical cycles of substances and elements. It consciously minimizes or eliminates the use of synthetic fertilizers, pesticides, plant growth regulators, feed additives, and genetically modified organisms. Crop rotation, organic fertilizers, and various soil cultivation methods are used more actively to increase yields, provide crops with mineral nutrients, and control pests and weeds.*

**Key words:** agriculture, organic agriculture, organic agricultural products, organic food, organic agricultural production.

### Введение

На протяжении всего периода развития сельского хозяйства человек пытался снизить зависимость от окружающей среды и изменить ее в своих целях, зачастую истощая естественные ресурсы. В XX в. человек больше потерял природных и культурных связей, чем в течение многих других столетий. Научно-технический прогресс дал возможность подчинить природу своим нуждам, контролировать и управлять многими происходящими в ней процессами. При столь массивном техногенном воздействии природа утрачивает способность к самовосстановлению. Нарушение природных взаимосвязей ведет к разрушению всей системы окружающей среды, что угрожает новыми, ранее невиданными проблемами, серьезность которых столь велика, что можно говорить об угрозе для существования всего человечества. Появилась необходимость пересмотреть подходы к применению научных знаний в природной системе. Это привело к созданию ряда систем «устойчивого» сельского хозяйства, наиболее распространенным из которых стало органическое сельское хозяйство [1].

Исходя из этого, целью данной статьи является проведение анализа основных понятий «органического сельского хозяйства» и, как результат проведенных исследований, формулировка авторского определения.

## Основная часть

Понятие органического сельского хозяйства впервые было введено специалистом по сельскому хозяйству Оксфордского университета лордом Нортборном в книге «Заботьтесь о земле» (1940 г.), который под органическим сельским хозяйством понимал целостный, экологический сбалансированный подход в данной сфере [2].

Исторически так сложилось, что большинство людей считает органическими практически все виды продуктов питания, за исключением разве что соли – продукта минерального происхождения. В ряде стран, например, Германии, Австрии, Бельгии, Швейцарии и Франции, органические продукты именуются как «биопродукты» [3]. Однако на постсоветском пространстве приставка «био» стала широко использоваться для обозначения продуктов питания, обогащенных витаминами и полезными бактериями. Подобные биопродукты уже надежно закрепились на местных рынках, при этом ничего общего с биопродуктами в международном понимании этого термина они не имеют. Таким образом, называть органические продукты на территории СНГ как биопродукты в настоящее время нецелесообразно, что может создать неразбериху. Нередко органические продукты называют «экологически чистыми», что верно только частично, так как упомянутый уже термин не отображает комплексного подхода [4]. Экологичность – это лишь одно из преимуществ биоорганической продукции, но далеко не единственное. Хотя в некоторых странах, например, в Нидерландах, Испании и Норвегии, органические продукты принято называть эко продуктами [5].

Большую роль в развитии и популяризации нового направления сыграл ряд выдающихся ученых, прежде всего из Западной Европы, США и Японии. Одним из основателей органического сельского хозяйства стал британский ботаник А. Говард, его часто называют «отцом» органического сельского хозяйства [2]. Долгое время он работал в Индии в качестве сельскохозяйственного советника. Изучив традиционные методы ведения сельского хозяйства в Индии, он пришел к выводу, что данная система значительно превосходит европейские технологии сельскохозяйственного производства. С тех пор он стал исследовать новые методы земледелия, безвредного для человека и окружающей среды, основные принципы которого мы сегодня относим к органическому сельскому хозяйству. Его книга «Сельскохозяйственный завет» (1940 г.) оказала огромное влияние на многих ученых и фермеров. В ней автор описал негативное влияние химических удобрений на здоровье животных и растений, предложив систему удобрения почв, базирующуюся на использовании компостов из растительных остатков и навоза. После выхода книги органическое сельское хозяйство начинает приобретать широкую популярность как в самой Англии и ее колониях, так и других странах мира [6].

Важный вклад в развитие органического сельского хозяйства внес Р. Штайдер, создавший первый комплексный труд «Духовно-научные основы успешного развития сельского хозяйства», посвященный органическому сельскому хозяйству [5]. В США методы органического сельского хозяйства начинают появляться в 20–30 гг. XX века, после пыльных бурь, нанесших колоссальный вред сельскому хозяйству страны. Из-за возникших серьезных проблем в земледелии необходимо было найти новые подходы и технологии ведения сельского хозяйства, безопасные для окружающей среды. Под руководством Х. Беннетта создается служба сохранения почв. В основе методов, которые предлагались им для предотвращения эрозии почв и повышения их плодородия, лежали принципы органического сельского хозяйства [6]. Успех данной службы породил создание в 1941 г. специальной лаборатории США «Растение, почва и питание» при департаменте сельского хозяйства США.

В Японии органическое сельское хозяйство стало развиваться около 100 лет назад. Важный вклад в его развитие внес японский философ М. Окада, который [13] особое внимание уделял так называемому «естественному сельскому хозяйству» [1]. Принципы этого направления во многом соответствуют современному органическому сельскому хозяйству. М. Окадо разработал пять основных принципов ведения сельского хозяйства: создание безопасной и питательной пищи, гарантирующей здоровье человека; экономически выгодное производство; минимизация труда при максимальной эффективности; сохранение окружающей среды; производство достаточного количества продуктов питания.

Одним из основоположников органического сельского хозяйства является фермер М. Фукуода, практиковавший у себя на ферме новый метод ведения сельского хозяйства, который он называл «непахотный, без удобрений, без прополки, без пестицидов, метод ничего неделанья в натуральном сельском хозяйстве» [7]. Он считал, что идея о том, что люди могут выращивать урожай, является эгоцентричной, так как урожай вырастет – это естественно. По его методу «невмешательства», человек может вырастить урожай зерновых культур, сопоставимый с полученным при интенсивном ведении сельского хозяйства.

В 70 г. XX века группы фермеров в разных частях США на основе общих принципов органического сельского хозяйства стали создавать свои стандарты, а первые законы органического сельского

хозяйства появились в штате Орегон (1974 г.) [11]. В 1990 г. торговля новыми продуктами значительно возросла в мире. В США были созданы новые законы с целью защиты потребителей от ложных утверждений и повышения осведомленности жителей страны относительно данного направления сельского хозяйства. В 1990 г. вышло федеральное постановление об органических продуктах, однако требования органического сельского хозяйства вступили в силу лишь в 2002 г. под эгидой американского департамента сельского хозяйства [7].

История развития органического сельского хозяйства свидетельствует о постоянном совершенствовании регулирования в этой сфере: требования становятся более детализированными, ужесточается сертификация, появляются дополнительные критерии и нормы, направленные на защиту от продуктов, бесосновательно относящихся к данному направлению развития сельского хозяйства. Надо отметить, что торговля органическими товарами стремительно развивается по всему миру [4]. Ассортимент продукции данного сегмента на мировом рынке постоянно расширяется, что побуждает людей постепенно перейти на «органический образ жизни».

Во время изучения и анализа научной литературы и международных документов, регулирующих вопрос органического сельского хозяйства, был сделан вывод о том, что общего определения дефиниции органического сельского хозяйства не существует.

Анализ основных понятий были систематизирован в таблице.

#### Систематизация понятия органического сельского хозяйства

Автор	Определение	
International Federation of Organic Agriculture Movements (IFOAM) [8]	Органическое сельское хозяйство - производственная система, которая поддерживает здоровье почв, экосистем и людей. Зависит от экологических процессов, биологического разнообразия и природных циклов, характерных для местных условий, избегая использования неблагоприятных ресурсов. Органическое сельское хозяйство объединяет традиции, нововведения и науку, чтобы улучшить состояние окружающей среды и развивать справедливые взаимоотношения и достойный уровень жизни для всего вышеуказанного	Данное определение наиболее полно и четко объясняет сущность понятия органического сельского хозяйства
Кодекс Алиментариус, подготовленный Продовольственной и сельскохозяйственной организацией ООН (ФАО) и Всемирной организацией здравоохранения [9]	Органическое сельское хозяйство является «целостной системой управления производством, которая способствует развитию здоровой аграрной экосистемы с учетом биоразнообразия, биологических циклов и биологических процессов в почве. Она делает особый упор на управленческие и организационные практики вместо таких методов, как дозревание вне хозяйства и принимает во внимание тот факт, что региональные особенности требуют локальной адаптации систем»	В данном определении делается упор на то, что органическое сельское хозяйство – это система УПРАВЛЕНИЯ производством
Федеральный закон «Об органической продукции и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» N 280-ФЗ от 03.08.2018. [10]	Органическое сельское хозяйство – это особо ресурсосберегающая и экологическая форма ведения производства, основанная на принципах устойчивого развития сельских территорий	В данном определении не уточняются главные особенности органического сельского хозяйства
Министерство сельского хозяйства США [11]	Органическое сельское хозяйство – производственная система, которая избегает или исключает использование искусственных удобрений, пестицидов, регуляторов роста и химических кормовых добавок. Оно базируется на использовании севооборотов, растительных остатков, навоза, азотфиксирующих бобовых культур, зеленых удобрений, внефермерских органических отходов, механической культивации почв, биологических методов борьбы с вредителями, и все это с целью поддержания плодородия почвы и её пахотного горизонта, снабжения растений питательными веществами и для борьбы с вредителями и сорняками	В данном определении очень подробно описывается чем заменяются различные удобрения для получения высоких урожаев и поддержания здоровья почв, экосистем и людей
А. Ю. Егоров [12]	Органическое сельское хозяйство – это система ведения аграрного производства, которая сводит к минимуму или полностью исключает использование искусственных минеральных удобрений, пестицидов, генетически модифицированных организмов, регуляторов роста и химических кормовых добавок, базируется на использовании современных сортов растений и пород животных, севооборотов, растительных остатков, навоза, бобовых культур, зеленых удобрений, биологических методов борьбы с вредителями, проведении механической культивации почв, а также соответствует документально зафиксированным и официально утвержденным специальным нормам	Плюсом данного определения является то, что автор уточнил, что использование искусственных минеральных удобрений, пестицидов, генетически модифицированных организмов, регуляторов роста и химических кормовых добавок не только исключается полностью, а может быть сведена минимуму
Н. Эль-Хэджд и К. Хеттем [13]	Органическое сельское хозяйство – процесс производства сертифицированных органических продуктов и ведения	Данные авторы делают упор на то, что сертифика-

	сельского хозяйства, основанного на применении природных ресурсов и процессов с целью повышения сельскохозяйственной производительности	ция нужна, но может не быть обязательной, так как главное соблюдать основные принципы, на которых базируется органическое сельское хозяйство
Ф. Эйхорн [13]	Органическое сельское хозяйство – система сельскохозяйственного производства, которая основывается на природных средствах – севооборотах, компостах, методах биологической борьбы с вредителями, механической обработке для поддержания плодородия почвы и полном исключении использования синтетических удобрений и химических средств защиты растений, кормовых добавок для скота и генетически модифицированных компонентов	Автор в данном определении уточнил, что использование синтетических удобрений и химических средств защиты растений, кормовых добавок для скота и генетически модифицированных компонентов полностью должно быть исключено
Р. Кантемиров [14]	Органическое сельское хозяйство – это сертифицированные соответствующей организацией способы (методы) ведения сельскохозяйственного производства, при которых не используются генетически модифицированные организмы, синтетические химические удобрения и средства защиты, а все процессы производства обеспечивают замкнутый цикл, при котором достигается природо- и ресурсосберегающий эффект	В данном определении делается акцент на том, что способы (методы) ведения сельскохозяйственного производства должны быть сертифицированы и все процессы производства должны обеспечивать замкнутый цикл

### Заключение

На основе вышепредставленных определений понятия органического сельского хозяйства было сформулировано авторское определение, которое звучит следующим образом: «органическое сельское хозяйство – это инновационное направление ведения сельского хозяйства, направленное на работу с экосистемами, биогеохимическими циклами веществ и элементов, в рамках которой происходит сознательная минимизация или исключение использования синтетических удобрений, пестицидов, регуляторов роста растений, кормовых добавок, генетически модифицированных организмов, а для увеличения урожайности, обеспечения культурных растений элементами минерального питания, борьбы с вредителями и сорняками, активнее применяется эффект севооборотов, органических удобрений (навоз, компосты, пожнивные остатки, сидераты и др.) и различных методов обработки почвы. Основной идеей органического сельского хозяйства является замкнутый цикл: получаемое от животноводства органическое удобрение используется для поддержания плодородия почвы и обеспечения растений питательными веществами. А удобрение азотом осуществляется за счет возделывания бобовых культур. При этом благодаря активизации почвенных процессов повышается доступность и других необходимых минеральных элементов в почве.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Гомес, И. Учебное пособие по органическому сельскому хозяйству / И. Гомес, Л. Тивант. – Будапешт, 2017. – 121 с.
2. Lockeretz W. Organic farming: an international history / W. Lockeretz. – London, UK. 2015. – 295 p.
3. Ким, И. Н. Современное состояние органического сельского хозяйства в мире / И. Н. Ким, Е. В. Ширяева. – [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.primacad.ru/images/files/books/2023/OSH23.pdf> (дата обращения: 26.06.2025).
4. Ежегодный консолидированный отчет IFOAM 2017. – [Электронный ресурс]. – URL: <https://ifoam.bio> (дата обращения: 26.06.2025).
5. Хансон, Э. Л. Справочник по органическому сельскому хозяйству / Э. Л. Хансон. – США: VeraPress, 2010. – 410 с.
6. Dabbert S. Organic Farming: policies and prospects / S. Dabbert, A. M. Häring, R. Zanoli. – 192 p.
7. Schmid O. Organic Action Plans: Development, implementation and evaluation / O. Schmid, S. Dabbert, C. Eichert, V. González. Research Institute of Organic Agriculture FiBL, CH-5070 Frick. Switzerland and IFOAM EU Group, BE-1000 Brussels. Belgium, 2020. – 144 p.
8. International Federation of Organic Agriculture Movements (IFOAM) – [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.ifoam.bio/about-us/our-network/national-groups> (дата обращения: 26.06.2025).
9. Кодекс Алиментариус, подготовленный Продовольственной и сельскохозяйственной организацией ООН (ФАО) и Всемирной организацией здравоохранения. – [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/en/> (дата обращения: 26.06.2025).
10. Федеральный закон «Об органической продукции и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» № 280-ФЗ от 03.08.2018. – [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/43456> (дата обращения: 26.06.2025).
11. Министерство сельского хозяйства США. – [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.usda.gov/> (дата обращения: 26.06.2025).
12. Егоров, А. Ю. Формирование и развитие рынка органической агропродовольственной продукции (на примере ЦФО) / А. Ю. Егоров. – М., 2014. – 174 с.
13. Organic agriculture, environment and food security / ed. Nadia El-Hage Scialabba, Caroline Hattam; FAO. Rome, 2002. 258 p. – [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_38572619\\_61911446.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_38572619_61911446.pdf) (дата обращения: 26.06.2025).
14. Кантемиров, Р. Ф. Организационно-экономические аспекты производства экологической сельскохозяйственной продукции в мире / Р. Ф. Кантемиров. – М., 2007. – 19 с.

## ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКЦИИ РАСТЕНИЕВОДСТВА В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОРГАНИЗАЦИЯХ ГОРЕЦКОГО РАЙОНА

В. И. РАДЮК

*УО «Белорусской государственной орденов Октябрьской Революции  
и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственной академия»,  
Горки, Республика Беларусь, 213407*

*(Поступила в редакцию 14.01.2026)*

*В работе рассмотрено современное состояние и экономическая эффективность производства продукции растениеводства в сельхозорганизациях Горьковского района Могилевской области. С помощью экономического анализа выявлены основные факторы, влияющие на повышение экономической эффективности производства продукции растениеводства, определены проблемы и пути их решения.*

*Установлено, что в среднем по району за анализируемый период (2022–2024 гг.) наблюдается снижение эффективности использования земельных ресурсов: производство зерна на 100 га пашни сократилось на 34 %, выход кормовых единиц с 1 га сельхозугодий – на 8,8 %. Большинство хозяйств являются убыточными. Выявлены значительные резервы роста урожайности за счет оптимизации минерального питания. Внесение удобрений под основные культуры существенно (на 54,8–68,7 %) ниже нормативной потребности. Потенциальный резерв увеличения производства за счет ликвидации этого дефицита оценивается в 29,3 тыс. т зерна, 1,4 тыс. т семян рапса и 24,1 тыс. т сахарной свеклы. Определены проблемы в техническом оснащении: недостаточная обеспеченность тракторами и зерноуборочными комбайнами, что ведет к повышенной нагрузке на технику и рискам нарушения сроков агротехнических работ. С помощью многофакторных моделей доказано, что наибольшее влияние на урожайность оказывают естественное плодородие почвы (балл пашни), затраты на удобрения и средства защиты растений, оплату труда и содержание основных средств.*

*На материалах конкретного района проведена комплексная диагностика факторов эффективности растениеводства и построены эконометрические модели, количественно оценивающие влияние ключевых ресурсов на урожайность культур. Сформулирован комплекс конкретных мероприятий для сельхозорганизаций района.*

**Ключевые слова:** *организация производства, сельскохозяйственная продукция, эффективность, перспективы, резервы.*

*This paper examines the current state and economic efficiency of crop production in agricultural organizations in the Gorki District of the Mogilev Region. Using economic analysis, the main factors influencing the economic efficiency of crop production were identified, problems were identified, and solutions were proposed.*

*It was found that, on average, land use efficiency declined in the district over the analyzed period (2022–2024): grain production per 100 hectares of arable land decreased by 34%, and feed yield per hectare of farmland by 8.8 %. Most farms are unprofitable. Significant potential for yield growth was identified through optimization of mineral nutrition. Fertilizer application for primary crops is significantly (54.8–68.7 %) below the standard requirement. The potential for increased production by eliminating this deficit is estimated at 29,300 tons of grain, 1,400 tons of rapeseed, and 24,100 tons of sugar beet. Technical equipment issues have been identified, including an insufficient supply of tractors and grain harvesters, which leads to increased strain on equipment and the risk of delays in agricultural work. Using multifactor models, it has been demonstrated that the greatest impact on crop yield is exerted by natural soil fertility (arable land score), costs of fertilizers and plant protection products, labor costs, and maintenance of fixed assets.*

*Using data from a specific district, a comprehensive analysis of crop production efficiency factors was conducted, and econometric models were constructed to quantitatively assess the impact of key resources on crop yields. A set of specific measures for agricultural organizations in the district was formulated.*

**Key words:** *production organization, agricultural products, efficiency, prospects, reserves.*

### Введение

В сельском хозяйстве земля является главным фактором, без которого немислим процесс сельскохозяйственного производства. Чем выше удельный вес пахотных земель в сельскохозяйственных угодьях, тем эффективнее используются земля, за счет оптимизации размещения посевов с учетом качества земель, совершенствования специализации сельскохозяйственных организаций и структуры посевных площадей в них, урожайности сельхозкультур, окупаемости удобрений и других факторов [4].

Рациональное использование земель сельскохозяйственного назначения предусматривает эффективное и бережное их использование для получения максимальной выгоды при сохранении их плодородия и предотвращении деградации [6].

Повысить экономическую эффективность производства сельхозпродукции означает получить больший результат при одинаковых затратах ресурсов либо получить одинаковый результат при меньших затратах ресурсов [9].

Особенность земли обусловлена ее плодородием, т. е. способностью почвы обеспечивать оптимальные условия роста и развития растений.

Естественное плодородие почвы измеряется баллом сельхозугодий и баллом пашни. Балл плодо-

родия земли обобщает множество природных факторов: мощность гумусового горизонта, содержание гумуса, гранулометрический состав, механические свойства, кислотность (рН), обеспеченность питательными элементами (азот, фосфор, калий), условия увлажнения, рельеф, каменистость и др., которые влияют на урожайность сельхозкультур. Чем выше балл, тем выше потенциальное естественное плодородие почвы и тем выше потенциальная урожайность сельскохозяйственных культур при прочих равных условиях [8, с. 20–21].

Цель исследования – анализ современного состояния и определение резервов повышения экономической эффективности производства продукции растениеводства в сельскохозяйственных организациях Горецкого района Могилевской области.

### Основная часть

Результаты исследований показали, что за анализируемый период балл сельхозугодий и балл пашни не изменился и составил соответственно 25,9 и 31,9 балла. Эффективность использования земли в сельскохозяйственных организациях представлена в табл. 1.

За анализируемый период эффективность использования земли в сельскохозяйственных организациях снижается. Производство зерна на 100 га пашни снизилось на 34,0 %, молока в расчете на 100 га сельскохозяйственных угодий – на 1,9 %. Производство живой массы скота осталось без изменения и составило 66 ц/100 га сельхозугодий. Выход кормовых единиц с 1 га сельхозугодий также снизился на 8,8 %. Это связано со снижением урожайности кормовых культур.

Таблица 1. Эффективность использования земли в сельскохозяйственных организациях

Наименование	Произведено продукции на 100 га пашни, ц		Произведено продукции на 100 га сельхозугодий, ц		Произведено продукции на 1 га сельхозугодий, ц к. ед.	Уровень рентабельности продукции, %
	зерна	рапс	молока	прироста КРС		
По району, в среднем						
за 2022 г.	1567	43	883	66	37,3	6,1
за 2023 г.	1417	106	865	62	37,9	-0,4
за 2024 г.	1034	80	866	66	34,0	-0,9
В т. ч.: КСУП «Овсянка»	926,3	24,3	784,8	45,4	32,3	-10,1
РУП «Учхоз БГСХА»	1103,3	122,5	1300,5	99,4	43,1	2,1
ОАО «Горецкое»	1095,1	117,9	1002,2	61,1	30,6	13,0
СЗАО «Горь»	816,9	113,6	739,5	48,4	38,2	-1,8
ОАО «Коптевская Нива»	1150,8	41,9	1110,1	93,0	36,7	6,4
ОАО «П/з «Ленино»	830,5	68,1	604,6	45,4	23,7	-10,9
ОАО «Маслаки»	1024,7	93,0	811,0	58,1	35,2	1,5
ОАО «Горецкая РАПТ»	1327,2	39,2	675,9	83,0	31,0	-4,5

В целом производство продукции сельского хозяйства в исследуемых организациях убыточное. На каждый вложенный рубль получено 0,9 коп. убытка.

Наиболее эффективными хозяйствами по производству сельхозпродукции являются ОАО «Горецкое» (уровень рентабельности 13 %), ОАО «Коптевская Нива» (уровень рентабельности 6,4 %) и РУП «Учхоз БГСХА» (уровень рентабельности 2,1 %).

Важное значение при использовании сельскохозяйственных земель имеет размер сельскохозяйственных предприятий. Под рациональным размером сельскохозяйственного предприятия понимают такой размер, который при прочих равных условиях в процессе производственной деятельности позволяет лучше всего использовать землю, труд, средства производства и обеспечивает наивысшую прибыль [7, с. 59]. Размер сельскохозяйственных предприятий устанавливается с целью более совершенной и экономически эффективной организации производства как для предприятия, так и для его отраслей и подразделений. Показатели размера хозяйства представлены в табл. 2.

Результаты исследований показали, что сельскохозяйственные предприятия имеют 73613 га сельхозугодий и 61817 га – пашни. Распаханность составляет 84 %. Средний размер сельхозпредприятия: 9200 га сельхозугодий, 7730 га – пашни и 210 работников. За анализируемый период площадь сельхозугодий в сельскохозяйственных предприятиях снизилась на 0,3 %, среднегодовое количество работников – на 8,8 %, а поголовье скота – на 3,5 %, при этом увеличилась площадь пашни (на 2,1 %), распаханность сельхозугодий (на 2 процентных пункта) и стоимость основных производственных фондов в расчете на 1 га сельхозугодий (на 21,8 %). Наибольшая площадь с.-х. угодий и пашни имеется в ОАО «Горецкое РАПТ», соответственно 12150 и 9815 га, распаханность с.-х. угодий – в ОАО «Маслаки» (92 %), среднегодовое количество работников – в РУП «Учхоз БГСХА» (343 чел.), стоимость основных производственных фондов и поголовья скота – 10 тыс. руб. и 5962 гол.

Таблица 2. Показатели размера хозяйства

Наименование	Площадь с.-х угодий, га	Площадь пашни, га	Распаханность, %	Среднегодовое количество работников	Стоимость основных производственных фондов на 1 га угодий, тыс. руб.	Поголовья скота, усл. гол.
По району, в среднем						
за 2022 г.	73839	60555	82,0	1823	6,976	32696
за 2023 г.	74132	61906	83,5	1761	7,451	31950
за 2024 г.	73613	61817	84,0	1663	8,526	31548
В том числе:						
КСУП «Овсянка»	9311	8391	90,1	200	9,751	4375
РУП «Учхоз БГСХА»	10905	8929	81,9	343	10,055	5962
ОАО «Горецкое»	9168	7456	81,3	184	6,504	3206
СЗАО «Горь»	11741	9479	80,7	219	7,665	4151
ОАО «Коптевская Нива»	4612	4032	87,4	137	6,957	2585
ОАО «Племзавод «Ленино»	8262	6845	82,8	165	8,548	3028
ОАО «Маслаки»	7464	6870	92,0	171	6,352	2829
ОАО «Горецкая РАПТ»	12150	9815	80,8	244	10,491	5413

Крупное производство сельхозпродукции сосредоточено в ОАО «Горецкое РАПТ» и в РУП «Учхоз БГСХА».

Дальнейшие наши исследования были направлены на определение основных направлений, влияющих на эффективность производства продукции растениеводства.

Госпрограммой «Аграрный бизнес» на 2021–2025 годы предусматривалось обеспечение растений минеральными элементами питания с учетом их содержания в почве, дробного применения азотных удобрений в период вегетации на основе почвенной и растительной диагностики, что позволило получить урожайность зерновых культур до 40 ц/га и выход растениеводческой продукции пашни 50–60 ц к. ед./га при одновременном поддержании достигнутого потенциала плодородия почв и повышения эффективности удобрений на 30–40 % [1, с. 17–18].

Исследования показали (табл. 3), что в расчете на 1 га пашни в сельхозорганизациях района внесение минеральных удобрений составляет 135,6 кг д. в. под зерновые, 62,5 кг д. в. – под рапс и 127,8 кг д. в/га – под сахарную свеклу.

Таблица 3. Внесение минеральных удобрений в сельскохозяйственных организациях (2024 г.)

Наименование	Внесено минеральных удобрений на 1 га, кг д. в.			Урожайность, ц/га		
	зерно	рапс	сахарная свекла	зерно	рапс	сахарная свекла
КСУП «Овсянка»	152	63	111	30,2	21,5	504,5
РУП «Учхоз БГСХА»	153	46	154	37,8	25,1	501,3
ОАО «Горецкое»	138	33	127	28,6	18,4	534,4
СЗАО «Горь»	161	216	112	29,6	22,4	461,8
ОАО «Коптевская Нива»	175	18	78	45,0	8,2	425,2
ОАО «Племзавод «Ленино»	118	-	97	31,8	7,3	294,6
ОАО «Маслаки»	52	67	158	27,5	15,8	477,1
ОАО «Горецкая РАПТ»	136	57	186	39,4	22,8	464,4
Внесено в среднем	136	63	128	33,7	17,6	457,9
Нормативная потребность	300	200	350			
± к нормативу	164	137	222			
Резерв производства зерна, тыс. т	29,3	1,4	24,1			

Наибольшее количество минеральных удобрений внесено под все выращиваемы сельхозкультуры в СЗАО «Горь», соответственно 161, 216 и 112 кг д. в/га, где получена урожайность соответственно 29,6, 22,4 и 461,8 ц/га; затем в РУП «Учхоз БГСХА» – 153, 46 и 154 кг д. в/га, при урожайности соответственно 37,8, 25,1 и 501,3 ц/га; в ОАО «Горецкое РАПТ» – 136, 57 и 186 кг д. в/га, при урожайности соответственно 39,4, 22,8 и 464,4 ц/га. Однако количество вносимых минеральных удобрений в расчете на 1 га пашни было ниже нормы, по зерновым – на 54,8 %, рапсу – на 68,7 %, сахарной свекле – на 63,4 %. Также было установлено (табл. 3), что сельхозорганизации района имеют резервы по увеличению объема производства зерна, семян рапса и сахарной свеклы за счет повышения уровня внесения удобрений. Резерв роста объема производства зерна составит 29,3 тыс. т, семян рапса – 1,4, сахарной свеклы – 24,1 тыс. т.

Важное значение в обеспечении увеличения объемов производства сельхозпродукции принадлежит энергетическим мощностям, которые представляют собой совокупность всех средств производства, которые имеют механические мощности, необходимые для выполнения комплекса сельскохозяйственных работ [5]. Было отмечено, что за анализируемый период в сельскохозяйственных организациях района, наблюдается снижение уровня расхода дизельного топлива на 100 га посевной площади – на 5,6 % (табл. 4). Наибольшее снижение уровня расхода дизельного топлива на 100 га посевной площади наблюдается в ОАО «Коптевская Нива» (на 23,8 %), в РУП «Учхоз БГСХА» (на 20,6 %), тогда как рост наблюдается в ОАО «Племзавод «Ленино» (на 17,2 %), в СЗАО «Горь»

(на 10,5 %) и ОАО «Горецкая РАПТ» (на 3,6 %).

Таблица 4. Расход дизельного топлива в сельскохозяйственных организациях Республики Беларусь

Наименование	Расход дизельного топлива на 100 га посевной площади, кг					2024 г. в % к 2020 г.
	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.	
КСУП «Овсянка»	9266	8919	8045	8198	7901	85,3
РУП «Учхоз БГСХА»	15911	14678	13600	13311	12637	79,4
ОАО «Горецкое»	12174	12336	11849	10616	11414	93,8
СЗАО «Горь»	9520	9953	10304	10312	10518	110,5
ОАО «Коптевская Нива»	12883	11184	10007	10397	9812	76,2
ОАО «Племзавод «Ленино»	8702	10111	9904	11517	10197	117,2
ОАО «Маслаки»	10236	10030	10167	9316	9042	88,3
ОАО «Горецкая РАПТ»	11006	11134	11270	11207	11398	103,6
По району, в среднем	11074	11059	10719	10653	10456	94,4

Результаты исследований подтверждают, что высокие показатели использования основных фондов в АПК позволяют значительно увеличить продуктивность труда и повысить объемы производства, что в свою очередь способствует укреплению продовольственной безопасности страны [3, с. 9–19].

Не менее важной проблемой является своевременное и качественное выполнение технологических приемов, направленных на защиту почв от эрозии, накопление влаги, создание благоприятных физических условий развития сельскохозяйственных культур (табл. 5).

Таблица 5. Обеспеченность сельхозтехникой в сельскохозяйственных организациях Горецкого района

Наименование	Приходится тракторов на 1000 га посевов, шт.				2004 г в % к 2020 г.	Нагрузка пашни на один трактор, га				2004 г. В % к 2020 г.
	2021 г.	2022 г.	2003 г.	2004 г.		2021 г.	2022 г.	2003 г.	2004 г.	
КСУП «Овсянка»	3,5	3,5	3	2,5	71,4	284	294	336	400	140,8
РУП «Учхоз БГСХА»	6,5	6,4	7,7	7,3	112,3	119	122	130	135	113,4
ОАО «Горецкое»	4,3	4,2	4,1	4,3	100,0	231	238	245	233	100,9
СЗАО «Горь»	3,8	3,9	4,2	4,0	105,3	262	258	239	249	95,0
ОАО «Коптевская Нива»	4,3	4,5	3,5	3,7	86,0	224	224	282	237	105,8
ОАО «Племзавод «Ленино»	4,1	4	3,4	3,7	90,2	242	251	292	274	113,2
ОАО «Маслаки»	3,4	3	3,4	3,3	97,1	275	300	286	286	104,0
ОАО «Горецкая РАПТ»	7,3	7,1	6,7	6,4	87,7	152	149	156	164	107,9
По району, в среднем	4,8	4,7	4,7	4,5	93,8	224	230	246	247	110,3
Нормативная потребность	5,3	5,3	5,3	5,3						
± к нормативу	-0,5	-0,6	-0,6	-0,8						

Исследования показали, что за анализируемый период в сельскохозяйственных организациях района наблюдается снижение на 6,2 % тракторов в расчете на 1000 га посевов, однако на один трактор нагрузка пашни возросла на 10,3 %. При этом количество тракторов в расчете на 1000 га посевов ниже нормы на 0,8 шт., что способствовало увеличению нагрузки на один трактор.

Важной проблемой является обеспеченность сельскохозяйственных организаций комбайнами.

За анализируемый (табл. 6) период в сельскохозяйственных организациях района наблюдается неравномерная обеспеченность комбайнами в расчете на 1000 га посевов. В среднем, на район приходится 1,4 зерноуборочных комбайна, 11,9 кормоуборочных и 0,4 свеклоуборочных. Наибольшее количество зерноуборочных комбайнов имеется в КСУП «Овсянка», ОАО «Коптевская Нива» и СЗАО «Горь» соответственно 2,5, 1,3 и 1,3 шт./1000 га посевов, где получена урожайность соответственно 30,2, 45,0 и 29,6 ц/га. Кормоуборочных – в ОАО «Племзавод «Ленино» и ОАО «Горецкая РАПТ» соответственно 32,8 и 20,2 шт. Свеклоуборочные комбайны имеются в ОАО «Горецкая РАПТ» в количестве 2,5 шт. Остальные хозяйства района их арендуют у Городейского сахарного комбината.

Таблица 6. Обеспеченность комбайнами в сельскохозяйственных организациях (2024 г.)

Наименование	Приходится комбайнов на 1000 га посевов, шт.			Приходится посевов на комбайн, га		
	зерноуборочных	кормоуборочных	свеклоуборочных	зерноуборочных	кормоуборочных	свеклоуборочных
КСУП «Овсянка»	2,5	14,1		154	71	
РУП «Учхоз БГСХА»	1,3	14,6		317	69	
ОАО «Горецкое»	1,2	8,3		368	120	
СЗАО «Горь»	1,3	9,9		312	101	
ОАО «Коптевская Нива»	1,3	7,5		283	133	
ОАО «Племзавод «Ленино»	1,2	32,8		339	31	
ОАО «Маслаки»	1,3	6,0		304	167	
ОАО «Горецкая РАПТ»	1,3	20,2	2,5	353	50	400
По району, в среднем	1,4	11,9	0,4	286	84	400
Нормативная потребность	3,5	5,9				
± к нормативу	-2,1	+6				

Совершенствование мотивации труда работников агропромышленного комплекса является ключе-

вым фактором повышения производительности и эффективности производства. В условиях современной экономики, где конкурентоспособность предприятий напрямую зависит от качества человеческого капитала, мотивация персонала становится важным инструментом для достижения устойчивого развития сельского хозяйства.

Одной из главных причин низкой мотивации труда в сельском хозяйстве являются низкие зарплаты. Это приводит к тому, что многие специалисты предпочитают искать более высокооплачиваемую работу в других сферах. В результате сельское хозяйство сталкивается с нехваткой квалифицированных кадров (табл. 7). Для решения этой проблемы необходимо пересмотреть систему оплаты труда и ввести стимулирующие надбавки за высокие результаты работы [2].

Таблица 7. Обеспеченность рабочей силой сельскохозяйственных организаций

Наименование	Средняя численность работников сельского хозяйства, чел.				Среднемесячная зарплата, руб.			
	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.
КСУП «Овсянка»	97	63	73	200	775	1018	1234	1668
РУП «Учхоз БГСХА»	133	130	109	343	667	762	1064	1913
ОАО «Горецкое»	82	82	69	184	884	971	1121	1944
СЗАО «Горь»	77	74	68	219	650	1074	1105	1889
ОАО «Коптевская Нива»	43	46	50	137	723	1272	1547	1668
ОАО «Племзавод «Ленино»	47	52	49	165	565	823	942	1611
ОАО «Маслаки»	68	61	57	171	708	858	1124	1701
ОАО «Горецкая РАПТ»	110	107	89	184	620	758	1004	1944
По району, в среднем	82	77	71	1603	699	942	1143	1811

Исследования показали, что за анализируемый период, наблюдается повышение численности работников в 19 раз, а среднемесячная зарплата возросла в 2,6 раз.

Наибольшее повышение численности работников в КСУП «Овсянка им. И. И. Мельника» (в 2 раза), затем РУП «Учхоз БГСХА» (в 2,6 раза), ОАО «Горь» (в 2,8 раза), при этом среднемесячная зарплата увеличилась, соответственно, в 2,1; 2,8 и 2,9 раза.

Наибольшая среднемесячная зарплата наблюдается в ОАО «Горецкое» (1944 руб.), затем в ОАО «Горецкая РАПТ» (1944 руб.), РУП «Учхоз БГСХА» (1913 руб.).

Дальнейшие наши исследования были направлены на выявление основных факторов, влияющих на эффективность производства сельхозпродукции с помощью корреляционно-регрессионного анализа.

При производстве продукции растениеводства в качестве переменных факторов были приняты:  $X_1$  – балл пашни, баллов;  $X_2$  – затраты на удобрения и средства защиты растений на 1 га, тыс. руб/га;  $X_3$  – затраты на оплату труда в расчете на 1 га, тыс. руб/га;  $X_4$  – затраты на содержание и эксплуатацию основных средств в расчете на 1 га, тыс. руб/га;  $X_5$  – прямые затраты труда на 1 га, чел-ч/га;  $X_6$  – площадь посева на 1 хозяйство, га.  $Y$  – урожайность сельхозкультур (результативный фактор), ц/га.

После обработки исходной информации были получены уравнения следующего вида:

$$Y_1 \text{ зерно} = 2,6 + 0,5X_1 + 0,05X_2 + 0,04X_3 + 0,03X_4 + 0,001X_5 + 0,0002X_6 \quad (1)$$

$R=0,83; R^2=0,70; F=306$

$$Y_2 \text{ рапс} = 8,4 + 0,51X_1 + 0,03X_2 + 0,01X_3 + 0,01X_4 + 0,008X_5 + 0,003X_6 \quad (2)$$

$R=0,83; R^2=0,69; F=264$

$$Y_3 \text{ сах. св.} = 221 + 1,5X_1 + 226,0X_2 + 82,0X_3 + 0,06X_4 + 0,02X_5 + 0,01X_6 \quad (3)$$

$R=0,75; R^2=0,52; F=4,1$

Из уравнений 1, 2 и 3 видно, что наибольшее влияние на урожайность оказывают балл пашни, затраты на удобрения и средства защиты растений, оплата труда и затраты на содержание и эксплуатацию основных средств в расчете на 1 га. Влияние остальных факторов незначительное.

Рассчитанные значения характеристик указывают на статистическую значимость, адекватность построенной модели. Согласно t-критерию Стьюдента в модели оставлены только факторы с высокой ( $x_1$ ) и относительно высокой ( $x_2, x_3$  и  $x_4$ ) значимостью.

Для повышения эффективности производства продукции необходимо:

1. Применение точного земледелия (GPS и ГИС-технологии). Оно включает: картографирование полей, анализ вариабельности почв (плодородие, влажность, рельеф); мониторинг состояния почвы, растений, погоды в реальном времени; точное дозирование семян, удобрений, средств защиты растений и воды в зависимости от потребностей конкретного участка поля; использование дронов для мониторинга и опрыскивания посевов. Это снизит затраты и минимизирует экологический ущерб.

2. Применение минимальной и нулевой обработки почвы (No-Till, Mini-Till). Оно включает: сохранение влаги, улучшение структуры почвы, увеличение содержания гумуса, снижение эрозии и затрат на ГСМ; внесение органических удобрений (компост, навоз); улучшение структуры почвы, во-

доудерживающей способности и микробиологической активности.

3. Использование высокопродуктивных и устойчивых сортов и гибридов сельхозкультур, устойчивых к болезням, вредителям, засухе, засолению, дающих стабильно высокие урожаи.

4. Оптимизация управления и экономики. Она включает: эффективное планирование работ, хранения, транспортировки продукции; объединение ресурсов мелких хозяйств для приобретения техники, хранения, сбыта продукции; обучение и повышение квалификации персонала, привлечение специалистов; расчет себестоимости, рентабельности культур, оптимизация затрат.

5. Государственная поддержка и регулирование. Она включает: субсидии и льготные кредиты для внедрения ресурсосберегающих технологий, мелиорацию, приобретение современной техники.

#### **Заключение:**

– сельскохозяйственные предприятия района имеют 73613 га сельхозугодий и 61817 га пашни. Распаханность составляет 84 %. Средний размер сельхозпредприятия: 9200 га сельхозугодий, 7730 га – пашни и 210 работников;

– за анализируемый период балл сельхозугодий и балл пашни не изменился и составил соответственно 25,9 и 31,9 балла;

– эффективность использования земли в сельскохозяйственных организациях района снижается. Производство зерна на 100 га пашни снизилось на 34,0 %, молока в расчете на 100 га сельскохозяйственных угодий – на 1,9 %;

– наблюдается недостаточное количество вносимых минеральных удобрений от потребности (под зерновые – на 54,8 %, рапс – на 68,7 %);

– наблюдается снижение уровня расход дизельного топлива на 5,6 % в расчете на 100 га посевной площади;

– наблюдается неравномерная обеспеченность комбайнами в расчете на 1000 га посевов. В среднем на район приходится 1,4 зерноуборочных, 11,9 кормоуборочных и 0,4 свеклоуборочных;

– сельхозорганизации района имеют резерв по увеличению объема производства за счет повышения уровня внесения удобрений (зерна – 29,3 тыс. т, семян рапса – 1,4, сахарной свеклы – 24,1 тыс. т);

– сельхозорганизации района имеют резерв по увеличению объема производства за счет применения технологии точного земледелия на 12 %.

– уравнение многофакторной модели может быть использовано в качестве корреляционной модели для обоснования плановой (прогнозируемой) урожайности сельхозкультур.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Государственная программа «Аграрный бизнес» на 2021–2025 годы: Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 01.02.2021 г. №59 // Консультант Плюс: Беларусь. Технология 3000 [Электронный ресурс] / ООО «ЮрСпектр», Национальный центр правовой информации Республики Беларусь. – Минск, 2021.

2. Захаров, А. Н. Особенности и проблемы мотивации труда в сельском хозяйстве [Электронный ресурс] / А. Н. Захаров // CyberLeninka. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/osobennosti-i-problemy-motivatsii-truda-v-selskom-hozyaystve/> (дата обращения: 04.12.2025).

3. Милосердов, К. В. Производственные ресурсы и факторы экономического роста / К. В. Милосердов // Экономика сельского хозяйства России. – 2014. – № 2 – С. 9–19.

4. Понятие и состав земель сельскохозяйственного назначения [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.yandex.by/docs/view?tm> / (дата обращения: 14.11.25).

5. Понятие энергетических ресурсов в сельском хозяйстве. [Электронный ресурс]. – URL: <https://studfile.net/preview/2787851/page:3/> (дата обращения: 02.11.2025).

6. Рациональное использование земельных ресурсов – фундамент стабильности государства // [Электронный ресурс]. – URL: <https://tcek.by/ratsionalnoe-ispolzovanie-zemelnyh-resursov-fundament-stabilnosti-gosudarstva/> (дата обращения: 12.11.25).

7. Радюк, В. И. Организация производства на сельскохозяйственных предприятиях: учебно-методическое пособие / В. И. Радюк. – Горки: Белорус. гос. с.-х. акад., 2025. – 279 с.

8. Сычев, В. Г. Современное состояние плодородия почв и основные аспекты его регулирования / В. Г. Сычев. – М.: РАН, 2019. – 328 с.

9. Эффективность производства и ее показатели. Пути и факторы повышения эффективности производства [Электронный ресурс]. – URL: [https://studopedia.ru/10\\_198414\\_effektivnost-proizvodstva-i-ee-pokazateli-puti-i-faktori-pov-isheni/](https://studopedia.ru/10_198414_effektivnost-proizvodstva-i-ee-pokazateli-puti-i-faktori-pov-isheni/) (дата обращения: 22.11.2025).

## ОСОБЕННОСТИ ЗАКРЫТИЯ СЧЕТОВ БУХГАЛТЕРСКОГО УЧЕТА В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОРГАНИЗАЦИЯХ

И. В. ЖУРОВА, Е. А. ГУДКОВА, С. В. ГУДКОВ

УО «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции  
и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия»,  
г. Горки, Республика Беларусь, 213407, e-mail: alenagudkova@mail.ru

(Поступила в редакцию 15.01.2026)

*В условиях развития рыночных отношений и повышения требований к качеству бухгалтерской отчетности особую значимость приобретает достоверность информации о деятельности субъектов хозяйствования, формируемой в системе бухгалтерского учета. Закрытие счетов бухгалтерского учета является завершающим этапом учетного процесса отчетного периода и оказывает непосредственное влияние на формирование себестоимости продукции, определение финансовых результатов и показатели бухгалтерской отчетности сельскохозяйственных организаций.*

*В статье рассмотрены подготовительные работы, проводимые перед закрытием операционных, собирательно-распределительных и результативных счетов бухгалтерского учета в сельскохозяйственных организациях. Приведенный порядок закрытия счетов учитывает особенности, связанные с сезонностью и длительностью производственного цикла, значительным объемом внутрихозяйственного оборота и наличием нормативно-прогнозной оценки продукции. Неправильное распределение затрат, по осуществляемым сельскохозяйственной организацией видам деятельности, а также некорректное отражение калькуляционных разниц может привести к искажению себестоимости продукции и финансовых результатов аграрного производства. В процессе исследования рассмотрены актуальные вопросы закрытия счетов, как завершающего этапа учетного процесса, влияющего на обобщение информации о затратах, доходах, финансовых результатах и формирование достоверной бухгалтерской отчетности. Ввиду отсутствия в действующих нормативно-правовых актах четких указаний, в научной статье обоснована последовательность закрытия счетов. Рекомендуемый порядок следует отражать в Положении об учетной политике субъекта хозяйствования, с использованием принципа поэтапного исключения счетов из дальнейших расчетов и закрытия в первую очередь счетов тех производств и отраслей, которые оказывают наибольшее количество услуг другим подразделениям и с минимальным объемом встречных услуг.*

**Ключевые слова:** бухгалтерский учет, закрытие счетов, сельскохозяйственные организации, себестоимость продукции, калькуляционные разницы, финансовый результат, реформация баланса.

*In the context of developing market relations and increasing demands on the quality of financial statements, the reliability of information on the activities of business entities generated within the accounting system is of particular importance. Closing accounts is the final stage of the accounting process for the reporting period and directly impacts the formation of production costs, the determination of financial results, and the financial statements of agricultural organizations.*

*This article examines the preparatory work carried out before closing operational, collection and distribution, and performance accounts in agricultural organizations. This account closure procedure takes into account the specifics associated with the seasonality and length of the production cycle, the significant volume of internal turnover, and the presence of normative and forecasted product valuation. Incorrect cost allocation across agricultural activities, as well as the incorrect reflection of costing differences, can distort the cost of production and the financial results of agricultural production. This study examines the pressing issues of account closure as the final stage of the accounting process, which impacts the consolidation of information on costs, income, and financial results, and the formation of reliable financial statements. Due to the lack of clear guidance in current regulations, this research article substantiates the sequence of account closure. The recommended procedure should be reflected in the Accounting Policy Regulation of the Business Entity, using the principle of gradually excluding accounts from further calculations and prioritizing the closure of accounts for those industries and sectors that provide the greatest number of services to other divisions and with the least amount of reciprocal services.*

**Key words:** accounting, account closure, agricultural organizations, cost of production, costing differences, financial results, balance sheet reformation.

### Введение

В сельскохозяйственных организациях порядок закрытия счетов имеет ряд специфических особенностей, обусловленных сезонным характером производства, длительным производственным циклом, многоотраслевой структурой аграрного производства, наличием значительных объемов незавершенного производства и внутрихозяйственного оборота продукции. Кроме того, в сельском хозяйстве широко применяется нормативно-прогнозная оценка продукции и услуг вспомогательных производств, что требует обязательного последующего отражения калькуляционных разниц.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью разработки порядка и установления последовательности закрытия счетов в сельскохозяйственных организациях ввиду отсутствия в действующих нормативно-правовых на то каких-либо указаний. Установление единообразных подходов при осуществлении данного этапа подготовительных работ перед составлением годовой бухгалтерской отчетности позволит повысить достоверность учетной информации, обеспечить сопоставимость показателей себестоимости и финансовых результатов, а также усилить контрольную и аналитическую функции бухгалтерского учета.

Научное исследование базируется на научных трудах отечественных и зарубежных ученых в области бухгалтерского управленческого учета в организациях АПК, нормативно-правовых актах по учету затрат на производство и порядку составления индивидуальной бухгалтерской отчетности сельскохозяйственных организаций [1–10]. В ходе исследования применялись методы: монографический, системного и сравнительного анализа, экспертных оценок.

Целью стало исследование организационно-методических подходов по закрытию счетов бухгалтерского учета в сельскохозяйственных организациях.

### Основная часть

Закрытие счетов бухгалтерского учета является важнейшим этапом завершения учетного цикла отчетного периода и направлено на формирование достоверной информации о финансовых результатах деятельности организации. В процессе закрытия счетов осуществляется сопоставление дебетовых и кредитовых оборотов, распределение затрат между объектами учета, выявление калькуляционных разниц и их корректное отражение в бухгалтерской отчетности. В сельскохозяйственных организациях данный процесс отличается повышенной сложностью, что обусловлено сезонным характером производства, длительным производственным циклом, наличием незавершенного производства, значительным объемом внутрихозяйственного оборота и многоотраслевой структурой аграрного производства.

Как показали проведенные исследования действующего в настоящее время в Республике Беларусь законодательства, в отношении порядка закрытия счетов перед составлением индивидуальной годовой бухгалтерской отчетности сельскохозяйственных организаций действует ограниченное количество правовых актов, что вызывает ряд трудностей с определением последовательности их закрытия (таблица).

#### Анализ правовых актов Республики Беларусь

Наименование нормативного документа	Раскрываемые вопросы
Закон Республики Беларусь «О бухгалтерском учете и отчетности» № 57-3 от 12.07.2013 г.	Определяет правовые и методологические основы бухгалтерского учета, требования к составлению и представлению бухгалтерской и (или) финансовой отчетности
Инструкция о порядке применения Типового плана счетов № 50 от 29.06.2011 г.	Определяет порядок отражения информации о финансово-хозяйственной деятельности организации на счетах бухгалтерского учета
Письмо Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь № 04-2-1-32/178 от 14.01.2016 г.	Определяет порядок учета затрат на производство и калькулирования себестоимости сельскохозяйственной продукции (работ, услуг)
Национальный стандарт бухгалтерского учета и отчетности «Индивидуальная бухгалтерская отчетность» № 104 от 12.12.2016 г.	Определяет порядок раскрытия информации в индивидуальной бухгалтерской отчетности, составляемой организациями, в том числе сельскохозяйственными
Инструкция по бухгалтерскому учету доходов и расходов № 102 от 30.09.2011 г.	Определяет порядок списания условно-постоянных косвенных затрат, связанных с управлением организацией, формирования в бухгалтерском учете информации о доходах и расходах
Национальный стандарт бухгалтерского учета и отчетности «Учетная политика организации, изменения в учетных оценках, ошибки» № 80 от 10.12.2013 г.	Определяет порядок формирования учетной политики организации, внесения в нее изменений и дополнений

Примечание: Таблица составлена авторами на основании анализа нормативно-правовых актов Республики Беларусь.

Проведенный анализ нормативно-правовой базы в отношении организационно-методических подходов по закрытию счетов бухгалтерского учета в сельскохозяйственных организациях показал, что в настоящее время не раскрыт четкий порядок проведения данной процедуры.

В тоже время руководствуясь нормами п. 105-107 Письма Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь № 04-2-1-32/178 от 14.01.2016 г. (далее – Письмо № 04-2-1-32/178), до составления отчетных калькуляций себестоимости продукции, работ, услуг необходимо провести ряд подготовительных работ:

- исчислить фактическую себестоимость услуг вспомогательных производств и списать калькуляционные разницы;
- распределить затраты по содержанию и эксплуатации сельскохозяйственных машин, на амортизацию и ремонт основных средств, по орошению и осушению, известкованию и гипсованию земель;
- распределить бригадные, общепромышленные расходы;
- определить и списать в установленном порядке затраты по погибшим посевам по причине стихийных бедствий;
- списать приходящиеся к отчетному периоду затраты, учтенные на счете 97 «Расходы будущих периодов»;

- исчислить фактическую себестоимость продукции растениеводства и списать калькуляционные разницы;
- распределить расходы по кормопроизводству;
- распределить и включить в состав затрат животноводства отчетного года соответствующую часть расходов по строительству и содержанию летних лагерей, навесов, загонов и других временных сооружений для животных;
- исчислить фактическую себестоимость продукции животноводства и списать калькуляционные разницы;
- исчислить фактическую себестоимость продукции промышленных производств и списать калькуляционные разницы.

Методологической основой данного процесса является принцип поэтапного исключения счетов из дальнейших расчетов: в первую очередь закрываются счета тех производств и отраслей, которые оказывают наибольшее количество услуг другим подразделениям и при этом имеют минимальный объем встречных услуг. В последнюю очередь закрываются счета с наиболее сложной системой взаимных оборотов. Данный подход позволяет избежать искажения себестоимости продукции и некорректного распределения калькуляционных разниц.

В соответствии с понятием и признаками, закрепленными в ст.4 Закона Республики Беларусь от 17.07.2018 г. № 130-З «О нормативных правовых актах», Письмо № 04-2-1-32/178 не относится к нормативным актам. Таким образом, при определении последовательности закрытия счетов сельскохозяйственные организации в соответствии с п. 5 ст. 9 Закона Республики Беларусь «О бухгалтерском учете и отчетности» № 57-З от 12.07.2013 г. должны раскрыть данные вопросы в Положении об учетной политике организации, как основном локальном правовом акте.

Исходя из приведенного в Письме № 04-2-1-32/178 перечня подготовительных работ до составления отчетных калькуляций себестоимости продукции, работ, услуг сельскохозяйственной организация в учетной политике может оговорить следующую последовательность закрытия счетов:

- 23 «Вспомогательные производства». Аналитические счета, открытые к данному счету следует закрывать в следующей последовательности: «Электроснабжение», «Водоснабжение», «Теплоснабжение», «Газоснабжение», «Ремонтные мастерские», «Гужевой транспорт», «Автомобильный транспорт», «Холодильные установки», «Машинно-тракторный парк», «Самоходные машины»;
- 20 «Основное производство» субсчет, «Растениеводство», аналитические счета: «Затраты на амортизацию и ремонт основных средств», «Затраты по орошению и осушению земель», «Расходы по известкованию и гипсованию»;
- 25 «Общепроизводственные затраты»;
- 26 «Общехозяйственные затраты»;
- 97 «Расходы будущих периодов»;
- 20 «Основное производство», субсчет «Растениеводство» (оставшиеся незакрытые аналитические счета);
- 20 «Основное производство», субсчет «Промышленные производства» аналитические счета по производству кормов;
- 20 «Основное производство», субсчет «Животноводство»;
- 20 «Основное производство», субсчет «Промышленное производство» (оставшиеся незакрытые аналитические счета);
- 29 «Обслуживающие производства и хозяйства»;
- 44 «Расходы на реализацию».

Завершающим этапом закрытия счетов является реформация бухгалтерского баланса, проводимая по состоянию на 31 декабря, в процессе которой закрываются счета 90 «Доходы и расходы по текущей деятельности» и 91 «Прочие доходы и расходы». После этого определяется итоговый финансовый результат отчетного года на счете 99 «Прибыли и убытки», списываемый на счет 84 «Нераспределенная прибыль (непокрытый убыток)». После проведения данной процедуры на данном счете числится сумма чистой нераспределенной прибыли или чистого непокрытого убытка.

В результате в заключительном бухгалтерском балансе остаются только инвентарные, фондовые и расчетные счета, а по операционным счетам приводятся остатки незавершенного производства, расходов будущих периодов и незаконченного строительства.

### **Заключение**

Проведенное исследование показывает, что закрытие счетов бухгалтерского учета в сельскохозяйственных организациях представляет собой сложный и многоэтапный процесс, требующий строгого

соблюдения определенной последовательности подготовительных работ. Данный этап учетного процесса обеспечивает обобщение информации о затратах, доходах и финансовых результатах, а также формирует основу для составления достоверной бухгалтерской отчетности.

Обоснованная последовательность закрытия счетов – от вспомогательных производств к основному производству и далее к результативным счетам – позволяет обеспечить логичность учетных процедур и исключить повторное распределение затрат.

Таким образом, применение на практике предложенной последовательности закрытия счетов бухгалтерского учета в сельскохозяйственных организациях является важным направлением повышения качества учетной информации и эффективности управления финансово-хозяйственной деятельностью.

#### *ЛИТЕРАТУРА*

1. Адаменко, А. А. Актуальные вопросы формирования финансовой отчетности компаний / А. А. Адаменко, Е. А. Оксанич, Р. А. Алыев // Вестник Академии знаний. – 2021. – № 44(3). – С. 8–11.
2. Биймырсаева, Э. М. Формирование финансовых результатов / Э. М. Биймырсаева, Б. Рустамова, А. Э. Утуров // Наука и инновационные технологии. – 2020. – № 2(15). – С. 43–50.
3. Ибрагимова, А. Х. Проблемы учета издержек, себестоимости и незавершенного производства / А. Х. Ибрагимова, И. М. Эскендаров // Управленческий учет. – 2022. – № 2–3. – С. 613–618.
4. Инструкция по бухгалтерскому учету доходов и расходов: постановление М-ва финансов Респ. Беларусь, 30 сентября 2011 г. № 102: в ред. постановления М-ва финансов Респ. Беларусь от 25.08.2025 г. № 73 // Бизнес-Инфо: аналит. правовая система – URL: <https://bii.by/docs/postanovlenie-30-09-2011-102-o-bukhgalterskom-uchete-dokhodov-i-rashodov-229758?a=a46#a46> (дата обращения: 08.01.2026).
5. Методические рекомендации по учету затрат и калькулированию себестоимости сельскохозяйственной продукции (работ, услуг): письмо М-ва сельского хозяйства и продовольствия Респ. Беларусь от 14.01.2016 г. № 04-2-1-32/178 // Бизнес-Инфо: аналит. правовая система – URL: <https://bii.by/docs/o-primenenii-metodicheskikh-rekomendatsij-po-uchetu-zatrat-i-kalkulirovaniyu-sebestoimosti-321848?query> (дата обращения: 08.01.2026).
6. О бухгалтерском учете и отчетности: Закон Респ. Беларусь от 12 июля 2013 г. № 57-3: в ред. от 30.12.2025 г. № 126-3 // Бизнес-Инфо: аналит. правовая система – URL: <https://bii.by/docs/zakon-12-07-2013-57-z-o-bukhgalterskom-uchete-i-otchetnosti-264036?query> (дата обращения: 08.09.2025).
7. Об установлении Типового плана счетов бухгалтерского учета, утверждении Инструкции о порядке применения типового плана счетов бухгалтерского учета: постановление М-ва финансов Респ. Беларусь, 29 июня 2011 г. № 50: в ред. постановления М-ва финансов Респ. Беларусь от 31.10.2025 г. № 126 // Бизнес-Инфо: аналит. правовая система – URL: <https://bii.by/docs/postanovlenie-29-06-2011-50-o-tipovom-plane-schetov-bukhgalterskogo-ucheta-227730?query> (дата обращения: 08.01.2026).
8. Об утверждении Национального стандарта бухгалтерского учета и отчетности «Учетная политика организации, изменения в учетных оценках, ошибки»: постановление М-ва финансов Респ. Беларусь от 10 дек. 2013 г. № 80: в ред. постановления М-ва финансов Респ. Беларусь от 25.08.2025 г. № 73 // Бизнес-Инфо: аналит. правовая система – URL: <https://bii.by/docs/postanovlenie-10-12-2013-80-ob-uchetnoj-politike-organizatsii-izmeneniyakh-v-uchetnykh-276447?query> (дата обращения: 08.01.2026).
9. Об установлении Национального стандарта бухгалтерского учета и отчетности «Индивидуальная бухгалтерская отчетность»: постановление М-ва финансов Респ. Беларусь от 12 дек. 2016 г. № 104: в ред. постановления М-ва финансов Респ. Беларусь от 29.09.2025 г. № 99 // Бизнес-Инфо: аналит. правовая система – <https://bii.by/docs/postanovlenie-12-12-2016-104-o-sostavlenii-individualnoj-bukhgalterskoj-otchetnosti-334579?query> (дата обращения: 08.01.2026).
10. Шахбанов, Р. Б. Реформация бухгалтерского баланса как важнейшая учетная процедура формирования финансовой отчетности / Р. Б. Шахбанов, М. К. Абдулмуслимова // Журнал монетарной экономики и менеджмента. – 2024. – № 11. – С. 16–20.

## ПАРАМЕТРЫ ФОРМИРОВАНИЯ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РЫНКА ЦЕННЫХ БУМАГ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Е. Н. ГРИДЮШКО

УО «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции  
и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия»,  
г. Горки, Республика Беларусь, 213407, e-mail: ge@baa.by

(Поступила в редакцию 15.01.2026)

*История становления и развития рынка ценных бумаг Беларуси демонстрирует масштабную работу, проведенную регулятором по формированию его нормативной и технологической инфраструктуры, цифровой трансформации и интеграции в международную финансовую систему. Функционирование отечественного финансового рынка осуществляется в рамках программных документов, которые определяют его целевые параметры на конкретном временном этапе. Так, в 2025 году завершена реализация Государственной программы «Управление государственными финансами и регулирование финансового рынка до 2025 года», прогнозные показатели которой определяли пятилетний период функционирования рынка. В настоящее время впервые в истории отечественного финансового рынка принята пятнадцатилетняя Стратегия развития рынка ценных бумаг и страхования до 2040 года, которая прогнозирует ключевые цели и цифровые ориентиры долгосрочного развития двух важнейших сегментов финансовой системы государства. Нормативный акт призван внести вклад в решение приоритетных задач рынка ценных бумаг, как главного сегмента финансового рынка. С одной стороны, основу документа составляют положения Национальной стратегии устойчивого развития Республики Беларусь до 2035 года, учитывающие внутренние факторы и особенности социально-экономического развития государства, с другой стороны, приняты во внимание глобальные тенденции и вызовы, ответ на которые необходим для обеспечения конкурентоспособности отечественного рынка ценных бумаг. В контексте геополитической напряженности, изменения глобальных цепочек создания стоимости товаров и услуг, а также активизации инфляционных процессов на мировой арене научно обоснованная стратегия формирования и функционирования рынка ценных бумаг имеет особую актуальность.*

**Ключевые слова:** ценные бумаги, акция, облигация, эмиссия, фондовый рынок.

*The history of the formation and development of the Belarusian securities market demonstrates the extensive work undertaken by the regulator to establish its regulatory and technological infrastructure, digital transformation, and integration into the international financial system. The functioning of the domestic financial market is carried out within the framework of program documents that define its target parameters at a specific time. Thus, in 2025, the State Program "Public Finance Management and Financial Market Regulation until 2025" was completed, with projected indicators defining the five-year period of market operation. Currently, for the first time in the history of the domestic financial market, a fifteen-year Strategy for the Development of the Securities and Insurance Market until 2040 has been adopted, forecasting key goals and digital benchmarks for the long-term development of two key segments of the national financial system. This regulatory act aims to contribute to addressing the priority objectives of the securities market, the main segment of the financial market. On the one hand, the document is based on the provisions of the National Sustainable Development Strategy of the Republic of Belarus until 2035, which take into account domestic factors and the specific features of the country's socioeconomic development. On the other hand, it takes into account global trends and challenges that must be addressed to ensure the competitiveness of the domestic securities market. In the context of geopolitical tensions, changes in global value chains for goods and services, and the intensification of inflationary processes on the global stage, a scientifically sound strategy for the formation and functioning of the securities market is particularly relevant.*

**Key words:** securities, shares, bonds, issue, stock market.

### Введение

Рынок ценных бумаг является неотъемлемым элементом рыночной экономики. Во-первых, он тесно коррелирует с финансовой и денежно-кредитной политикой государства, а во-вторых, предлагает финансовые инструменты для развития производства и бизнеса. В динамично меняющихся непростых условиях последних лет рынок ценных бумаг Беларуси демонстрирует устойчивость и адаптивность в отношении преодоления негативных факторов, вызванных действием внешних и внутренних факторов. Анализируемая Стратегия развития рынка ценных бумаг до 2040 года представляет собой комплексный документ, состоящий из нескольких разделов, отражающих тенденции развития мирового и отечественного фондового рынка, условия и направления развития финансовой сферы, сформулированы конкретные задачи и меры, призванные ускорить инвестиционные процессы в стране, которые подкреплены соответствующими индикаторами, позволяющими оценить эффективность принимаемых мероприятий. Ключевые подходы в Стратегии опираются на заложенные в предыдущие периоды результаты работы. Усиление роли рынка ценных бумаг для белорусской экономики демонстрируют объемные показатели, достигшие, по состоянию на 1 января 2025 года, значений в 6 % ВВП по общему объему операций с ценными бумагами (рост на 1 п. п. годом ранее) и 33 % ВВП по общему объему находящихся в обращении ценных бумаг [1].

Цель исследования – обоснование параметров формирования и функционирования рынка ценных бумаг Республики Беларусь.

## Основная часть

Созданию условий для сбалансированного роста экономики государства способствует, наряду с обеспечением ценовой и финансовой стабильности, развитие финансового рынка в целом и, в частности, основного его сегмента – рынка ценных бумаг. В сложных условиях последних лет деятельность регулятора сосредоточена на дальнейшей работе рынка по всем приоритетным направлениям, включая совершенствование законодательства, формирование новых финансовых инструментов и механизмов, интеграцию в международную финансовую систему и функционирование в рамках Союзного государства и ЕАЭС. Белорусский рынок ценных бумаг демонстрирует устойчивость, гибкость и адаптивность в отношении преодоления негативных последствий, вызванных действием внешних и внутренних факторов. Следует отметить, что показатель объема торгов ценными бумагами в Республике Беларусь в 6,3 млрд долл. по сравнению со странами-членами ЕАЭС свидетельствует о развитии отечественного фондового рынка, который уступает лишь рынкам Российской Федерации и Республики Казахстан. Для сравнения, в Кыргызстане данный показатель составляет 0,6 млрд долл., в Армении – 0,4 млрд долл. [2].

В республике создана необходимая инфраструктура рынка, которая представлена национальной электронной торговой площадкой – ОАО «Белорусская валютно-фондовая биржа», предоставляющая возможность совершать операции с различными ценными бумагами и выполняющая функции клиринговой организации. Функционирует двухуровневая депозитарная система, состоящая из РУП «Республиканский центральный депозитарий ценных бумаг» и 25 депозитариев второго уровня, которые осуществляют автоматизированный учет, расчеты и хранение ценных бумаг. Профессиональные участники рынка ценных бумаг (брокеры, дилеры, доверительные управляющие, клиринговые организации, депозитарии, организаторы торговли), чья деятельность лицензируется Министерством финансов, представлены 45 организациями, в том числе Национальный банк Республики Беларусь, 20 коммерческих банков, ОАО «Банк развития Республики Беларусь», 1 небанковская кредитно-финансовая организация и 22 организации небанковской сферы. Кроме того, инфраструктура фондового рынка включает достаточно многочисленный институт участников, имеющих квалификационный аттестат специалиста рынка ценных бумаг, насчитывающий 2253 человека [3]. В настоящее время в республике в целях организации информационного обеспечения участников финансового рынка и создания единого ресурса для раскрытия информации на рынке ценных бумаг функционирует Единый портал финансового рынка. Информация, размещенная на нем участниками рынка, является общедоступной и предоставляется для просмотра на безвозмездной основе. Источником информации об организации торговли ценными бумагами, об итогах торгов, о торгуемых финансовых инструментах является сайт биржи. Центральным депозитарием оказываются услуги по раскрытию информации всем заинтересованным лицам, на его сайте размещен справочник выпусков эмиссионных ценных бумаг и другая информация.

Анализируя результаты Государственной программы «Управление государственными финансами и регулирование финансового рынка на период до 2025 года» подпрограммы «Эффективное функционирование рынка ценных бумаг», следует положительно оценить механизмы ее реализации. В полном объеме выполнены три из четырех задач, заложенных в программе. Задача 1 «Развитие рынка акций» выполнена в части отмены преимущественного права Облисполкомов и Минского горисполкома на покупку акций. Остается актуальным вопрос снижения доли государства в акционерном капитале субъектов хозяйствования до 25 %+1 акция [4]. В табл. 1 приведены фактические данные, характеризующие выполнение целевых показателей подпрограммы.

Таблица 1. Анализ выполнения показателей подпрограммы «Эффективное функционирование рынка ценных бумаг»

Показатели	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.	Целевые ориентиры программы
Прирост объема выпусков акций (по сравнению с предыдущим годом), %	8,3	9,4	5,7	4,8	2,0-2,9
Прирост (снижение) объема выпусков облигаций (по сравнению с предыдущим годом), %	12,9	-24	6,9	5,5	2,0-2,9
Прирост (снижение) объема операций с акциями (по сравнению с предыдущим годом), %	-50	-33	25	4,7	Не менее 2,5
Прирост (снижение) объема операций с облигациями (по сравнению с предыдущим годом), %	6,7	-51	-27	37,5	Не менее 1,8

Примечание. Составлена автором на основании источников [3; 5].

Так, в 2021–2024 гг. отмечается разноплановая динамика отечественного фондового рынка, в т. ч. фиксация снижения объемов эмиссии облигаций и объемов операций с акциями и облигациями за четырехлетний период.

Основным фактором, определяющим замедление деловой активности на первичном рынке облигаций, выступает введенный в 2021 году запрет на эмиссию валютных корпоративных облигаций, что повлекло за собой в 2022 году снижение объема выпуска облигаций на 24 % по сравнению с предыдущим периодом. Данное требование в условиях наличия валютных цифровых аналогов облигаций обусловило отрицательные тенденции в отношении количества и объема сделок на облигационном сегменте рынка ценных бумаг и отрицательно сказалось на востребованности традиционного долгового инструмента рыночными субъектами в последующем (в 2022 году снижение объема сделок на 51 %; в 2023 г. – на 27 % по сравнению с предыдущими периодами).

Запрет на эмиссию валютных корпоративных облигаций был введен в целях девальютизации экономики. Как показывает практика, эти цели в данном сегменте достигаются. На 1 января 2025 года объем находящихся в обращении облигаций, номинированных в иностранной валюте, составил 21,6 % от общего объема облигаций (для сравнения, по итогам 2020 года их доля была существенно выше и составляла 46,6 %). Но поскольку запрет был введен только в отношении корпоративных облигаций, то эмитенты стали активнее выпускать долговые валютные токены, которые являются доминирующим инструментом в долговом сегменте, а инвесторы – приобретать государственные валютные облигации, которые являются привлекательным инструментом в силу своей доходности. Выпуск государственных облигаций, номинированных в иностранной валюте, в 2023 году превысил соответствующий уровень 2022 года в 2,7 раза [1].

Наряду с вышеназванной причиной, на снижение активности операций с облигациями оказали свое влияние коммерческие банки. Так, объем сделок с ценными бумагами банков за 2023 год уменьшился на 42 % (с 11 до 6,5 млрд BYN), а удельный вес банковского сектора сократился с 75 % до 60 % в совокупном объеме рыночных операций. Снижение активности данной группы эмитентов наблюдается на фоне падения заинтересованности банков в масштабном использовании облигационных инструментов в целях регулирования ликвидности банковского сектора [3].

Появление новых привлекательных инструментов долгового рынка позволило обеспечить прирост объема операций в 2024 году по сравнению с 2023 годом на 37,5 %. В контексте реализации Государственной программы внедрены в практику новые виды облигаций – депозитарные (эмитируемые в бездокументарной форме, выпуск которых регистрируется центральным депозитарием ценных бумаг), структурные (облигации, предусматривающие право владельца на получение выплат по ним, включая выплату номинальной стоимости облигаций, в зависимости от наступления или не наступления одного или нескольких обстоятельств, определенных проспектом эмиссии), стрип-облигации (предусматривают возможность раздельного размещения и обращения в виде стрипов на номинальную стоимость и стрипов на процентный доход), биржевые облигации, эмитированные в рамках соответствующих программ (представляют собой зарегистрированную совокупность облигаций большого объема, в рамках которого эмитент имеет возможность «конструировать» отдельные выпуски с нужными параметрами, соответствующими текущим потребностям эмитента и запросам инвесторов). Новым явлением для рынка облигаций стал первый выпуск «зеленых» облигаций, который состоялся в декабре 2022 года. На площадке ОАО «Белорусская валютно-фондовая биржа» были размещены внутренние зеленые государственные облигации на сумму 5 млрд российских рублей сроком на 3 года со ставкой процентного дохода 12,5 % годовых. Следует отметить, что выпуск полностью приобретен отечественными и российскими инвесторами [2].

Согласно данным, представленным в обзоре Всемирной федерации бирж, именно «зеленые» облигации являются наиболее востребованным продуктом, предлагаемым биржами в области ответственного финансирования (82,9 % среди всех ESG-продуктов). Большинство таких облигаций сосредоточено в Европе, Ближнем востоке и Африке (порядка 70 %), за ним следует Азиатско-Тихоокеанский регион (28 %), в то время как на Северную и Южную Америку приходится всего 2 % [2].

Несмотря на то, что в настоящее время именно рынки государственных и корпоративных облигаций призваны обеспечить мировую экономику достаточным количеством финансовых ресурсов, необходимых для преодоления последствий, вызванных замедлением экономического роста, общей геополитической напряженностью, демографическими изменениями, фондовый рынок традиционно принято характеризовать его долевым сегментом (рынком акций). Анализ белорусского рынка ценных бумаг показал меньшую востребованность в долевыми инструментах как со стороны эмитентов, так и инвесторов. Несмотря на достигнутые программные целевые показатели по приросту объемов выпуска акций в 2021–2024 гг., за данный период отсутствует первичное публичное размещение ак-

ций (IPO). За всю историю фондового рынка в республике было проведено только 9 IPO, при этом последнее – в 2013 году.

Тенденции мирового рынка характеризуются сокращением количества IPO (в 2023 году – 1217 IPO, что является минимальным значением за 2020–2023 гг.). Тем не менее в Российской Федерации в течение анализируемого периода наблюдается «бум» первичных публичных размещений акций. Только за 2023 год проведено 19 IPO, позволивших привлечь компаниям, в т. ч. занимающимся деятельностью в сфере банковских услуг, лизинга, медицины и информационных технологий, средства в объеме, эквивалентном 1,3 млрд долл. [2].

Опыт показывает, что публичное размещение акций является мощным инструментом для долгосрочного развития бизнеса, а современные технологии позволяют проводить собрания акционеров дистанционно и без больших затрат, что значительно упрощает корпоративное управление в обществах с многочисленным составом участников. Более того, с учетом действия с 2024 года Соглашения о проспектах эмиссии ценных бумаг у отечественных субъектов хозяйствования имеется дополнительная возможность упростить размещение и обращение акций как в республике, так и в Российской Федерации, тем самым значительно расширяя круг инвесторов, в том числе иностранных. Однако акционерные общества Беларуси в настоящее время не проявляют достаточного интереса к процедурам IPO. На практике они используют традиционные модели долгового финансирования, такие как банковские кредиты, облигации и долговые токены, поэтому сделки с акциями составляют менее 5 % от общего объема операций с ценными бумагами.

Подводя итог работы отечественного рынка ценных бумаг за пятилетний период, следует отметить его поступательное развитие в соответствии с действующими приоритетами и направлениями социально-экономической политики государства. Однако, потенциал привлечения финансовых ресурсов через инструменты фондового рынка раскрыт не в полном объеме и уступает традиционному банковскому кредитованию. В этой связи разработана и вступила в действие Стратегия развития рынков ценных бумаг и страхования до 2040 года, как стратегически важных составляющих финансового рынка, развитие которых требует повышенного внимания в настоящее время.

Впервые в истории белорусского рынка ценных бумаг Министерством финансов принят документ, посвященный его долгосрочному развитию на 15 лет. Вклад рынка ценных бумаг в экономический рост государства будет оценен посредством реализации целей, задач, мероприятий и ключевых индикаторов, предусмотренных документом. В табл. 2 представлены целевые индикаторы развития рынка ценных бумаг в рамках пятилетнего периода.

Таблица 2. Ожидаемые результаты реализации Стратегии развития рынка ценных бумаг Республики Беларусь до 2040 года

Индикаторы	Целевые значения			
	2025 г.	2030 г.	2035 г.	2040 г.
1. Отношение активов небанковских профессиональных участников рынка ценных бумаг к ВВП, %	0,08	0,105	0,13	0,155
2. Прирост объема выпусков акций акционерных обществ (по сравнению с предыдущим годом), %	не менее предполагаемого прироста ВВП			
3. Прирост объема выпусков облигаций (по сравнению с предыдущим годом), %	не менее предполагаемого прироста ВВП			
4. Доля сделок купли-продажи, совершенных с использованием систем дистанционного обслуживания, в общем объеме сделок купли-продажи, совершенных с ценными бумагами в течение года, %	0,6	15	30	50
5. Отношение объема выпуска облигаций юридических лиц к объему выдачи банками кредитов юридическим лицам в национальной валюте, %	5	6,5	8	10

Примечание. Составлена автором на основании источника [2].

Цели развития фондового рынка предусматривают следующих пять индикативных показателей:

– отношение активов небанковских профессиональных участников рынка ценных бумаг к ВВП – 0,155 % в 2040 году (против 0,08 % в 2025 году);

– увеличение объема выпусков акций акционерных обществ и облигаций на уровне роста ВВП (рост ВВП в 2025 году – 1,3 %);

– отношение объема выпуска облигаций юридических лиц к объему выдачи банками кредитов юридическим лицам в национальной валюте – 10 % в 2040 году (против 5 % в 2025 году);

– доля сделок купли-продажи, совершенных с использованием систем дистанционного обслуживания, – не менее 50 % в общем объеме сделок купли-продажи, совершенных с ценными бумагами в течение года (против 0,6 % в 2025 году).

Достижение вышеперечисленных целей предусматривает решение 10 задач и 25 мероприятий. Все задачи, предусмотренные стратегией, можно разделить на три категории: задачи, направленные на увеличение спроса; задачи, направленные на увеличение предложения; комплексные задачи. Остановимся на приоритетных мероприятиях документа.

Для увеличения спроса на рынке ценных бумаг планируется, с одной стороны, стимулирование иностранных инвестиций путем подготовки «дорожной карты» по выходу белорусских эмитентов на российский фондовый рынок; завершения работы над проектами соглашений о допуске ценных бумаг и рыночных посредников на рынки партнеров по ЕАЭС и, в перспективе, развитие интеграционного взаимодействия в рамках ШОС и БРИКС. С другой стороны, активное вовлечение розничного инвестора путем упрощения доступа населения к инструментам белорусского фондового рынка; стимулирования внедрения дистанционного обслуживания розничных инвесторов как обязательного стандарта деятельности профессионального участника рынка ценных бумаг; расширения перечня иностранных рыночных участников, которые смогут признаваться квалифицированными инвесторами на белорусском рынке ценных бумаг.

Задачи, направленные на увеличение предложения на рынке ценных бумаг, призваны расширить линейку финансовых инструментов путем дальнейшего развития системы «зеленого» финансирования в контексте общемировой ESG-трансформации, внедрения новых видов облигаций, механизмов секьюритизации и других инструментов, соответствующих различным потребностям участников и принципам устойчивого развития государства.

Среди комплексных задач следует отметить создание института универсальных финансовых посредников, в т. ч. путем интеграции цифровых и традиционных финансов. В частности, планируется возможность оказания услуг профессиональными участниками рынка ценных бумаг не только в отношении традиционных финансовых инструментов, но также в отношении цифровых активов, что обеспечит предоставление равных возможностей для оказания услуг участниками рынка, будет способствовать наращиванию клиентской базы и, как следствие, повышению ликвидности посредников, упрощению процесса инвестирования.

Следует отметить, что все направления развития рынка ценных бумаг разработаны в контексте Национальной стратегии устойчивого развития Республики Беларусь на период до 2035 года, которая предусматривает обеспечить финансирование экономики посредством небанковских финансовых инструментов (акции, облигации, другие ценные бумаги, краудлендинг, краудинвестинг, факторинг, лизинг, эмиссия токенов) в размере не менее 20 % от объема банковского кредитования [6].

#### **Заключение**

Как показали исследования, несмотря на сохраняющуюся геополитическую напряженность, санкционные ограничения отечественный рынок ценных бумаг демонстрирует динамичное развитие. По объему торгов ценными бумагами фондовый рынок Беларуси уступает только рынкам России и Казахстана. Механизмы реализации Государственной программы «Управление государственными финансами и регулирование финансового рынка на период до 2025 года» позволили достичь целевых показателей, заложенных в документе. Однако, несмотря на поступательное развитие рынок ценных бумаг уступает банковскому кредитованию по объемам привлечения инвестиций. Компании предпочитают традиционные формы финансирования – кредиты, облигации, токены, и не проявляют должного интереса к привлечению ресурсов посредством акций. Исследования фондового рынка показали, что в динамике за анализируемый период сделки с облигациями составляют более 95 % от общего объема операций с ценными бумагами. В данном контексте Стратегия развития рынка ценных бумаг до 2040-го года, разработанная Министерством финансов, призвана внести вклад в решение важных для государства задач и ускорить инвестиционные процессы в экономике. Цель программного документа заключается в увеличении уровня инвестиционной, эмиссионной активности рыночных участников, активном использовании инструментов, ориентированных на экологические, социальные и управленческие инвестиции в ценные бумаги, что позволит повысить общий уровень благосостояния населения, их вовлеченность в процессы финансирования белорусской экономики.

#### *ЛИТЕРАТУРА*

1. Гриб, Т. Ориентиры на будущее / Т. Гриб // Финансы. Учет. Аудит. – 2025. – № 5. – С. 17–20.
2. Стратегия развития рынков ценных бумаг и страхования до 2040 года: Коллегия Министерства финансов Респ. Беларусь от 14 апреля 2025 г. – URL: [https://minfin.gov.by/upload/depacen/acts/development\\_strategy\\_2040.pdf](https://minfin.gov.by/upload/depacen/acts/development_strategy_2040.pdf) (дата обращения: 21.01.2026).
3. Отчеты о работе Департамента по ценным бумагам: Министерство финансов Респ. Беларусь. – Дата обращения: 21.01.2026. – URL: [https://minfin.gov.by/ru/securities\\_department/about/reports/](https://minfin.gov.by/ru/securities_department/about/reports/) (дата обращения: 21.01.2026).
4. Гридюшко, Е. Рынок ценных бумаг Республики Беларусь: состояние и перспективы развития / Е. Гридюшко // Вестник БГСХА. – 2021. – № 2. – С. 5–10.
5. О Государственной программе «Управление государственными финансами и регулирование финансового рынка на период до 2025 года: постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 12 марта 2020 г. № 143. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=C22000143> (дата обращения: 20.01.2026).
6. Национальная стратегия устойчивого развития Республики Беларусь на период до 2035 года: Протокол заседания Президиума Совета Министров Респ. Беларусь от 4 февраля 2020 г. № 3. – URL: [https://minsk.gov.by/ru/freepage/other/prognoznyedokumenty/natsionalnaya\\_strategiya\\_rb\\_do\\_2035.pdf](https://minsk.gov.by/ru/freepage/other/prognoznyedokumenty/natsionalnaya_strategiya_rb_do_2035.pdf) (дата обращения: 23.01.2026).

## ИННОВАЦИИ И НЕМАТЕРИАЛЬНЫЕ АКТИВЫ – СТРАТЕГИЧЕСКАЯ ВОЗМОЖНОСТЬ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИННОВАЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ ОРГАНИЗАЦИЙ АГРАРНОГО БИЗНЕСА

**С. В. ШУТОВА**

*УО «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции  
и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия»,  
г. Горки, Республика Беларусь, 213407, e-mail: shutova-s@mail.ru*

**В. К. ЛИПСКАЯ**

*ОАО «Гомсельмаш»,  
г. Гомель, Республика Беларусь, 246010, e-mail: linav84@mail.ru*

*(Поступила в редакцию 20.01.2026)*

*В последние десятилетия научный потенциал стал незаменимым нематериальным активом организаций во всех сферах экономики и оказывает глобальное влияние на развитие экономики республики. С учетом современного состояния, организациям, работающим с инновациями, необходимо не только отслеживать изменения в законодательной базе, но и разработать устойчивые внутренние регламенты и процедуры, позволяющие обеспечивать инновационную активность. Разработки, имеющие инновационную ценность для сфер агропромышленного комплекса и запатентованные могут способствовать эффективному инновационному развитию. Данные разработки, получившие охрану в виде результатов интеллектуальной деятельности и обладающие авторскими правами, являются одним из важнейших стратегических ресурсов инновационного развития в условиях цифровизации экономики. Взаимодействие отраслей науки, органов государственного управления и организаций аграрного бизнеса осуществляется на системной основе в научно-инновационной сфере. Основными приоритетами в этом взаимодействии являются: масштабная модернизация производственной и отраслевой структуры экономики; внедрение в практику новейших научных разработок, относящихся к высшим технологическим укладам; реализация отечественных разработок, авторами которых являются, в том числе и организации аграрного бизнеса; обеспечение технологического суверенитета. В статье рассматривается научный и инновационный потенциал в республике. Приведены данные технологических предложений белорусских инновационных предприятий согласно классификатору Сети американского коммерческого центра трансфера технологий yet2.com и предложения белорусских инновационных предприятий согласно классификатору ЮНИДО. Представлен анализ созданных и переданных для использования в агропромышленном комплексе новых технологий и технологических процессов для различных отраслей сельскохозяйственного производств с участием инновационно-ориентированных предприятий. Исследована взаимосвязь коммерциализации инновации и нематериальных активов. Изучена доходность нематериальных активов, которая может быть увеличена за счет роста рентабельности продаж в результате повышения деловой репутации организации (гудвилла) при улучшении финансового состояния организации и повышении инновационной активности привлечением новых технологий и/или объектов интеллектуальной собственности, приобретенных и созданных внутри организации.*

**Ключевые слова:** *аграрный бизнес, сельскохозяйственная организация, инновационный потенциал, инновационная активность, нематериальные активы, доходность нематериальных активов, эффективность.*

*In recent decades, scientific potential has become an indispensable intangible asset for organizations in all sectors of the economy, exerting a global influence on the development of the republic's economy. Given the current state of affairs, organizations working with innovation must not only monitor changes in the legislative framework but also develop sustainable internal regulations and procedures to ensure innovation. Patented developments that have innovative value for the agro-industrial complex can contribute to effective innovative development. These developments, protected as intellectual property and copyrighted, are among the most important strategic resources for innovative development in the context of the digitalization of the economy. The interaction of scientific branches, public administration bodies and agricultural business organizations is carried out on a systemic basis in the scientific and innovative sphere. The main priorities in this interaction are: large-scale modernization of the production and industrial structure of the economy; practical implementation of the latest scientific developments related to higher technological paradigms; implementation of domestic developments, the authors of which are, among others, agricultural business organizations; ensuring technological sovereignty. The article considers the scientific and innovative potential of the republic. Data on technological proposals of Belarusian innovative enterprises are presented according to the classifier of the Network of the American commercial center of technology transfer yet2.com and proposals of Belarusian innovative enterprises according to the UNIDO classifier. An analysis of new technologies and technological processes created and transferred for use in the agro-industrial complex for various branches of agricultural production with the participation of innovation-oriented enterprises is presented. The relationship between the commercialization of innovation and intangible assets is studied. The return on intangible assets, which can be increased by increasing sales profitability as a result of enhancing the organization's business reputation (goodwill), improving the organization's financial position, and increasing innovation activity through the use of new technologies and/or intellectual property acquired and created within the organization, was studied.*

**Key words:** *agricultural business, agricultural organization, innovation potential, innovation activity, intangible assets, return on intangible assets, efficiency.*

### **Введение**

В современных условиях приоритетным является осуществление инновационной деятельности с целью повышения качества производимого сырья и продукции организациями аграрного бизнеса как необходимого фактора конкурентоспособности продукта, товаропроизводителя, региона и всей аг-

рарной сферы. Активизация внедрения инноваций, повышения роли нематериальных активов в организациях в значительной степени обуславливает повышение эффективности и конкурентоспособности национального аграрного бизнеса, устойчивости его развития.

Целью данного исследования является выявление и оптимизация взаимосвязи инноваций и нематериальных активов с возможностью обеспечения эффективной финансово-экономической деятельности инновационно активных организаций аграрного бизнеса.

Изучением современного состояния и развитием инновационной деятельности в аграрной сфере Республики Беларусь занимается ряд белорусских исследователей, таких как В. Г. Гусаков, А. В. Пилипук, А. С. Сайганов, А. В. Мозоль, Т. А. Запрудская, А. Пыл, В. Н. Шимов, В. В. Чабатуль, И. Н. Шило, А. П. Такун и др.

В качестве методов исследования использовались общелогические приемы – синтез, анализ, обобщение, аналогия, индукция, дедукция, монографический анализ и метод сравнения.

#### Основная часть

С учетом выявленных особенностей ведения аграрного бизнеса, в частности большого удельного веса сельскохозяйственных организаций в структуре продукции сельского хозяйства, увеличения индексов производства сельскохозяйственной продукции, отставания финансовых результатов деятельности сельскохозяйственных организаций от крестьянских (фермерских) хозяйств, нами определено, что у сельскохозяйственных организаций существуют необходимые материальные и финансовые ресурсы для внедрения инноваций и формирования устойчивого спроса на инновации посредством активизации деятельности всех элементов и субъектов рынка инноваций. В рамках исследования целесообразно рассмотреть тенденции развития рынка инноваций со стороны исследователей и разработчиков инновационных технологий и продуктов.

За последние десять лет в отрасли наблюдалось сокращение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ. Численность исследователей в сфере сельского хозяйства сократилась с 823 человек в 2015 г. до 772 в 2024 г. Они составляют лишь 4,4 % всех исследователей в стране. В табл. 1 обобщены и проанализированы оценочные показатели науки инноваций в стране за 2015–2024 гг.

Таблица 1. Динамика основных показателей науки и инноваций в Республике Беларусь с 2015 по 2024 г.

Показатель	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
<i>Организации, выполнявшие научные исследования и разработки</i>										
Число организаций	439	431	454	455	460	451	445	448	462	463
Численность персонала	26 153	25 942	26 483	27 411	27 735	25 622	25 644	25 233	26738	27360
Численность исследователей	16 953	16 879	17 089	17 804	17 863	16 697	16 321	16 426	17169	17702
Из них в области сельскохозяйственной науки	823	981	1000	946	892	937	863	885	891	772
<i>Финансирование науки</i>										
Расходы республиканского бюджета, % к ВВП	0,24	0,27	0,34	0,39	0,32	0,32	0,33	0,33	0,34	0,35
Внутренние затраты на научные исследования и разработки, % к ВВП	0,50	0,50	0,58	0,60	0,58	0,54	0,46	0,47	0,57	0,59
Внутренние затраты на научные исследования и разработки по источникам финансирования, млн. руб.; (2015 г. – млрд. руб.)	4 495,4	475,3	617,7	739,3	777,8	807,0	813,3	919,8	1250,0	1448,0
<i>Результативность исследований и разработок</i>										
Подано заявок на патентование изобретений	691	521	524	547	393	394	386	342	359	303
Выдано патентов	902	941	850	625	461	447	316	302	248	280
Действует патентов	2 858	2 735	2 414	2 135	1 813	1 752	1 555	1 490	1 387	1 371

Примечание. Таблица составлена автором по данным Национального статистического комитета Республики Беларусь [13].

Как следует из приведенных в табл. 1 данных, с 2015 по 2024 г. число организаций, которые проводили исследования и разработки, увеличилось. За указанный период увеличилось и число исследователей, занимающихся научными исследованиями и разработками. Расходы республиканского бюджета на деятельность, связанную с наукой и инновациями, в процентах к валовому внутреннему продукту на протяжении последних семи лет отмечаются на уровне 30 %, внутренние затраты к ВВП – на уровне 50 %. Главным источником финансирования науки и инноваций на протяжении 2015–2024 гг. оставались средства бюджета. Активно использовались и собственные средства: их доля в последние годы повысилась и в 2024 г. составила не менее 35 %, что свидетельствует о возможности финансирования инноваций за счет собственных средств организаций, имеющих устойчивое финансовое положение.

За анализируемый период снизилась результативность исследований и разработок, что обусловлено достаточно сложным механизмом патентования исследований и изменением условий коммерциализации инноваций и разработок.

Конкурентоспособность организаций аграрного бизнеса Республики Беларусь на национальном и

ведущих мировых рынках в значительной мере определяется эффективностью введения в гражданский и экономический оборот усовершенствованных результатов научно-технической деятельности, большая часть которых создается в высших учреждениях образования и научных организациях республики. Так, в результате проведенного исследования установлено, что более 60 % изобретений, полезных моделей, сортов растений и секретов производства (ноу-хау) создано в аккредитованных организациях в качестве научных, которые входят исключительно в состав Национальной академии наук Беларуси и Министерства образования Республики Беларусь. Они имеют ценовое предложение и готовы к коммерциализации, и из основных форм использования результатов научно-технической деятельности являются зарегистрированными в Национальном патентном ведомстве.

В Республике Беларусь осуществляет деятельность Центр трансфера технологий республиканского уровня (РЦТТ). Его главная цель – содействие организации взаимодействия между разработчиками инновационных продуктов или технологий, инновационными предпринимателями и частными инвесторами или венчурными фондами.

В базе данных РЦТТ содержатся технологические предложения белорусских инновационных предприятий согласно классификатору Сети американского коммерческого центра трансфера технологий yet2.com и предложения белорусских инновационных предприятий согласно классификатору ЮНИДО. В соответствии с данными по техническим предложениям за период 2015–2023 гг. можно сделать вывод о невысокой активности инновационных предприятий в Республике Беларусь: заявленных разработок, согласно двум классификаторам, не более 53 за последние пять лет. Еще менее активны белорусские инновационные предприятия в регистрации запросов: не более 25 запросов за аналогичный период.

Обобщенные данные о технических предложениях и запросах белорусских инновационных предприятий в сельском хозяйстве за период 2015–2023 гг. представлены на рис. 1.

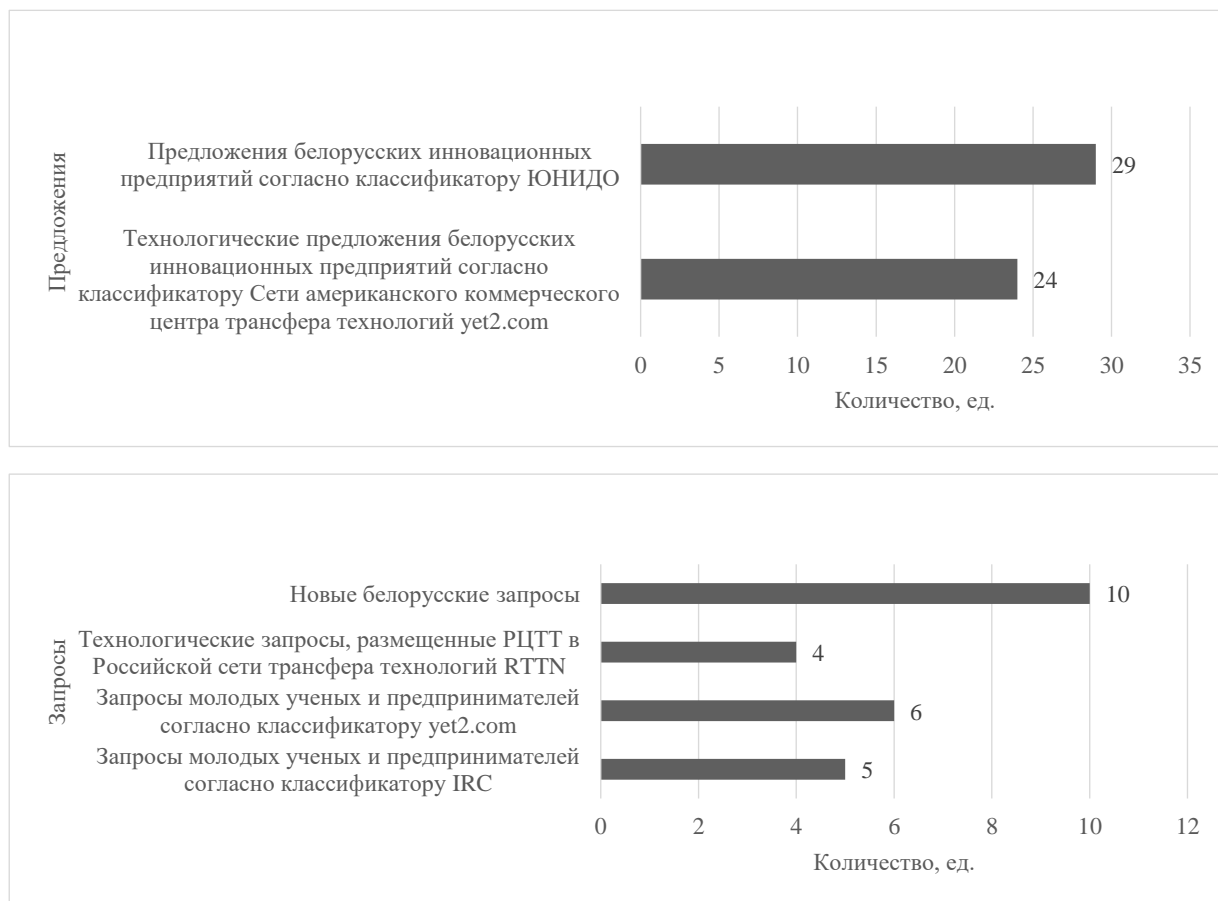


Рис. 1. Обобщенные данные о технических предложениях и запросах белорусских инновационных предприятий в сельском хозяйстве за период 2015–2023 гг.

Примечание. Рисунок выполнен автором на основе изучения источника [17].

Исследования показали, что количество предложений инновационных разработок превышает количество запросов, на основании этого возможно предположить: инновационная активность организаций для удовлетворения имеющегося спроса отсутствует; недостаточный спрос со стороны основ-

ных потребителей инноваций приводит к снижению коммерциализации инноваций в целом по республике; несбалансированность предложения и спроса на инновации может привести к внедрению инноваций не в полном объеме, что снижает эффективность использования производственно-инновационного потенциала организаций; преобладание предложений инновационных разработок над спросом свидетельствует о слабой взаимосвязи между наукой и производством и неиспользовании возможностей влияния субъектов инновационной инфраструктуры на данную взаимосвязь в полном объеме.

Например, в животноводстве большое значение имеет рациональное, научно обоснованное внедрение и применение интеграции интеллектуальных систем доения и кормления с целью оптимизации производства продукции, роста эффективности использования кормов и повышения на этой основе продуктивности животных. В отрасли растениеводства одним из направлений инновационного развития является создание на основе достижений биотехнологии и генной инженерии новых высокоурожайных сортов, гибридов и популяций сельскохозяйственных культур, конкурентных на уровне мировых стандартов, устойчивых к неблагоприятным природным факторам, адаптированных к зональным особенностям Беларуси, с высокой потенциальной эффективностью и оптимальным сроком окупаемости в сочетании с широким внедрением систем точного земледелия [16, с. 17–24].

Учреждение образования «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия» является старейшим высшим учебным заведением аграрного профиля среди вузов стран СНГ и Европы. Белорусская государственная сельскохозяйственная академия – крупный научно-исследовательский центр, в котором наряду с сельскохозяйственной подготовкой специалистов высшей квалификации для отрасли проводятся исследования, соответствующие основным приоритетным научным направлениям Республики Беларусь.

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия» не уступает по показателям научной и инновационной деятельности другим вузам республики (табл. 2).

Таблица 2. Обобщенные данные об инновационных разработках вузов Республики Беларусь в аграрной сфере в 2023 г.

Сорта	Методики	Разработки и технологии	Коммерческие предложения
<i>Белорусская государственная сельскохозяйственная академия</i>			
17	19	11	Производство и реализация, оказание услуг
<i>Другие вузы республики</i>			
38	12	67	Производство и реализация, оказание услуг

Примечание. Таблица составлена автором на основе изучения источников [17, 1].

Информация, приведенная в табл. 2, свидетельствует об активном участии учреждений высшего образования в разработке инноваций. Кроме того, организации, осуществляющие деятельность в аграрной отрасли, вносят свой вклад в ее инновационное развитие (ОАО «Жабинковский комбикормовый завод», ОАО «Пинские нетканые материалы», ЗАО «Авиационные технологии и комплексы», ООО «Технологии земледелия»).

Сведения о правовой охране инновационных разработок указывают на невысокую патентную активность представителей на этапе создания и внедрения разработок, что препятствует успешной их коммерциализации. Только 5 разработок из 31 на момент участия в ярмарке инновационных разработок получили патенты. Большинство представленных разработок применимы в сельскохозяйственных организациях и крестьянских (фермерских) хозяйствах как потенциальных потребителей или заинтересованных сторонах.

Уровень использования технологий в аграрном бизнесе постепенно увеличивается, на это влияет сразу несколько факторов: стремление сельскохозяйственных организаций к повышению производительности, рост конкуренции на внутреннем и внешних рынках, повышение уровня цифровизации [2, с. 31; 3, с. 78; 5; 6; 7, с. 155; 8, с. 112; 9; 10, с. 283; 12, с. 13; 14; 15, с. 17; 18, с. 240; 19, с. 20; 20; 21; 22, с. 5; 23; 24].

В первую очередь это оказало сильное воздействие на развитие точного земледелия. Применение его технологий позволяет сделать любой процесс более быстрым, удобным и качественным.

Благодаря использованию различных инновационных платформ в сельском хозяйстве наблюдается не только рост количества продукции, но и улучшение ее качества [25, с. 68]. Поэтому точное земледелие становится неотъемлемым механизмом для развития сельскохозяйственной отрасли, и многочисленные исследования доказывают это.

Представителем по коммерциализации инновационных разработок в земледелии и растениеводстве является ООО «Технологии земледелия». Данная организация начала деятельность в 2014 г. с заключения контракта с компанией Trimble B. V. Europe. С 2016 г. активно изучала инженерный опыт производителей сельскохозяйственной техники и в последующие годы стала сотрудничать с ОАО «МТЗ» и ОАО «Гомсельмаш». Кроме этого, инженерно-технические специалисты, занятые научно-

исследовательскими, опытно-конструкторскими и технологическими работами, оказывают непосредственное воздействие на конкурентоспособность производимой продукции. Например, проведение среди молодых инженеров промышленных предприятий республики конкурса «ИНЖЕНЕРИАДА» позволяет сохранить и приумножить высокие трудовые и научные возможности работников ОАО «Гомсельмаш», создать условия для использования достижений науки в решении актуальных технических и экономических проблем. Ценность и значимость подтверждается тем, что большая часть результатов исследований, которые лежат в основе авторских работ, уже внедрены и применяются в технике, выпускаемой ОАО «Гомсельмаш», либо находятся на стадии внедрения [11, с. 195–198].

Начало внедрения инновационных разработок совместно с перечисленными партнерами в сельском хозяйстве республики связано также с приобретением ООО «Технопарк «Горки» статуса резидента субъекта инновационной инфраструктуры – единственного научно-технологического парка в системе Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, представляющего собой уникальную площадку для коммерциализации аграрных наукоемких разработок на территории Евразийского экономического союза. Продукты и услуги ООО «Технологии земледелия» нашли свое применение во многих организациях аграрного бизнеса, продано более 500 дисплеев и оцифровано 50 тыс. га полей.

Для решения проблемы подготовки квалифицированных кадров для аграрной отрасли на базе старейшего аграрного вуза страны УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия» в 2020 г. открылась лаборатория точного земледелия. С 2021 г. создается сеть центров точного земледелия по всей республике на базе колледжей и лицеев.

У компании появились новые партнеры: ОАО «Лидагропроммаш», СООО «Элезер», ОАО «Белагропромбанк». В настоящее время ООО «Технологии земледелия» занимается разработкой и коммерциализацией собственного программного обеспечения и решений для точного земледелия – Centre R&D. Следует отметить, что сфера цифровизации формирует значительные перспективы возникновения, развития и коммерциализации инновационных разработок в аграрном бизнесе республики.

Возрастает экономический интерес в повышении эффективности организации аграрного бизнеса за счет выбора форм и методов коммерциализации инноваций, созданных как внутри организации, так и приобретенных по договорам. Поэтому анализ эффективности использования нематериальных активов имеет достаточно большое значение. Проведенное нами исследование позволило выявить, что доля нематериальных активов в структуре актива баланса очень мала.

Анализ не менее 420 организаций аграрного бизнеса, доля вырученных денежных средств от реализации продукции, в которых превышает 50 %, показал, что только в 79 организациях (18,8 % от общего числа) ведется учет нематериальных активов по результатам 2023 г.

Так, размер нематериальных активов варьируется от 1 до 498 тыс. руб., доля нематериальных активов в структуре их баланса не превышает 1 % (рис. 2).

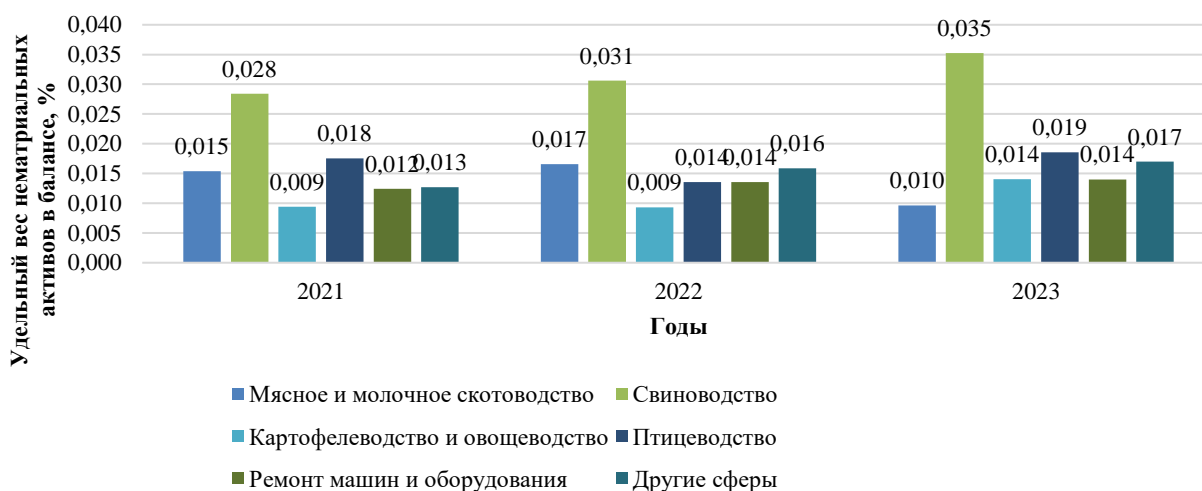


Рис. 2. Доля нематериальных активов в структуре актива баланса по сферам, %

Примечание. Рисунок выполнен автором по данным годовых отчетов сельскохозяйственных организаций системы Минсельхозпрода за 2021–2023 гг.

Наибольшую долю нематериальные активы в структуре баланса занимают в организациях аграрного бизнеса в сферах свиноводства, мясного и молочного скотоводства и птицеводства. На следующих позициях расположены сферы птицеводства и ремонта машин. С развитием рыночных отношений повышаются размер и доля нематериальных активов в общей сумме капитала.

Анализ динамики и структуры нематериальных активов за 2021–2023 гг. приведен в табл. 3.

Таблица 3. Анализ объема, динамики и структуры нематериальных активов

Вид нематериальных активов	Сумма, тыс. руб.				Структура, %			
	2021	2022	2023	Изменение	2021	2022	2023	Изменение
Имущественные права на результаты научно-технической деятельности, объекты интеллектуальной собственности, вытекающие из лицензионных (авторских) договоров, договоров комплексной предпринимательской лицензии (франчайзинга) и иных договоров в соответствии с законодательством	660,40	974,12	1011,05	153,1	65,00	71,00	73,00	8,0
Имущественные права на землю	152,40	233,24	263,15	172,7	15,00	17,00	19,00	4,0
Активы, не имеющие материально-вещественной формы, в т. ч. созданный в организации веб-сайт	182,88	123,48	69,25	37,9	18,00	9,00	5,00	-13,0
Деловая репутация (гудвилл)	–	–	–	–	–	–	–	–
Прочие (товарные знаки и др.)	20,32	41,16	41,55	204,5	2,00	3,00	3,00	1,0
Итого	1016,00	1372,00	1385,00	136,3	100,00	100,00	100,00	–

Примечание. Таблица составлена автором на основе собственных исследований.

Данные, приведенные в табл. 3, свидетельствуют о том, что основную долю в структуре нематериальных активов составляют имущественные права на объекты интеллектуальной собственности, вытекающие из лицензионных (авторских) договоров, договоров комплексной предпринимательской лицензии (франчайзинга) и иных договоров в соответствии с законодательством и договоров комплексной предпринимательской лицензии, при этом абсолютная их величина и относительная доля в общей сумме увеличилась на 8 п. п.

Это свидетельствует о невысоком увеличении деловой активности организаций, так как в 2023 г. было незначительное вложение инвестиций в данный вид активов. Изученные данные показывают, что увеличилась сумма нематериальных активов в бухгалтерском балансе и, как следствие повысилась инновационная активность организаций.

В результате анализа бухгалтерской отчетности за 2021–2023 г. из общей выборки 79 организаций выделили 24 организации, имеющих размер нематериальных активов за последние два года не менее 10 тыс. руб. (рис. 3).

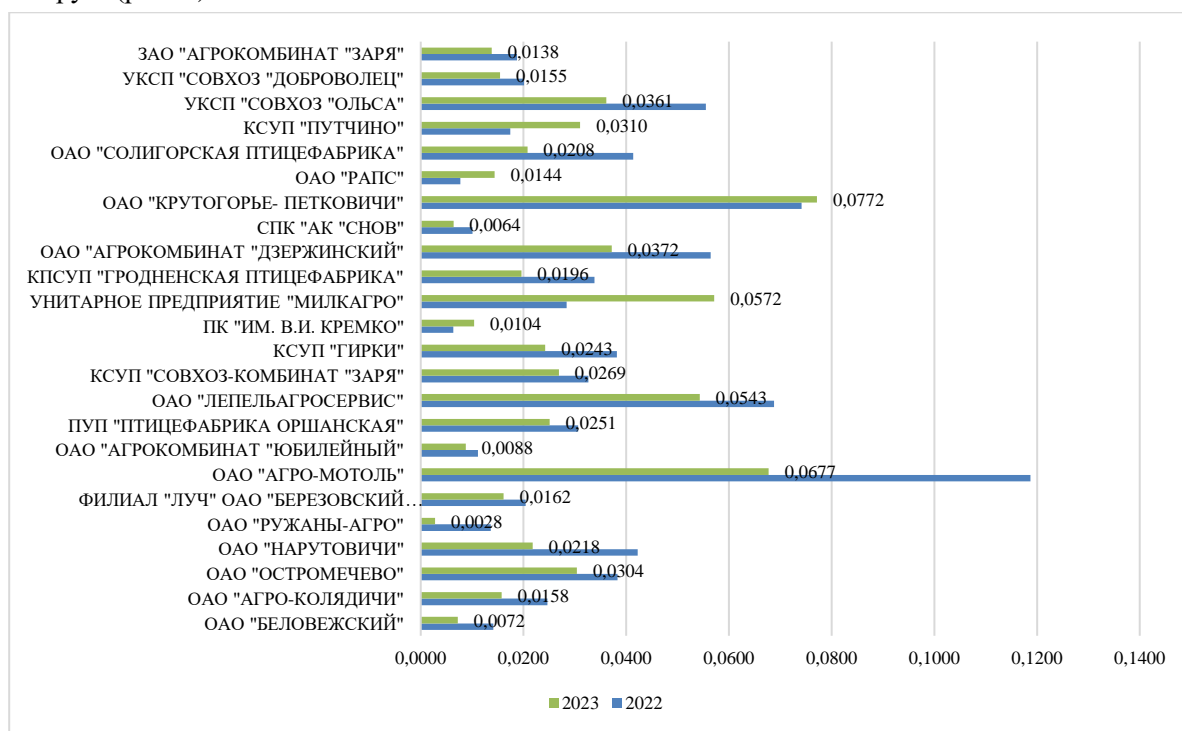


Рис. 3. Организации с максимальной долей нематериальных активов в структуре баланса из общей выборки, %  
Примечание. Рисунок выполнен автором на основе собственных исследований.

На рис. 3 приведена информация по 24 организациям о доле нематериальных активов в структуре баланса. Расчет эффективности использования нематериальных активов сопряжен с достаточно большими трудностями и требует комплексного подхода.

Как показывает изучение нормативных правовых актов и иной документации, регулирующих учет нематериальных активов, данный вид актива приобретает с целью получения экономического эффекта от его использования в процессе производства и оказания услуг, выполнения работ, поэтому эффективность этих вложений необходимо рассматривать с точки зрения повышения доходности. Эффективность нематериаль-

ных активов повышается, если темпы роста прибыли и выручки будут опережать темпы роста нематериальных активов. Темп роста нематериальных активов прямо пропорционально влияет на рост чистой прибыли, что позволяет обеспечить финансовую устойчивость организации. Дополнительное привлечение инновационных разработок в производство, которые отражаются в нематериальных активах, позволяет организации после введения их в экономический оборот получить дополнительную чистую прибыль и свободно располагать денежными средствами для дальнейшего осуществления инновационной деятельности.

Одним из основных факторов роста доходности нематериальных активов является повышение рентабельности продаж. Проведем анализ изменения расчетной доходности нематериальных активов с учетом изменения фактических данных рентабельности продаж исследуемых организаций (табл. 4).

Таблица 4. Анализ изменения доходности нематериальных активов за счет изменения рентабельности продаж за 2022–2023 г.

Наименование организации	Изменение рентабельности продаж, п. п.	Изменение доходности нематериальных активов ( $D_{па}$ ), п. п.
ПУП «Птицефабрика Оршанская»	-38,7	-536,4
ОАО «Лепельагросервис»	-22,7	-41,8
КСУП «Гутчино»	-4,1	-6,9
ОАО «Агро-Мотоль»	-1,5	-2,5
ЗАО «Агрокомбинат «Заря»	-1,0	-21,3
ОАО «Агрокомбинат «Дзержинский»	-0,7	-0,8
ОАО «Солигорская птицефабрика»	-0,04	-7,1
УП «Милкагро»	-0,01	-22,9
ОАО «Рапс»	0,05	110,4
Филиал «Луч» ОАО «Березовский сыродельный комбинат»	0,8	275,9
СПК «АК «Снов»	0,9	147,5
ОАО «Беловежский»	1,2	176,8
ПК «Им. В. И. Кремко»	1,4	462,5
КСУП «Совхоз-комбинат «Заря»	1,5	56,2
ОАО «Остромечев»	1,8	35,5
КСУП «Гирки»	2,9	108,6
ОАО «Крутогорье-Петковичи»	3,1	17,4
ОАО «Нарутовичи»	4,7	121,3
УКСП «Совхоз «Доброволец»	5,4	246,4
КПСУП «Гродненская птицефабрика»	5,6	143,2
ОАО «Ружаны-Агро»	6,3	290,7
ОАО «Агро-Колядичи»	8,4	249,8
ОАО «Агрокомбинат «Юбилейный»	8,8	352,6
УКСП «Совхоз «Ольса»	11,2	81,5

Примечание. Таблица составлена автором на основе собственных исследований.

Таким образом, доходность нематериальных активов может быть повышена за счет увеличения рентабельности продаж в результате повышения деловой репутации организации (гудвилла) при улучшении финансового состояния организации и повышении инновационной активности привлечением новых технологий и объектов интеллектуальной собственности, приобретенных и созданных внутри организации.

Для реализации, данного направления необходимо выполнить ряд требований:

- организовать и развить рынок инноваций с соответствующей инфраструктурой для эффективной коммерциализации инноваций путем создания ассоциаций научно-технологических парков, формирования инновационных фондов развития при технопарках и иных структур и финансовых институтов;

- создать эффективный алгоритм взаимодействия субъектов рынка инноваций всех уровней для повышения инновационной активности заинтересованных организаций с привлечением новых технологий и объектов интеллектуальной собственности, приобретенных или созданных внутри организации, при повышении доходности нематериальных активов за счет увеличения рентабельности продаж в результате формирования финансовой устойчивости организации и повышения деловой репутации (гудвилла).

### Заключение

Таким образом, проведенный анализ инновационной деятельности и учета нематериальных активов, как стратегической возможности обеспечения инновационной активности организаций аграрного бизнеса позволяет получить следующие результаты:

- будут созданы для организаций аграрного бизнеса такие условия, когда внедрение и активная реализация инноваций будут способствовать развитию сельского хозяйства республики в целом и повышению его конкурентоспособности;

- организации аграрного бизнеса, задействовав экономические механизмы управления собственными средствами на инновации, могут повысить результативность инновационной деятельности и коммерциализации инноваций за счет роста объема выпущенной инновационной продукции и применения инновационных прогрессивных технологий в аграрной сфере;

- увеличится инновационная активность заинтересованных организаций с привлечением новых техно-

логий и объектов интеллектуальной собственности, приобретенных или созданных внутри организации, при повышении доходности нематериальных активов за счет увеличения рентабельности продаж в результате формирования финансовой устойчивости организации и повышения деловой репутации (гудвилла).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Белорусский институт системного анализа и информационного обеспечения научно-технологической сферы. Каталог инновационных разработок [Электронный ресурс]. – URL: [http://www.belisa.org.by/ru/izd/Catalog\\_issued/](http://www.belisa.org.by/ru/izd/Catalog_issued/) (дата обращения: 01.11.2025).
2. Веко, Р. Повышение эффективности финансирования инновационных проектов на региональном уровне / Р. Веко // Банкаўскі веснік. – 2016. – № 9 (638). – С. 31–33.
3. Воротников, И. Бизнес-проектирование инновационной деятельности предприятий АПК / И. Воротников, К. Петров // Экономика сельского хозяйства России. – 2008. – № 3. – С. 78–82.
4. Доля сельского хозяйства в ВВП [Электронный ресурс]. – URL: <https://w3.unece.org/PXWeb/ru/Table?Indicator/> (дата обращения: 01.11.2025).
5. Запольский, М. И. Концептуальные подходы по научному обеспечению интеграционного взаимодействия в рамках Евразийского экономического союза / М. И. Запольский. – Минск: Ин-т системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2015. – 237 с.
6. Каталог организаций Республики Беларусь, выполняющих научные исследования и разработки / под ред. П. И. Балтруковича. – Минск: ГУ «БелИСА», 2024. – 396 с.
7. Кингхэм, Д. Оценка коммерциализуемости технологий – технологический аудит / Д. Кингхэм, Д. Рэй, П. Бэйки, // В сб.: Коммерциализация технологий: российский и мировой опыт (Библиотека технологического предпринимательства, материалы международной конференции в Санкт-Петербурге, июль 1996). – Санкт-Петербург, 1997, цкт АНХ. – С. 155–164.
8. Комплекс мер по совершенствованию внешней торговли аграрной продукцией, обеспечивающих адаптацию АПК Беларуси к нормам и правилам многосторонней торговой системы / В. Г. Гусаков [и др.] // Научные принципы регулирования развития АПК: предложения и механизмы реализации. – Минск: Ин-т систем, исслед. в АПК НАН Беларуси, 2019. – С. 112–125.
9. Косинец, А. Стратегия развития научной сферы / А. Косинец // Республика [Электронный ресурс]. – 2007. – 2 нояб. – URL: <http://www.respublika.info/4386/science/article2/> (дата обращения: 20.12.2025).
10. Кухарук, А. Д. Содержание организационно-экономического механизма повышения конкурентоспособности предприятия / А. Д. Кухарук // Вестник Кемеровского государственного университета. – 2013. – № 2-1 (54). – С. 283–287.
11. Липская, В. К. Комплексный подход к привлечению и закреплению молодых специалистов, исследователей и разработчиков на машиностроительных предприятиях Республики Беларусь / В. К. Липская, А.С. Шантыко // Вестник БГСХА. – 2022. – № 2. – С. 195–198.
12. Малявко, О. Теоретические аспекты конкурентоспособности в условиях сельскохозяйственного производства / О. Малявко // Агроэкономика. – 2008. – № 5. – С. 13–17.
13. Национальный статистический комитет Республики Беларусь: официальный сайт [Электронный ресурс]. – 2025. – URL: <http://www.belstat.gov.by> (дата обращения: 01.11.2025).
14. Обзор цифровых технологий для агропромышленного комплекса: от ГИС до интернета вещей // Интеграл [Электронный ресурс]. – 2024. – URL: <http://integral-russia.ru/2024/10/28/tsifrovaya-platforma-razvitiya-agropromyshlennogokompleksa-kontseptsiya-osnovnyye-tezisy/> (дата обращения: 07.12.2025).
15. Проблемы и перспективы инновационного развития агропромышленного комплекса Республики Беларусь / В. В. Чабаткуль [и др.] // Аграрная экономика. – 2017. – № 7. – С. 17–24.
16. Проблемы и перспективы инновационного развития агропромышленного комплекса Республики Беларусь / В. Чабаткуль [и др.] // Аграр. экономика. – 2017. – № 7. – С. 17–24.
17. Республиканский центр трансфера технологий [Электронный ресурс]. – URL: <http://icct.by/rus/Default.aspx?tabid=1117/> (дата обращения: 10.12.2025).
18. Сайганов, А. Научное обеспечение агропромышленного комплекса Республики Беларусь / А. Сайганов, Т. Запрудская, А. Пыл // Организационно-правовые аспекты инновационного развития агробизнеса: сб. науч. труд. / Белорус. с.-х. акад., Западнопоморский технол. ун-т в Щецине; ред. кол.: А. С. Четчин (гл. ред.) [и др.]. – Щецин–Горки, 2020. – С. 240–246.
19. Сайганов, А. С. Совершенствование организации технического сервиса по обеспечению работоспособности сельскохозяйственной техники / А. С. Сайганов, С. К. Карпович // Техническое и кадровое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве: материалы междунар. науч.-практ. конф. (Минск, 24–25 окт. 2019 г.): в 2 ч.; редкол.: И. Н. Шило [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2019. – Ч. 2. – С. 20–22.
20. Стабилизация развития агропромышленного производства Республики Беларусь / В. Г. Гусаков [и др.]; под ред. В. Г. Гусакова и З. М. Ильиной. – Минск: Ин-т аграр. экономики НАН Беларуси, 2004. – 195 с.
21. Становление и развитие цифровой трансформации и информационного общества (ИТ-страны) в Республике Беларусь / Р. Б. Григянец [и др.]; ред. В. Г. Гусаков // НАН Беларуси, Объединенный институт проблем информатики. – Минск: Беларус. навука, 2019. – 226 с.
22. Такун, А. П. Инновации в сельском хозяйстве: проблемы внедрения и перспективы развития / А. П. Такун // Вес. Нац. акад. наук Беларусі: Сер. агр. навук. – 2015. – № 1. – С. 5–9.
23. Твисс, Б. Управление нововведениями [Текст] / Б. Твисс. – М.: Экономика, 2009. – 272 с.
24. Техническое и кадровое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве : материалы Международной научно-практической конференции (Минск, 23–24 октября 2014 г.) : в 2 ч. Ч. 1 / Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, Белорусский государственный аграрный технический университет, Белорусский республиканский фонд фундаментальных исследований ; ред.: И. Н. Шило [и др.]. – Минск, 2014. – 371 с.
25. Шутова, С. В. Инновационный потенциал аграрного бизнеса Республики Беларусь и направления его использования / С. В. Шутова, М. З. Фрейдин // Актуальные проблемы инновационного развития агропромышленного комплекса Беларуси: сб. науч. тр. XVI Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 80-летию д. э. н., проф., Чрезвычайч. и Полномоч. посла Л. В. Пакуш: в 2 ч. – Горки: БГСХА, 2023. – Ч. 1. – С. 68–78.

## ОСОБЕННОСТИ ИНВЕНТАРИЗАЦИИ ОСНОВНЫХ СРЕДСТВ В СВЕТЕ НОВЫХ НОРМАТИВНЫХ АКТОВ

Т. А. КУРУЛЕНКО

*УО «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции  
и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия»,  
г. Горки, Республика Беларусь, 213407, e-mail: tatsyana\_alex@mail.ru*

*(Поступила в редакцию 20.01.2026)*

*Основные средства, являясь одной из главных составляющих производственного потенциала, одной из наиболее весомых статей финансовой отчетности организаций, наиболее наглядно характеризуют их имущественное положение, перспективы получения экономических выгод в будущем. Недостаток современных основных средств влияет на эффективность развития не только конкретного предприятия, но и отрасли в целом. Кроме того, складывающиеся условия хозяйствования предъявляют высокие требования к конкурентоспособности продукции, что предполагает техническое перевооружение организаций, обновление и реконструкцию основных средств, ускорение замены устаревшей техники, повышение производительности машин и оборудования.*

*Однако в современных условиях важен не только факт наличия, обновления, создания, приобретения основных средств, но и эффективного их использования, а это возможно при наличии действенной системы контроля на предприятии. Контроль – это критически важная и сложная функция управления, его основной целью является повышение общей эффективности деятельности и обеспечение ее безопасности на предприятиях, предотвращение конфликтов с внешней и внутренней средой. Внутренний контроль – это система мер, организованных руководством предприятия и осуществляемых на предприятии с целью наиболее эффективного выполнения всеми работниками своих должностных обязанностей при совершении хозяйственных операций. При этом внутренний контроль основных средств не должен сводиться только к проверке данных бухгалтерского учета, законности операций с основными средствами, он призван обеспечивать минимизацию рисков, связанных с невыполнением законодательства по бухгалтерскому учету и отражению в отчетности информации об этих активах, их хищением, неэффективным использованием. Одним из методов внутреннего контроля основных средств является их инвентаризация. В статье рассмотрены цель и задачи инвентаризации основных средств, особенности ее проведения с учетом новых нормативных актов, предложено использование современных средств при проведении инвентаризации.*

**Ключевые слова:** *основные средства, внутренний контроль, проверка, инвентаризация, бухгалтерский учет, автоматизация.*

*Fixed assets, being a key component of production potential and one of the most significant items in an organization's financial statements, most clearly characterize its financial position and prospects for future economic benefits. A shortage of modern fixed assets impacts the development efficiency of not only a specific enterprise but also the industry as a whole. Furthermore, current economic conditions place high demands on product competitiveness, necessitating technical re-equipment of organizations, updating and reconstructing fixed assets, accelerating the replacement of obsolete equipment, and increasing the productivity of machinery and equipment.*

*However, in today's environment, it is not only the availability, updating, creation, and acquisition of fixed assets that is important, but also their effective use, which is possible with an effective enterprise control system. Control is a critical and complex management function, its primary goal being to improve overall operational efficiency and ensure enterprise security, while preventing conflicts with the external and internal environment. Internal control is a system of measures organized by enterprise management and implemented to ensure that all employees perform their job responsibilities most effectively during business transactions. Internal control of fixed assets should not be limited to verifying accounting data and the legality of fixed asset transactions; it is designed to minimize the risks associated with non-compliance with accounting laws and the reporting of information about these assets, their theft, and ineffective use. One method of internal control of fixed assets is their inventory. This article examines the purpose and objectives of fixed asset inventory, the specifics of its implementation in light of new regulations, and proposes the use of modern inventory tools.*

**Key words:** *fixed assets, internal control, verification, inventory, accounting, automation.*

### **Введение**

Одним из важнейших требований, предъявляемых к бухгалтерскому учету, является обеспечение реальности (правдивости) и достоверности (точности) его показателей. Основные средства составляют основу материально-технической базы любой коммерческой организации, поэтому вопросы учета и внутреннего контроля этих долгосрочных активов заслуживают особого внимания, как со стороны управленческого персонала организации, так и со стороны ее собственников, так как бухгалтерский учет основных средств должен обеспечивать внутренних и внешних пользователей правдивой информацией об их наличии, составе, стоимости. Достоверность данных бухгалтерского учета об основных средствах во многом определяет и влияет на точность информации о финансовом состоянии организации. Правдивость данных бухгалтерского учета во многом определяется тем, насколько полно на предприятии реализуется защитная функция бухгалтерского учета. Защитная функция бухгалтерского учета выражается в способности отражать и фиксировать негативные изменения в деятель-

ности субъектов хозяйствования. Реализация защитной функции бухгалтерского учета требует полноценного использования всех элементов метода бухгалтерского учета, в том числе и инвентаризации. С помощью данных, полученных на основе инвентаризации, обеспечивается полное соответствие записей в системе бухгалтерского учета фактическому наличию и состоянию учетных объектов и, следовательно, правдивое представление сведений в бухгалтерской отчетности.

Целью исследования является определение особенностей проведения инвентаризации основных средств с учетом требований нормативных актов, предложение путей совершенствования инвентаризации на основе ее автоматизации.

### **Основная часть**

Для обеспечения достоверности данных бухгалтерского учета и отчетности организации обязаны проводить инвентаризации активов и обязательств. Инвентаризация (от лат. *inventarium* – роспись, опись) – это проверка и документальное подтверждение фактического наличия активов и обязательств организации, выявление отклонений от учетных данных и принятие решений по внесению изменений в данные бухгалтерского учета для приведения их в соответствие с действительностью [1, с. 158]. Инвентаризация основных средств – это процесс сравнения фактического наличия объектов основных средств с данными бухгалтерского учета. Это важная процедура, которая помогает решить следующие важные задачи:

- выявление фактического наличия и состояния основных средств. Инвентаризация позволяет точно определить, какие основные средства есть у организации, в каком состоянии они находятся, и где на данный момент расположены. Это важно для оценки реальной стоимости активов и планирования их использования;

- проверка правильного (корректного) ведения бухгалтерского учета основных средств. Инвентаризация позволяет выявить ошибки в учете основных средств, такие как неправильное присвоение инвентарных номеров, ошибочное отражение операций по поступлению, перемещению и выбытию основных средств, неоприходование или неполное оприходование основных средств;

- обнаружение излишков и недостач основных средств. В ходе инвентаризации могут быть выявлены случаи, когда количество основных средств, указанное в учете, не соответствует их фактическому наличию. Это может указывать на необходимость корректировки учетных записей или проведения дополнительных проверок;

- подготовка к составлению годовой бухгалтерской отчетности. Инвентаризация является обязательным этапом подготовки к составлению годовой бухгалтерской отчетности, поскольку позволяет обеспечить точность и достоверность данных о состоянии основных средств;

- обеспечение сохранности имущества. Регулярная инвентаризация способствует предотвращению случаев кражи, порчи или потери основных средств, так как позволяет своевременно выявлять и устранять возможные проблемы;

- подготовка к продаже или покупке основных средств. Перед проведением сделок с основными средствами необходимо провести инвентаризацию для определения их реальной стоимости и состояния [2, с. 33].

Согласно Национальному стандарту бухгалтерского учета и отчетности «Инвентаризация активов и обязательств» [3] инвентаризация активов, в том числе и основных средств, проводится в случаях, предусмотренных статьей 13 Закона Республики Беларусь «О бухгалтерском учете и отчетности», и в иных случаях по решению руководителя организации, то есть, периодичность и сроки проведения инвентаризации основных средств определяются руководителем организации.

В соответствии с Законом Республики Беларусь «О бухгалтерском учете и отчетности» проведение инвентаризации активов и обязательств организации, в том числе и основных средств, обязательно в следующих случаях:

- при реорганизации или ликвидации организации;
- перед составлением годовой отчетности;
- при смене материально ответственных лиц;
- при выявлении фактов хищения и (или) порчи имущества;
- при возникновении чрезвычайных ситуаций;
- в иных случаях, предусмотренных законодательством [4].

При этом следует учесть, что перед составлением годовой бухгалтерской отчетности инвентаризация основных средств проводится не ранее 30 сентября отчетного года, а при смене материально ответственного лица инвентаризация вверенных ему активов проводится на дату приема и сдачи дел.

При проведении инвентаризации основных средств должны быть соблюдены общие требования к организации и проведению инвентаризации активов. В организации должны быть созданы условия для полного и точного выявления фактического наличия активов в установленные сроки (обеспечение работниками, измерительными и контрольными приборами, мерной тарой, другими необходимыми для проведения инвентаризации приборами и устройствами).

Для проведения инвентаризации в организации создается инвентаризационная комиссия, функции и состав которой устанавливаются руководителем организации. В состав инвентаризационной комиссии могут включаться заместители руководителя организации, руководители и специалисты подразделений организации, работники бухгалтерской службы, иные лица, необходимость участия которых в инвентаризации определяется руководителем организации. Материально ответственное лицо не включается в состав комиссии при инвентаризации вверенных ему активов.

Инвентаризация проводится в присутствии всех членов комиссии. В случае отсутствия члена комиссии в ее состав включается работник организации, исполняющий его должностные обязанности, или по решению руководителя организации иное лицо.

Присутствие материально ответственного лица обязательно при инвентаризации вверенных ему активов. В случае отсутствия материально ответственного лица или его отказа от участия в инвентаризации руководителем организации принимается решение о переносе срока проведения инвентаризации или о проведении инвентаризации без участия материально ответственного лица. В случае отказа материально ответственного лица от участия в инвентаризации комиссией составляется документ, подтверждающий такой отказ.

Материально ответственные лица расписками подтверждают, что к началу проведения инвентаризации все первичные учетные документы, на основании которых отражается в бухгалтерском учете движение активов, сданы в бухгалтерию организации или переданы комиссии.

Фактическое наличие активов, в частности основных средств, определяется путем их осмотра, подсчета, и другими способами, в том числе с использованием автоматизированных средств измерения, внесенных в Государственный реестр средств измерений и стандартных образцов Республики Беларусь. Фактическое наличие активов, хранящихся в неповрежденной упаковке поставщика (например, оборудование, мебель) может определяться на основании ярлыка на этой упаковке и (или) первичных учетных документов, подтверждающих их поступление в организацию, при обязательной проверке части этих активов в натуре.

Данные о фактическом наличии основных средств вносятся комиссией в инвентаризационные описи или акты инвентаризации. Формы описей утверждаются руководителем организации. В описях указываются основание проведения инвентаризации, материально ответственное лицо, даты начала и окончания инвентаризации, наименование актива, его инвентарный номер, натуральная единица измерения актива, фактическое наличие актива в этой единице измерения, стоимость актива и другие сведения. Наименование и количество основных средств вносятся в опись по номенклатуре и в единицах измерения, принятых в бухгалтерском учете.

Инвентаризационная опись основных средств подписывается всеми членами комиссии и материально ответственным лицом с указанием их должностей служащего (профессий рабочего), фамилий и инициалов. Материально ответственным лицом в описи делается запись, подтверждающая проверку фактического наличия активов комиссией в его присутствии, отсутствие к членам комиссии каких-либо претензий и принятие им указанных в описи активов для хранения или использования.

По выявленным в ходе инвентаризации непригодным к эксплуатации и подлежащим восстановлению основным средствам составляется отдельная опись с указанием в ней даты ввода в эксплуатацию (при ее наличии) и причин непригодности этих активов.

Инвентаризационной комиссией сопоставляется фактическое наличие основных средств, указанное в инвентаризационных описях, с данными бухгалтерского учета. Выявленные при этом отклонения (излишки и (или) недостачи) отражаются в сличительной ведомости. Форма сличительной ведомости утверждается руководителем организации. Сличительная ведомость подписывается всеми членами комиссии с указанием их должностей служащего (профессий рабочего), фамилий и инициалов, а также материально ответственным лицом, которым представляются комиссии письменные объяснения по каждому случаю выявленных отклонений. Предложения о регулировании выявленных при инвентаризации отклонений оформляются протоколом заседания комиссии. По результатам рассмотрения этого протокола руководителем организации принимается решение о регулировании выявленных при инвентаризации отклонений. Выявленные при инвентаризации отклонения отражаются в бухгалтерском учете в отчетном месяце составления сличительной ведомости, а по инвентаризации,

проводимой перед составлением годовой бухгалтерской отчетности, – в отчетном месяце составления сличительной ведомости, но не позднее последнего календарного дня отчетного года. Следует заметить, что согласно изменениям и дополнениям от 03.10.2025 г. №104, внесенным в Инструкцию по бухгалтерскому учету основных средств [5] стоимость основных средств, выявленных в результате инвентаризации как излишки, отражается по дебету счета 08 «Вложения в долгосрочные активы» и кредиту счета 91 «Прочие доходы и расходы» (до вступления в силу указанных изменений стоимость излишков основных средств относилась сразу в дебет счета 01 «Основные средства» и кредит счета 91 «Прочие доходы и расходы»).

Инвентаризация различных активов имеет свои особенности в зависимости от вида, физических свойств объектов, их местонахождения и др. Поэтому при проведении инвентаризации каждого вида активов, в том числе и основных средств, следует учитывать эти особенности. Так, при принятии к учету объектов основных средств им присваивается инвентарный номер, который должен быть нанесен на основное средство. При инвентаризации основных средств комиссией производится их осмотр и внесение в описи их наименований и инвентарных номеров, проверяется наличие инвентарного номера на инвентаризируемых объектах.

При инвентаризации недвижимого имущества комиссией проверяется соответствие его комплектации (состава) данным имеющейся технической документации. Машины, оборудование и транспортные средства вносятся в описи индивидуально с указанием инвентарного номера, заводского номера организации-изготовителя (при его наличии), года выпуска.

При выявлении имущества, относящегося к основным средствам, которое не принято к бухгалтерскому учету или по которому в регистрах бухгалтерского учета отсутствуют или указаны неправильные сведения, в опись включаются недостающие и правильные сведения.

Если комиссией установлено, что в первоначальной стоимости основных средств не учтена стоимость реконструкции, модернизации, технической модернизации, выполнения ремонтно-реставрационных работ, проведения иных аналогичных работ или стоимость частичной ликвидации, то по соответствующим первичным учетным документам комиссией определяется сумма изменения первоначальной стоимости основных средств, которая указывается в описи.

В описях, составляемых при инвентаризации основных средств, временно переданных другим лицам в соответствии с договорами, указываются наименования получателей, наименования основных средств, их местонахождение, количество и первоначальная стоимость, наименования и даты составления первичных учетных документов, подтверждающих временную передачу основных средств другим лицам.

Основные средства, которые при проведении инвентаризации находятся вне места нахождения организации (в дальних рейсах, в ремонте), инвентаризируются до момента их временного выбытия или после их прибытия.

При инвентаризации незавершенного строительства по каждому объекту строительства проверяются соответствие частей объекта строительства, предусмотренных проектной документацией, объектам учета, числящимся в бухгалтерском учете, правильность и обоснованность включения прямых и косвенных затрат в затраты на создание объекта строительства.

На законченные строительством, но не введенные в эксплуатацию объекты, на законченные строительством объекты, введенные в эксплуатацию полностью или частично, приемка и ввод в действие которых не оформлены соответствующими первичными учетными документами, составляются отдельные описи. На прекращенные строительством объекты составляются отдельные описи с указанием причин неосуществления (прекращения) строительства, данных о консервации объектов.

Особым видом основных средств являются взрослые продуктивные животные, которые также подлежат инвентаризации. При инвентаризации взрослого продуктивного и рабочего скота в описи указываются номер животного, год его рождения, порода, упитанность, живая масса (вес) животного (кроме лошадей, по которым живая масса (вес) не указывается), первоначальная стоимость животного. Крупный рогатый скот, рабочий скот, свиньи и особо ценные экземпляры овец и других животных включаются в описи индивидуально с указанием инвентарных номеров, пола, масти, породы. Животные основного стада, учитываемые в групповом порядке, включаются в описи по возрастным и половым группам с указанием количества голов и живой массы (веса) по каждой группе [3].

Современные условия хозяйствования заставляет по-новому подойти к постановке учета на отдельных участках финансово-хозяйственной деятельности организаций, в том числе учета основных средств. Вопрос об автоматизации учета и контроля основных средств сегодня актуален как для крупных, так и для небольших организаций. Оперативное обеспечение актуальной информацией о

фактическом количестве, местоположении и состоянии используемого имущества сокращает издержки на длительную и трудоемкую инвентаризацию основных средств организации. В средних и крупных организациях инвентаризация представляет собой непростой и продолжительный процесс. Однако в настоящее время некоторые организации практикуют переход к автоматизации процесса инвентаризации с помощью RFID-технологии. RFID (Radio Frequency Identification) – это технология бесконтактной автоматической идентификации объектов с помощью радиоволн, использующая метки (чип+антенна) и считыватели. Она позволяет считывать информацию, в том числе через препятствия, без прямой видимости на расстоянии от нескольких сантиметров до 300 метров, применяется в том числе и для инвентаризации.

В случае внедрения системы RFID инвентаризации и учета основных средств в рамках целой сети предприятий появляется возможность их централизованного контроля. Функционал RFID системы учета основных средств обладает всеми описанными выше преимуществами, позволяя проводить быструю инвентаризацию основных средств, осуществлять ежедневный контроль, получать визуальное представление места эксплуатации, передвижение основных средств. Система RFID инвентаризации и учета основных средств обеспечивает создание всего комплекса документации по объекту, делает возможной эффективную идентификацию объектов с получением всех необходимых о них сведений на любом этапе учета основных средств, реализует быструю и точную RFID инвентаризацию основных средств, позволяет контролировать перемещение основных средств внутри системы [6, с. 640]. По нашему мнению, система RFID имеет как свои плюсы, так и недостатки. К положительным сторонам автоматизации инвентаризации основных средств с помощью RFID системы можно отнести: экономию времени на проведение инвентаризации; снижение вероятности хищения имущества; возможность контроля внутреннего перемещения основных средств; уменьшение вероятности ошибок при оприходовании и списании основных средств.

#### **Заключение**

Таким образом, инвентаризация основных средств является обязательным и действенным методом их внутреннего контроля. Инвентаризация этих активов имеет свои особенности, которые необходимо учитывать при ее организации и проведении. В настоящее время внедряются современные подходы к постановке учета на отдельных участках финансово-хозяйственной деятельности организаций, в том числе учета основных средств. Вопрос об автоматизации учета и контроля основных средств сегодня актуален как для крупных, так и для небольших организаций. Внедрение системы RFID инвентаризации и учета основных средств позволяет не только экономить время на проведение инвентаризации, но и осуществлять оперативный контроль за их наличием и перемещением.

#### *ЛИТЕРАТУРА*

1. Папковская, П. Я. Теория бухгалтерского учета: учеб. пособие / П. Я. Папковская. – Минск: БГЭУ, 2024. – 220 с.
2. Баданова, Э. А. Инвентаризация основных средств. Основные аспекты правильного ведения бухгалтерского учета инвентаризации / Э. А. Баданова // Вестник науки. – 2024. – № 10 (79). – С. 32–46.
3. Об утверждении Национального стандарта бухгалтерского учета и отчетности «Инвентаризация активов и обязательств»: постановление М-ва финансов Респ. Беларусь от 31 окт. 2025 г. № 126 // Бизнес-Инфо: аналит. правовая система. – URL: <https://bii.by/docs/postanovlenie-31-10-2025-126-o-voprosakh-bukhgalterskogo-ucheta-715882?query> (дата обращения: 15.01.2026).
4. О бухгалтерском учете и отчетности: Закон Респ. Беларусь от 12 июля 2013 г. № 57-З: в ред. Закона Респ. Беларусь от 11 окт. 2022 г. № 210-З // Бизнес-Инфо: аналит. правовая система – URL: <https://bii.by/docs/zakon-12-07-2013-57-z-o-bukhgalterskom-uchete-i-otchetnosti> (дата обращения: 14.01.2026).
5. Об утверждении инструкции по бухгалтерскому учету основных средств: постановление М-ва финансов Респ. Беларусь от 30 апреля 2012 г. № 26: в ред. постановления М-ва финансов Респ. Беларусь от 03 октября 2025 г. № 104 // Бизнес-Инфо: аналит. правовая система. – URL: <https://bii.by/docs/postanovlenie-30-04-2012-26-o-bukhgalterskom-uchete-osnovnykh-sredstv-245124?query> (дата обращения: 15.01.2026).
6. Здоровцова, В. А. Автоматизация инвентаризации как инструмент совершенствования учета основных средств / В. А. Здоровцова // Экономика и социум. – 2021. – № 2 (81). – С. 638–641.

## ЗЕМЛЕДЕЛИЕ, СЕЛЕКЦИЯ, РАСТЕНИЕВОДСТВО

УДК 633.8:631.811

### ВЛИЯНИЕ РЕГУЛЯТОРОВ РОСТА И УДОБРЕНИЙ НА УРОЖАЙНОСТЬ НИГЕЛЛЫ (*NIGELLA L.*)

А. Л. ИСАКОВА

УО «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции  
и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия»,  
г. Горки, Республика Беларусь, 213407, e-mail: nastyaisakova213@gmail.com

(Поступила в редакцию 05.01.2026)

Обогащение рациона населения новыми овощами, ягодами и лекарственными травами, открытие возможности для развития новых направлений в пищевой и легкой промышленности, предоставление возможности для получения дополнительного дохода и развития новых направлений в бизнес-сфере для крестьянско-фермерских хозяйств, а также снижение зависимости от традиционных культур и становление отрасли более устойчивой – эти и другие примеры имеют огромное значение при возделывании малораспространенных сельскохозяйственных культур в нашей стране. Одной из них является нигелла, или черный тмин (*Nigella L.*). Применение регуляторов роста и удобрений является одним из важных этапов при возделывании культур на семенные цели. Целью исследований являлось изучение удобрений и регуляторов роста на посевах сортов нигеллы посевной и нигеллы дамасской. Применение удобрений и регуляторов роста повышает урожайность нигеллы на 3,3–27,2 г, что свидетельствует о целесообразности их использования. Использование регулятора роста Ростмомент способствовало лучшему завязыванию семян в листовках у двух сортов Знахарка и Искра. Минеральное питание  $N_{30}P_{60}K_{90}$  даёт наибольший прирост урожайности (+27,2 г у сорта Знахарка и +25,8 г у сорта Искра), улучшая все параметры – особенно высоту и массу семян. Культура нигелла нетребовательна к элементам питания, однако при недостатке в почве макро- и микроэлементов необходимо внесение минеральных удобрений как в осенний, так и весенний период. В сочетании с водорастворимыми удобрениями при внесении по листу и регуляторов роста в фазах 3–4 настоящих листа, бутонизации возможно получение высокого и качественного семенного урожая.

**Ключевые слова:** сорт; регуляторы роста; удобрение; нигелла; семеноводство, семена.

*Enriching the population's diet with new vegetables, berries, and medicinal herbs, opening up opportunities for developing new areas in the food and light industries, providing opportunities for additional income and developing new business areas for peasant farms, and reducing dependence on traditional crops and making the industry more sustainable – these and other examples are of great importance in the cultivation of less common agricultural crops in our country. One of these is nigella, or black cumin (*Nigella L.*). The use of growth regulators and micronutrients is a crucial step in cultivating seed crops. The aim of the research was to evaluate the use of micronutrients and growth regulators in *Nigella sativa* and *Nigella damascena* varieties. The use of micronutrients and growth regulators increased *Nigella* yields by 3.3–27.2 g, demonstrating the feasibility of their use. All preparations resulted in increased yield and seed weight compared to the control. The use of the Rostmoment growth regulator promoted improved seed set in leaflets for two varieties, Znakhar'ka and Iskra. The most responsive option was the application of  $N_{30}P_{60}K_{90}$  fertilizer. However, it should be noted that this amount of fertilizer increased the crop's lodging, which subsequently impacted yield. *Nigella* is an undemanding crop; however, if the soil is deficient in macro- and micronutrients, mineral fertilizers should be applied in both the fall and spring. A combination of water-soluble fertilizers applied foliarly and growth regulators at the 3-4 true leaf and budding stages can yield a high-quality seed yield.*

**Key words:** variety; growth regulators; fertilizer; nigella; seed production, seeds.

#### Введение

Обогащение рациона населения новыми овощами, ягодами и лекарственными травами, открытие возможности для развития новых направлений в пищевой и легкой промышленности, предоставление возможности для получения дополнительного дохода и развития новых направлений в бизнес-сфере для крестьянско-фермерских хозяйств, а также снижение зависимости от традиционных культур и становление отрасли более устойчивой – эти и другие примеры имеют огромное значение при возделывании малораспространенных сельскохозяйственных культур в нашей стране. Одной из них является нигелла или черный тмин (*Nigella L.*). Безусловно, без разработки технологии получения качественного посевного материала этой культуры невозможно дальнейшее длительное возделывание и получение качественных товарных семян, поэтому ведение семеноводства и разработка сортовой агротехники по эфирно-масличным и пряно-ароматическим растениям является актуальной на сегодняшний день. Применение регуляторов роста, макро- и микроудобрений является одним из важных этапов при возделывании культур на семенные цели [2]. Необходимо отметить, что регуля-

торы роста растений оказывают существенное влияние на ростовые, физиологические и формообразовательные процессы, происходящие в растениях. Их применение способствует предотвращению полегания культур, ускорению созревания, улучшению завязываемости плодов, облегчению механизированной уборки урожая, повышению засухо- и морозоустойчивости, улучшению вегетативного размножения, повышению неспецифического иммунитета (иммунокоррекция) растений, урожайности и качества выращиваемой продукции, снижению в полученной продукции содержания нитратов, радионуклидов и повышению сохранности продукции, т. е. позволяет более полно реализовать потенциальные возможности растений за счет регулирования таких важных процессов, как прорастание семян, закладка и рост корней, рост стебля, листьев, переход к цветению, плодоношению, созреванию семян, а также за счет снижения повреждающего действия неблагоприятных факторов внешней среды – засухи, низких температур, избытка солей, болезней и других [3, 4].

Целью исследований являлось изучение удобрений и регуляторов роста на посевах нигеллы посевной и нигеллы дамасской.

### Основная часть

Исследования проводились в 2023–2025 гг. на учебно-опытных полях учреждения образования сельскохозяйственной академии г. Горки, Могилевской области. Объекты исследований – сорт Знахарка (*N. sativa* L.), сорт Искра (*N. damascena* L.). Посев осуществлялся ручной сеялкой в трех повторениях, площадь учетной делянки – 7 м<sup>2</sup>, схема посева – 45х2 см. В опытах применялись регуляторы роста Фитовитал (водорастворимый концентрат янтарной кислоты – 5 г/л; сопутствующие компоненты: комплекс макро- и микроэлементов – Mg, Cu, Fe, Zn, B, Mn, Mo, Co, Li, Br, Al, Ni) – 0,6 л/га, Ростмомент (органическое удобрение с комплексом аминокислот и макро- и микроэлементов) – 2 л/га, Аквалис (комплексное водорастворимое минеральное удобрение, NPK 20-20-20+МЭ (B (0,02 %), Cu (0,005 %), Mn (0,005 %), Zn (0,01 %), Fe (0,07 %), Mo (0,004 %) – 2 л/га. В сравнении, как без обработки (контроль), так и с внесением удобрений однократно до посева: карбамид (N – 46 %), суперфосфат простой (N – 3 %, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 30 %) и хлористый калий (60 %) – N<sub>30</sub>P<sub>60</sub>K<sub>90</sub>. Обработка препаратами осуществлялась в фазе 3–4 настоящих листьев и в фазу бутонизации растений. Уход заключался в прорывке, культивации, прополке, обработке почвенным гербицидом Сириус (метазахлор, 400 г/л), 3 л/га до всходов культуры, уборка осуществлялась селекционным комбайном Wintersteiger.

Почва опытного участка дерново-подзолистая слабоподзоленная легкосуглинистая, развивающаяся на легком лессовидном суглинке, подстилаемом мореным суглинком с глубины 1,1 м. Почва имеет среднюю степень окультуренности. Содержание фосфора (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) и калия (K<sub>2</sub>O) соответствовало оптимальному значению для легкосуглинистых почв.

Анализ метеорологических данных за 2023–2025 годы показал значительные колебания гидротермических условий в период вегетации. В табл. 1. приведены основные показатели температуры, осадков и гидротермического коэффициента (ГТК) за три года исследований в период активного роста растений нигеллы.

В 2023 году наблюдалась высокая средняя температура воздуха (21,5 °С) при незначительном количестве осадков (182,9 мм), что привело к низкому значению гидротермического коэффициента (ГТК = 0,69) и указывает на засушливые условия. В 2024 году температура снизилась до 19,9 °С, количество осадков увеличилось почти вдвое (378,5 мм), а ГТК = 1,54 характеризовал умеренно влажный год, благоприятный для роста и развития сельскохозяйственных культур. В 2025 году отмечено дальнейшее понижение температуры (15,2 °С) при максимальном количестве осадков (396,1 мм), что обусловило высокое значение ГТК = 2,17 и свидетельствует о формировании сильно избыточного увлажнения. Такие условия могли привести к переувлажнению почвы, понижению её температуры и увеличению риска грибковых заболеваний. В целом за период с 2023 по 2025 годы наблюдается тенденция к увеличению влажности и снижению температурного режима, что указывает на переход от засушливых к переувлажнённым климатическим условиям. За исследуемый период (2023–2025 гг.) наблюдается устойчивая тенденция к снижению средних температур воздуха и увеличению количества осадков.

Таблица 1. Метеорологические данные за годы исследований

Месяц/годы	2023		2024		2025	
	Температура воздуха, °С	Сумма осадков, мм	Температура воздуха, °С	Сумма осадков, мм	Температура воздуха, °С	Сумма осадков, мм
Май	16,5	5,4	15,4	90,4	10,9	78,7
Июнь	21,5	46,2	20,6	113,2	15,4	129
Июль	22,5	88,5	21,5	110,3	18,5	141,1
Август	25,5	42,8	22,3	64,6	16,2	47,3
Среднее/Сумма	21,5	182,9	19,9	378,5	15,2	396,1
ГТК	0,69		1,54		2,17	

Гидротермический коэффициент увеличился с 0,69 в 2023 году до 2,17 в 2025 году, что отражает переход от засушливых к избыточно влажным условиям. В 2025 году климатические условия можно охарактеризовать как переувлажнённые, что потенциально неблагоприятно для теплолюбивых культур и может вызвать снижение урожайности.

Обработка полученных данных позволяет сделать вывод, что применение регулятора роста Ростмомент способствовало лучшему завязыванию семян в листовках у двух сортов Знахарка и Искра (табл. 2, рис.).

Таблица 2. Влияние удобрений и регуляторов роста на семенную продуктивность нигеллы (среднее за 2023–2025 гг.)

Вариант/признак	Количество семян в листовке, шт.	Масса семян с растения, г	Масса 1000 семян, г	Урожайность, с м <sup>2</sup> , г 2023 г	Урожайность, с м <sup>2</sup> , г 2024 г.	Урожайность, с м <sup>2</sup> , г 2025 г	Урожайность, с м <sup>2</sup> , г Среднее за 2023–2025 гг.	Количество семян в листовках центрального побега, шт.	Количество семян в листовках 1-го побега, шт.	Количество семян в листовках 2-го побега, шт.
Сорт Знахарка ( <i>N. sativa</i> L.)										
Контроль (без удобрений)	59,6	1,2	2,0	87,0	98,0	90,6	91,9	89,1	79,7	68,9
Фитовитал (0,6 л/га)	68,8	1,3	2,0	89,3	103,0	90,7	94,3	92,4	82,0	73,6
Ростмомент (2 л/га)	92,4	1,9	2,0	105,3	105,3	107,7	106,1	106,7	93,8	83,8
Аквалис (2 л/га)	74,7	1,6	2,1	101,3	102,3	95,3	99,6	103,0	86,1	71,3
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>90</sub>	97,3	3,1	2,4	120,0	118,8	118,5	119,1	113,4	93,8	88,5
Сорт Искра ( <i>N. damascena</i> L.)										
Контроль (без удобрений)	78,6	2,1	3,0	99,7	94,7	94,0	96,1	93,3	81,8	74,9
Фитовитал (0,6 л/га)	77,8	2,2	3,0	97,3	110,3	101,3	103,0	98,5	85,5	76,2
Ростмомент (2 л/га)	96,1	3,3	3,1	106,0	107,0	113,0	108,7	104,9	94,6	86,7
Аквалис (2 л/га)	95,8	3,8	3,0	118,7	103,0	101,0	107,6	101,0	91,3	85,3
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>90</sub>	98,4	4,1	3,3	120,3	122,1	123,4	121,9	116,2	97,1	89,8

При применении регулятора роста Фитовитал на посевах сорта Знахарка происходило улучшение морфометрических показателей, однако незначительно (прибавка урожайности +2,4 г). При использовании препарата Ростмомент наблюдался выраженный положительный эффект: растения выше на 12,1 см, масса семян – на 0,7 г, урожайность – на 14,2 грамм относительно контроля. Минеральное питание N<sub>30</sub>P<sub>60</sub>K<sub>90</sub> даёт наибольший прирост урожайности (+27,2 г у сорта Знахарка и +25,8 г у сорта Искра), улучшая все параметры – особенно высоту и массу семян. Таким образом, наиболее отзывчивый вариант – это внесение удобрений N<sub>30</sub>P<sub>60</sub>K<sub>90</sub>. Урожайность составила 119,1 г/м<sup>2</sup> у сорта Знахарка, 121,9 г/м<sup>2</sup> у сорта Искра. Однако следует отметить, что внесение удобрений в данном объеме увеличивало полегаемость культуры, что в дальнейшем сказывалось на завязываемости семян и урожайности.



а



б

Рис. Завязываемость семян в листовках сорта Искра: а – при обработке препаратом Ростмомент; б – контроль

Среди регуляторов роста следует отметить Ростмомент, который обеспечивает комплексный ростовой эффект, в особенности применения его в фазу бутонизации для повышения завязываемости семян. Использование препаратов Фитовитал и Аквалис стабилизируют морфологические показатели. Препарат Фитовитал эффективен для поддержания растений, находящихся в стрессовых условиях, улучшает морфологические признаки, однако не вызывает резкого скачка продуктивности. Необходимо отметить, что сорт Искра имеет более высокий потенциал продуктивности, чем Знахарка. Водорастворимое удобрение Аквалис особенно эффективно при применении на сорте Искра, вероятно, за счёт лучшей адаптации к стимуляции роста – повышает массу семян и общую продуктивность. Регулятор роста Ростмомент оказал положительный эффект на стимуляцию формирования качественных семян, которые непосредственно должны соответствовать требованиям приложения 7 Постановления Министерства сельского хозяйства и Продовольствия Республики Беларусь от 29.10.2015 г. № 37 «Об установлении требования к сортовым и посевным качествам семян сельскохозяйственных растений» [1, 5].

#### **Заключение**

Таким образом, применение удобрений и регуляторов роста повышает урожайность нигеллы на 3,3–27,2 г, что свидетельствует о целесообразности их использования. Все препараты обеспечили рост урожайности и массы семян по сравнению с контролем. Однако увеличение в комплексе азотного и фосфорно-калийного питания при превышении оптимального уровня содержания главных элементов питания в почве привело к полеганию культуры и тем самым способствовало большей потере семян, снижению урожайности и большему повреждению такими болезнями, как мучнистая роса, фузариозное увядание. Культура нигелла нетребовательна к элементам питания, однако при недостатке в почве макро- и микроэлементов необходимо внесение минеральных удобрений как в осенний, так и весенний период. В сочетании с применением некорневых подкормок водорастворимыми удобрениями и регуляторами роста в фазах 3–4 настоящих листа, бутонизации возможно получение высокого и качественного семенного урожая.

#### *ЛИТЕРАТУРА*

1. Главная государственная инспекция по семеноводству, карантину и защите растений [сайт]. – Минск, 2008–2024. – URL: [https:// ggiskzr.by](https://ggiskzr.by). (дата обращения: 20.11.2025).
2. Горбаченков, М. В. Применение регуляторов роста в селекции и семеноводстве / М. В. Горбаченков – М.: ВНИИС-СОК, 2005. – 22 с.
3. Нигелла в Беларуси / А. Л. Исакова [и др.]. – Горки, 2021. – 118 с.
4. Малеванная, Н. Н. Регуляторы роста растений в сельскохозяйственном производстве / Н. Н. Малеванная / Плодородие – 2001. – № 1. – С. 29.
5. Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. О селекции и семеноводстве сельскохозяйственных растений: Закон Республики Беларусь [сайт]. – Минск, 2003-2024. – URL [https://mshp.gov.by/zakonoproekt/proektZakona\\_Semenovodstvo.pdf](https://mshp.gov.by/zakonoproekt/proektZakona_Semenovodstvo.pdf) (дата обращения: 05.11.2025).

## ИСТИННЫЙ ГЕТЕРОЗИС И ФЕНОТИПИЧЕСКОЕ ДОМИНИРОВАНИЕ ВНУТРИВИДОВЫХ ГИБРИДОВ ПЕРВОГО ПОКОЛЕНИЯ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ

А. А. ПОТАПЕНКО, А. Н. ИВАНИСТОВ, А. А. ПУГАЧ

УО «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции  
и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия»,  
г. Горки, Республика Беларусь, 213407

(Поступила в редакцию 12.01.2026)

Статья посвящена изучению истинного гетерозиса и фенотипического доминирования у гибридов первого поколения ( $F_1$ ) яровой мягкой пшеницы. Проведена оценка 19 гибридных комбинаций и родительских форм по комплексу морфобиологических признаков: общей и продуктивной кустистости, элементам продуктивности колоса, массе зерна, высоте растений, вегетационному периоду и урожайности. Для анализа использовались формулы расчёта истинного гетерозиса ( $H_{ист}$ ) и коэффициента фенотипического доминирования ( $H_p$ ).

Результаты показали, что по большинству компонентов урожайности у гибридов  $F_1$  наблюдался положительный истинный гетерозис и сверхдоминирование ( $H_p > +1$ ). Наибольшие значения гетерозиса зафиксированы по продуктивной кустистости (до +76,4 % у комбинации Ахона × GY 437) и общей кустистости (до +53,8 %). В отличие от предыдущего анализа, в данном исследовании по урожайности у гибридов выявлен положительный гетерозис (от -5,6 % до +100 %) и преобладание сверхдоминирования гибридных форм ( $H_p > +1$ ). Полученные данные важны для разработки стратегий гибридной селекции, направленной на усиление гетерозиса по ключевым компонентам урожайности яровой пшеницы.

Перспективы развития гибридной селекции мягкой яровой пшеницы тесно связаны с углублением фундаментальных знаний о генетике гетерозиса и доминирования. Дальнейшие исследования будут направлены на выявление конкретных генов и регуляторных путей, ответственных за проявление этих эффектов, что позволит перейти от эмпирического отбора к более предсказуемому и целенаправленному созданию высокоэффективных гибридных комбинаций. Изучение гибридов и дальнейшая селекционная работа с ними позволит выделить ценные генотипы для селекционной работы.

**Ключевые слова:** яровая мягкая пшеница, истинный гетерозис, фенотипическое доминирование, гибриды первого поколения.

*This article examines true heterosis and phenotypic dominance in first-generation ( $F_1$ ) hybrids of spring soft wheat. Nineteen hybrid combinations and parental forms were evaluated for a range of morphobiological traits: total and productive tillering, ear productivity factors, grain weight, plant height, growing season, and yield. Formulas for calculating true heterosis ( $H_{true}$ ) and the phenotypic dominance coefficient ( $H_p$ ) were used for the analysis. The results showed that positive true heterosis and overdominance ( $H_p > +1$ ) were observed for most yield components in the  $F_1$  hybrids. The highest heterosis values were recorded for productive tillering (up to +76.4 % for the Axona × GY 437 combination) and total tillering (up to +53.8 %). In contrast to the previous analysis, this study revealed positive heterosis (from -5.6 % to +100 %) and a predominance of overdominance in hybrid forms ( $H_p > +1$ ) for yield. The obtained data are important for developing hybrid breeding strategies aimed at enhancing heterosis for key yield components in spring wheat.*

*Prospects for the development of hybrid breeding in soft spring wheat are closely linked to improved fundamental knowledge of the genetics of heterosis and dominance. Further research will be aimed at identifying the specific genes and regulatory pathways responsible for these effects, which will enable a transition from empirical selection to a more predictable and targeted development of highly effective hybrid combinations. Studying these hybrids and further breeding work with them will allow us to identify valuable genotypes for breeding.*

**Key words:** spring bread wheat, true heterosis, phenotypic dominance, first-generation hybrids.

### Введение

Для современного сельского хозяйства гибридная селекция является неотъемлемой частью стратегии по адаптации культур к новым вызовам, таким как засухи, новые болезни и вредители, а также к необходимости снижения экологического следа земледелия [2, с. 45–48]. Исследование механизмов истинного гетерозиса и доминирования у яровой мягкой пшеницы открывает новые горизонты для разработки сортов, которые не только обладают повышенной урожайностью, но и лучшей адаптивностью к неблагоприятным условиям, обеспечивая устойчивое развитие агропромышленного комплекса [8, с. 12–15].

Актуальность данной темы особенно возрастает в условиях постоянно растущего населения планеты и изменяющегося климата, что требует от аграрного сектора поиска инновационных решений для обеспечения стабильного и достаточного производства продовольствия [1, с. 33–35]. Пшеница, как одна из основных зерновых культур, играет ключевую роль в питании миллиардов людей, и любые улучшения её урожайности или устойчивости к стрессовым факторам имеют глобальное значение.

Гетерозис, или «гибридная сила», — это феномен, при котором гибриды первого поколения ( $F_1$ ) превосходят свои родительские формы по ряду признаков, таких как размер, скорость роста, плодо-

витость и устойчивость к болезням. Впервые описанный И. Г. Кёльрейтером и детально изученный Д. Шеллом в начале XX века, гетерозис быстро стал одним из центральных понятий в генетике и селекции [6, с. 5–10].

В селекции мягкой яровой пшеницы гетерозис способствует повышению урожайности, устойчивости к биотическим (болезни, вредители) и абиотическим (засуха, холод) стрессам, а также улучшению качества зерна и общей биомассы растений [8, с. 67–70].

Понимание истинного гетерозиса позволяет селекционерам целенаправленно создавать гибридные комбинации, которые не просто сочетают лучшие качества родителей, но и демонстрируют качественно новые, улучшенные характеристики, что является ключом к развитию высокоэффективного растениеводства [6, с. 102–110].

В настоящее время изучение гетерозиса перешло на качественно новый уровень благодаря развитию молекулярно-генетических методов [10, с. 156–160]. Геномные технологии, такие как полногеномное секвенирование и ассоциированный поиск (GWAS), позволяют идентифицировать гены и генетические локусы, ответственные за проявление гетерозиса. Это открывает возможности для более точного прогнозирования гибридных комбинаций с высоким гетерозисным эффектом, а также для использования методов редактирования генома для целенаправленного создания новых высокопродуктивных гибридов пшеницы, адаптированных к конкретным условиям выращивания и вызовам современного сельского хозяйства [5, с. 239–240].

Фенотипическое доминирование характеризует степень проявления доминантного признака у гибридов по сравнению с их родительскими формами. Этот показатель является критически важным для понимания генетической архитектуры признаков и прогнозирования результатов скрещивания. Степень доминирования часто измеряется коэффициентом  $H_p$  [3, с. 24–26].

В селекции пшеницы, как и других сельскохозяйственных культур, практическое применение знаний о типах доминирования трудно переоценить. Например, для таких количественных признаков, как урожайность, устойчивость к полеганию или содержанию белка в зерне, селекционеры стремятся выявить комбинации, демонстрирующие сверхдоминирование [4, с. 134–137]. Это позволяет получать гибриды, значительно превосходящие по своим характеристикам лучшие родительские формы, что является ключевым для повышения продуктивности и адаптивности сортов [8, с. 89–92].

Знание характера доминирования также помогает в выборе оптимальной стратегии селекции. При полном или частичном доминировании можно эффективно проводить отбор уже в ранних гибридных поколениях. В случае же аддитивного наследования или сверхдоминирования, требуются иные подходы, например, использование рекуррентного отбора или создание синтетических популяций для накопления желаемых аллелей. Таким образом, анализ доминирования является фундаментом для разработки эффективных программ скрещивания и отбора [9, с. 104–106].

Взаимосвязь между доминированием и гетерозисом особенно проявляется в феномене сверхдоминирования [6, с. 75–80]. Именно этот тип доминирования лежит в основе «гибридной силы», когда гибриды  $F_1$  показывают превосходство над обеими родительскими линиями по одному или нескольким признакам. Для пшеницы, как самоопыляющейся культуры, получение стабильного гетерозиса требует особого подхода, но потенциал увеличения урожайности и устойчивости делает эти исследования чрезвычайно важными для современного агропромышленного комплекса [7, с. 51].

Целью наших исследований являлось определить истинный гетерозис и фенотипическое доминирование гибридов первого поколения яровой мягкой пшеницы.

#### **Основная часть**

Оценку гибридов  $F_1$  по хозяйственно-биологическим признакам вели с одновременным анализом изучаемых показателей у родительских форм и вычислением величины истинного гетерозиса [11, с. 263–265]:

$$G_{ист} = (F_1 - P_{л}) / P_{л} \times 100$$

где  $G_{ист}$  – истинный гетерозис (%);  $F_1$  – среднее значение изучаемого признака у гибридов  $F_1$ ;  $P_{л}$  – среднее значение признака у растений лучшей родительской формы;

Характер наследования признаков у гибридов первого поколения определяли по коэффициенту фенотипического доминирования [11, с. 263–265]:

$$H_p = (F_1 - P_{cp}) / (P_{л} - P_{cp})$$

где  $H_p$  – коэффициент фенотипического доминирования;  $F_1$  – среднее значение изучаемого признака у гибрида первого поколения;  $P_{cp}$  – среднее значение признака обеих родительских форм;  $P_l$  – среднее значение признака у растений лучшей родительской формы.

Коэффициент  $H_p$ , также известный как коэффициент доминирования, позволяет количественно оценить характер наследования признака у гибридов  $F_1$ . Он рассчитывается по формуле, где сравнивается отклонение фенотипа гибрида от фенотипа одного из родителей с разницей между фенотипами обоих родителей. Значение  $H_p = 0$  указывает на полное отсутствие доминирования (аддитивное наследование),  $H_p = 1$  — на полное доминирование, когда фенотип гибрида неотличим от фенотипа доминантного родителя. Если  $0 < H_p < 1$ , это свидетельствует о неполном доминировании, когда фенотип гибрида занимает промежуточное положение. Особое значение имеет  $H_p > 1$ , что указывает на сверхдоминирование, или истинный гетерозис, когда гибриды превосходят обе родительские формы. Рассмотрим результаты истинного гетерозиса в табл. 1.

Таблица 1. Истинный гетерозис гибридов первого поколения яровой мягкой пшеницы

Комбинация скрещивания	Длина главного колоса пшеницы	Общая кустистость пшеницы	Продуктивная кустистость	Число колосков	Число зерен	Масса зерна с растения	Масса 1000 семян	Высота растения	Вегетационный период	Урожайность пшеницы
Сабрена × QH 01	-8,1	-5,71	-5,8	0,0	-2,4	17,2	5,4	1,02	2,6	-5,6
Ставињска × XN 198	6,5	0	12,8	5,5	5,5	7,0	0,0	0,0	-0,8	25,0
Дарья × QC 10	18,3	27,7	32,3	5,0	5,0	-6,6	2,7	6,3	0,0	33,3
GY 437 × Ахона	35,7	15,38	26,4	22,2	19,4	2,4	0,0	-5,0	1,7	33,3
XN 892-4 × Дарья	-17,2	33,3	41,1	-15,0	-12,5	6,4	2,5	-15,2	-0,8	50,0
Монета × QC 10	9,0	16,2	13,8	5,5	2,7	3,5	2,7	-2,8	1,7	26,3
QC 38 × Дарья	8,0	27,7	35,2	-10,0	-7,5	4,6	13,2	3,2	0,8	37,5
Сабрена × GY 437	1,1	31,4	35,2	0,0	0,0	10,1	-15,0	2,0	1,7	28,6
Ставињска × QC 07	17,3	-25,4	24,2	16,6	16,6	-5,5	0,0	-0,9	0,8	38,5
QC 07 × Сабрена	6,1	-27,2	17,6	15,7	13,1	4,2	8,3	0,0	0,8	50,0
Ахона × QC 07	4,0	-21,8	23,5	16,6	16,6	3,4	5,6	0,0	1,7	28,6
QH 01 × Монета	17,5	5,4	8,3	10,0	9,7	7,9	-2,7	-13,0	2,6	45,5
QH 01 × Ставињска	8,2	14,2	21,2	5,0	2,4	6,4	-2,6	-10,1	1,7	28,6
XN 892-4 × Ахона	-3,9	20,5	38,2	5,5	5,5	-3,5	0,0	-25,2	0,8	50,0
QC 38 × Монета	16,8	21,6	25	5,8	5,8	3,2	10,5	-11,2	0,0	42,9
Дарья × QC 38	11,4	19,4	26,4	5,0	7,5	0,0	5,3	-1,07	-0,8	42,9
Ахона × GY 437	8,3	53,8	76,4	5,5	8,3	8,0	-5,0	0,0	0,8	100,0
QC 10 × Ахона	19,3	43,5	64,7	5,5	2,7	-6,6	0,0	-16,1	1,7	100,0
QC 07 × Ставињска	35,7	-7,2	54,5	22,2	22,2	-4,7	10,5	1,85	0,8	100,0

Величина истинного гетерозиса у гибридов первого поколения по признакам общей и продуктивной кустистости в большинстве комбинаций скрещиваний имела положительное значение и достигала 53,8 % (Ахона × GY 437) по общей кустистости и 76,4 % (Ахона × GY 437) по продуктивной кустистости.

Гибриды  $F_1$  в 14 комбинациях скрещивания имели большую высоту по отношению к наиболее высокорослому родителю (всего 19 комбинаций).

По признакам главного колоса наблюдались различия между гибридными комбинациями. Так, величина истинного гетерозиса по длине главного колоса находилась в пределах от -17,2 % (XN 892-4 × Дарья) до 35,7 % (GY 437 × Ахона, QC 07 × Ставињска), по числу колосков главного колоса от -15,0 % (XN 892-4 × Дарья) до 22,2 % (GY 437 × Ахона, QC 07 × Ставињска). При этом преобладали гибридные комбинации с положительным значением истинного гетерозиса.

Наибольшее значение истинного гетерозиса по числу зерен с главного колоса имели следующие комбинации скрещиваний: 19,4 % (GY 437 × Ахона), 16,6 % (Ставињска × QC 07, Ахона × QC 07), 13,1 % (QC 07 × Сабрена), 22,2 % (QC 07 × Ставињска). Максимальное значение по признаку масса зерна с растения отмечены в следующих комбинациях: 10,1 % (Сабрена × GY 437), 17,2 % (Сабрена × QH 01), 8,0 % (Ахона × GY 437). По массе 1000 зерен: 13,2 (QC 38 × Дарья), 10,5 (QC 38 × Монета, QC 07 × Ставињска), 8,3 (QC 07 × Ставињска).

Величина истинного гетерозиса у гибридов первого поколения по вегетационному периоду в большинстве комбинаций имела положительное значение и достигала 2,6 % (Сабрена × QH 01, QH 01 × Монета). У гибридов  $F_1$  яровой мягкой пшеницы наблюдался положительный истинный гетерозис по признакам урожайности.

Рассмотрим результаты фенотипического доминирования в табл. 2.

Таблица 2. Фенотипическое доминирование гибридов первого поколения

Комбинация скрещивания	Длина главного колоса пшеницы	Общая кустистость пшеницы	Продуктивная кустистость	Число колосков	Число зерен	Масса зерна с растения	Масса 1000 семян	Высота растения	Вегетационный период	Урожайность пшеницы
Сабрена × QH 01	-0,2	0,0	0,2	1,0	0,3	23,50	3,0	3,0	7,0	-0,3
Ставињска × XN 198	1,4	1,0	2,7	1,5	1,6	4,43	1,0	1,0	0,0	0,0
Дарья × QC 10	31,0	11,0	6,5	2,0	2,3	-0,02	2,0	7,0	1,0	4,0
GY 437 × Ахона	8,5	3,4	4,6	9,0	15,0	1,20	1,0	-0,4	2,3	0,8
XN 892-4 × Дарья	-5,0	0,6	8,3	0,0	-0,1	-0,30	1,4	-0,4	0,0	1,3
Монета × QC 10	3,7	5,0	2,7	3,0	1,7	1,44	0,0	0,5	3,0	2,8
QC 38 × Дарья	4,5	3,5	4,4	0,0	0,3	1,57	4,3	1,7	0,0	6,8
Сабрена × GY 437	3,0	23,0	5,8	1,0	1,0	2,37	-1,4	1,7	3,0	5,0
Ставињска × QC 07	6,7	-0,4	9,0	4,0	4,0	0,24	1,0	0,9	0,0	9,8
QC 07 × Сабрена	1,9	-0,5	5,0	3,0	2,7	1,26	7,0	1,0	3,0	6,0
Ахона × QC 07	1,4	-0,5	6,3	4,0	4,0	1,28	0,0	1,0	0,0	3,0
QH 01 × Монета	3,3	1,7	1,9	2,3	2,1	1,89	0,0	-1,8	0,0	0,0
QH 01 × Ставињска	4,2	3,5	4,5	2,0	1,4	1,64	-1,0	-1,0	3,0	2,3
XN 892-4 × Ахона	-2,0	7,0	7,7	1,5	1,8	-1,20	1,0	-0,9	0,0	0,0
QC 38 × Монета	29,0	2,8	3,0	3,0	3,0	1,47	9,0	0,0	1,0	4,0
Дарья × QC 38	6,0	2,8	3,6	1,5	1,8	1,00	2,3	0,8	0,0	4,0
Ахона × GY 437	2,8	9,4	11,4	3,0	7,0	1,67	0,0	1,0	1,7	0,0
QC 10 × Ахона	3,8	7,8	12,0	0,0	3,0	0,43	1,0	-5,4	0,0	0,0
QC 07 × Ставињска	12,7	0,6	19,0	5,0	5,0	0,35	5,0	1,2	0,0	2,3

По признакам общей и продуктивной кустистости наблюдалось сверхдоминирование  $H_p > +1$ . Анализируя коэффициент доминирования по высоте растений, следует отметить, что у 50 % гибридных комбинаций наблюдалось сверхдоминирование  $H_p > +1$ , у 30 % гибридных комбинаций наблюдалась сильная депрессия высоты растений ( $H_p < -1$ ), у 20 % гибридных комбинаций наблюдалось промежуточное наследование  $H_p = 0$ .

По такому показателю главного колоса, как длина колоса наблюдалось сверхдоминирование  $H_p > +1$ . По числу колосков и числу зерен также наблюдалось сверхдоминирование  $H_p > +1$ . По массе зерна с растения и массе 1000 зерен наблюдалось сверхдоминирование  $H_p > +1$ .

Коэффициент фенотипического доминирования по показателю вегетационного периода у гибридных комбинаций был  $H_p = 0$  – промежуточное наследование.

По показателю урожайности наблюдалось сверхдоминирование гибрида над родительской формой ( $H_p > +1$ ).

### Заключение

Перспективы развития гибридной селекции мягкой яровой пшеницы тесно связаны с углублением фундаментальных знаний о генетике гетерозиса и доминирования. Дальнейшие исследования будут направлены на выявление конкретных генов и регуляторных путей, ответственных за проявление этих эффектов, что позволит перейти от эмпирического отбора к более предсказуемому и целенаправленному созданию высокоэффективных гибридных комбинаций. Изучение гибридов и дальнейшая селекционная работа с ними позволит выделить ценные генотипы для селекционной работы.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Драгавцева, И. А. Генетика и селекция сельскохозяйственных растений: учебник / И. А. Драгавцева, З. А. Морозова. – Санкт-Петербург: Лань, 2019. – 540 с.
2. Жученко, А. А. Адаптивная система селекции растений (эколого-генетические основы). Т. 1 / А. А. Жученко. – М.: РУДН, 2001. – 780 с.
3. Карманов, А. Н. Оценка параметров доминирования ( $h_p$ ) для селекционно-ценных признаков у гибридов яровой пшеницы / А. Н. Карманов // Достижения науки и техники АПК. – 2017. – Т. 31, № 5. – С. 24–27.
4. Кильчевский, А. В. Генетика количественных признаков растений / А. В. Кильчевский, Л. В. Хотылева. – Минск: Беларуская наука, 2011. – 270 с.
5. Ляшенко, О. Н. Геномные технологии в селекции растений: от маркеров к редактированию / О. Н. Ляшенко, Е. Ю. Горбунова // Сельскохозяйственная биология. – 2020. – Т. 55, № 2. – С. 229–243.
6. Постников, П. А. Гетерозис у растений: теория и практика / П. А. Постников. – Минск: Беларуская наука, 2010. – 327 с.
7. Пыльнев, В. В. Особенности проявления гетерозиса у самоопыляющихся культур (на примере пшеницы) / В. В. Пыльнев, Л. Н. Бруева, И. А. Потапова // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2012. – № 6. – С. 49–51.
8. Сандухадзе, Б. И. Селекция и семеноводство яровой мягкой пшеницы в Нечерноземной зоне / Б. И. Сандухадзе, Н. Н. Иванова, Н. А. Ковтунова. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2015. – 276 с.
9. Кильчевский, А. В. Генетические основы селекции растений: в 4 т. / А. В. Кильчевский, Л. В. Хотылева; под редакцией А. В. Кильчевского, Л. В. Хотылевой. – Минск: Беларуская наука, 2008. – Т.1: Общая генетика растений. – 551 с.
10. Шевелуха, В. С. Сельскохозяйственная биотехнология: учебник / В. С. Шевелуха, Е. А. Калашникова, С. В. Дегтярев. – М.: Высшая школа, 2003. – 469 с.
11. Абрамова, З. В. Генетика. Программированное обучение / З. В. Абрамова. – М.: Агропромиздат, 1985. – 287 с.

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА СОРТОВ ФАСОЛИ ОВОЩНОЙ ПО СОДЕРЖАНИЮ АМИНОКИСЛОТ

Е. В. ПАНКРУТСКАЯ. В. В. СКОРИНА

УО «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции  
и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия»,  
г. Горки, Республика Беларусь, 213407, e-mail: skorina@list.ru

(Поступила в редакцию 12.01.2026)

*Бобовые культуры, в том числе фасоль овощная, занимают важное место в питании человека. Семена фасоли имеют уникальную пищевую ценность. Они являются дешевым источником ценных белков, сахаридов и некоторых микроэлементов, включая минералы и витамины. Семена фасоли богаты клетчаткой, а также низким содержанием жира.*

*В состав белков фасоли входят до 30 аминокислот, необходимых человеку. Аминокислотный состав семян фасоли указывает на ее исключительную биологическую ценность как продовольственной культуры.*

*Аминокислоты являются элементарными структурными единицами, из которых построены белки, и некоторые из них не синтезируются в организме человека, а должны поступать извне. При недостатке этих незаменимых аминокислот или в случае полного отсутствия в пище хотя бы некоторых из них невозможен синтез полноценных белков, вследствие чего нарушается работа целого ряда систем, и возникают различные заболевания. В статье представлены данные по изучению аминокислотного состава семян сортов фасоли овощной кустовой и вьющейся форм. В результате проведенного анализа в сортах фасоли овощной выявлено 9 незаменимых аминокислот: лизин, треонин, метионин, валин, лейцин, триптофан, аргинин, гистидин, изолейцин, установлено их количественное содержание.*

*Результаты изучения аминокислотного состава показывают, что среди исследованных аминокислот основными являются лизин, аргинин, валин. Среди сортов фасоли овощной выделены сорта, как с наибольшим, так и наименьшим количеством содержания данных видов аминокислот. Разница в сумме незаменимых аминокислот в 2021–2022 гг. между сортами у кустовой формы составила 1,26–1,27 раза, у вьющейся – 1,19–1,20 раза соответственно.*

**Ключевые слова:** фасоль овощная, сорт, семена, белок, аминокислотный состав.

*Legumes, including green beans, play an important role in the human diet. Bean seeds have unique nutritional value. They are an inexpensive source of valuable proteins, saccharides, and certain micronutrients, including minerals and vitamins. Bean seeds are rich in fiber and low in fat.*

*Bean proteins contain up to 30 amino acids essential for humans. The amino acid composition of bean seeds indicates their exceptional biological value as a food crop.*

*Amino acids are the basic building blocks of proteins, and some of them are not synthesized in the human body but must be obtained from outside the body. A deficiency of these essential amino acids, or a complete absence of at least some of them in the diet, prevents the synthesis of complete proteins, resulting in disruption of a number of systems and the development of various diseases. This article presents data on the amino acid composition of seeds of bush and climbing bean varieties. The analysis identified nine essential amino acids in the bean varieties: lysine, threonine, methionine, valine, leucine, tryptophan, arginine, histidine, and isoleucine, and their quantitative content was determined.*

*A study of the amino acid composition showed that lysine, arginine, and valine are the most important amino acids studied. Among the bean varieties, varieties with both the highest and lowest levels of these amino acids were identified. The difference in the total essential amino acids in 2021–2022 was as follows: The difference between the bush and climbing varieties was 1.26–1.27 times, respectively.*

**Key words:** green bean, variety, seeds, protein, amino acid composition.

### Введение

Фасоль овощная (*Phaseolus vulgaris* L.) обладает высокими вкусовыми и пищевыми свойствами. В питании человека она является источником растительного белка и улучшает его рацион [3, 4].

Фасоль овощную используют в фазы технической (недозрелые зеленые бобы) и биологической спелости семян (зерно). Молодые бобы (лопатки) фасоли овощной с мелкими семенами используют как в свежем, так и переработанном виде, а семена для изготовления мясорастительных консервов (в консервированном виде фасоль сохраняет значительную часть полезных свойств). Для консервирования употребляются семена с белой или однотонной окраской, с пестрой – для приготовления салатов, гарниров.

Наличие разнообразного набора физиологически важных витаминов в сочетании с большим содержанием белка придает особую ценность фасоли [5].

За свою питательность и калорийность (100 г сухих семян фасоли содержат 336 калорий), высокое содержание белков и их биологическую полноценность, за комплекс незаменимых аминокислот фасоль называют «растительным мясом», так как она может полностью заменить его в питании человека. Белки фасоли легко растворяются в воде, в растворах нейтральных солей, в слабых растворах щелочей. Эти фракции белка легко усваиваются организмом (в зависимости от кулинарной обработки усвояемость белка доходит до 87% и выше) [6].

Содержащийся в фасолевых бобах аргинин участвует в синтезе мочевины и других процессах азотистого обмена, оказывая инсулиноподобное действие на обмен веществ, это существенно снижает уровень сахара в крови и благотворно влияет на выздоровление от сахарного диабета [4].

Норма потребления белка для взрослого человека равна 1–1,5 г на 1 кг массы тела. Потребление 100 г фасоли обеспечивает восполнение суточной нормы: пищевыми волокнами – на 41 %, витамином В<sub>1</sub> – 33 %, витамином В<sub>3</sub> – 24 %, витамином В<sub>6</sub> – 45 %, витамином В<sub>9</sub> – 23 %, витамином РР – 32 %, кальцием – 15 %, магнием – 26 %, калием – 44 %, фосфором – 60 %, серой – 16 %, железом – 33 %, цинком – 27 %, медью – 48 %, марганцем – 67 %, хромом – 20 %, молибденом – 56 %, бором – 25 %, ванадием – 475 %, кремнием – 307 %, кобальтом – 187 %. Большинство микроэлементов являются активными катализаторами, композиции микроэлементов оказывают большое влияние на биокolloиды и направленность биохимических процессов [7, 8].

Цель исследований – оценить аминокислотный состав сортов фасоли овощной и выделить исходный материал для селекции культуры.

#### **Основная часть**

Изучение качественного состава и количественного содержания аминокислот проводили в испытательной лаборатории качества семян Белорусская государственная сельскохозяйственная академия г. Горки Могилевской области в 2021–2022 гг.

Объектами являлись семена 42 сортов фасоли овощной кустовой (34) и вьющейся (8) форм белорусской и российской селекции [1, 2].

Анализ витаминного состава был проведен методом капиллярного электрофореза на приборе «Капель–105М», на базе хроматографа жидкостного «Agilent 1260 Infinity II с использованием методики 04-82-2014 «Определение свободных форм холина (витамина В<sub>4</sub>) в кормовых добавках, кормах, комбикормах, премиксах и сырье для их производства». Дополненный вариант» и методики 04-81-2014 «Определение водорастворимых витаминов в премиксах, витаминных добавках, концентратах и смесях». Дополненный вариант» [10–13].

Предварительный анализ аминокислотного состава был проведен методом капиллярного электрофореза на приборе «Капель–105М». Идентификация аминокислотного профиля была проведена на аминокислотном анализаторе FA-400 E Fully Automatic Biochemistry Analyzer.

В отсортированных от примесей у семян образцов фасоли после очистки было определено содержание влаги на экспресс-анализаторе влажности MAC-50. Пробы хранились при комнатной температуре 25 °С. Затем их измельчили в лабораторном блендере и просеивали полученную муку на ситах d 300 микрон.

Разделение аминокислот производилось методом высокоэффективной жидкостной хроматографии. Проводился ввод аминокислотных стандартов: L-аланин, L-аргинин, L-глицин, L-лейцин, L-тирозин, L-валин, L-изолейцин, L-лизин, L-метионин, L-орнитин, L-фенилаланин, L-треонин, L-триптофан, L-гистидин, L-пролин, L-глутаминовая кислота, L-аспаргиновая кислота и отстроена калибровочная линия, где коэффициент корреляции составил ( $R_2 \geq 0,95$ ). В качестве мобильной фазы использовались: метанол, ацетонитрил, дистиллированная вода, буферный раствор. В этапе деривитизации к изолированному образцу добавляли диэтилметил, метанол, борат буфер, выдерживали образцы в водяной бане 30 мин. С помощью автоматических пипеток отбирали пробу в объеме 1,0–1,5 мл и фильтровали в фильтрах проводимостью 25/0,45 мк, после инъектировали пробу в капилляр.

В результате изучения качественного состава и количественного содержания аминокислот у коллекционных сортов фасоли овощной идентифицировано 9 незаменимых аминокислот – лизин, треонин, метионин, валин, лейцин, триптофан, аргинин, гистидин, изолейцин.

Полученные данные по содержанию аминокислот в репродукции 2021 г. представлены в табл. 1. Выявлено, что в семенах сортов фасоли овощной кустовой формы концентрация лизина составила от 11,3 (сорта Пагода, Бажена) до 12,8 г/1000 г семян (сорт Фантазия). У сортов вьющейся формы содержание данной аминокислоты было в пределах 11,7–12,5 г/1000 г семян. Содержание треонина у сортов кустовой формы составило 3,7–7,7 г/1000 г семян, у вьющейся – 3,9–7,5 г/1000 г семян. По содержанию аминокислоты метионин наибольшее значение показателя 5,3 г/1000 г семян отмечено у сорта Морена (кустовая форма) и 5,2 г/1000 г семян у сорта Волга-Матушка (вьющаяся форма), валина – от 10,5 до 15,7 г/1000 г семян, лейцина – от 5,9 до 10,7 г/1000 г семян, триптофана – от 2,8 до 6,1 г/1000 г семян, аргинина – от 12,9 до 18,9 г/1000 г семян, гистидина – от 1,4 до 4,0 г/1000 г семян, изолейцина – от 5,9 до 8,8 г/1000 г семян. Сумма незаменимых аминокислот составила от 63,5 (сорт Секунда) до 80,7 г/1000 г семян (сорт Си Бемоль).

Разница по содержанию лейцина между сортами кустовой формы составила 1,13 раза, у вьющущейся – 1,11 раза, треонина – 1,87 и 1,92, метионина – 1,51 и 1,33, валина – 1,49 и 1,36, лейцина – 1,81 и 1,38, триптофана – 2,17 и 1,45, аргинина – 1,36 и 1,456, гистидина – 2,85 и 2,3, изолейцина – 2,0 и 1,36 раза соответственно.

Таблица 1. Качественное и количественное содержание аминокислот в семенах сортов фасоли овощной в 2021 г.

Сорт	Содержание аминокислот, г/1000 г семян										
	Лизин	Треонин	Метионин	Валин	Лейцин	Триптофан	Аргинин	Гистидин	Изолейцин	Сумма* критических аминокислот	Сумма незаменимых аминокислот
<i>Кустовая форма</i>											
Рант	12,4	6,4	3,7	12,3	6,9	3,6	14,4	2,8	6,9	22,5	69,4
Секунда	12,3	5,7	3,5	10,5	5,9	3,1	14,3	2,3	5,9	21,5	63,5
Московская белая зеленостручная	12,0	4,8	3,9	11,0	8,5	3,4	14,2	3,0	6,2	20,7	67,0
Настена	12,3	5,9	3,8	10,6	7,1	3,8	14,8	2,9	6,0	22,0	67,2
Омичка	11,4	3,7	4,9	10,7	9,2	3,7	18,5	1,4	6,0	20,0	69,5
Памяти Рыжовой	12,4	6,7	3,8	13,1	7,4	3,8	14,4	3,1	7,4	22,9	72,1
Физкультурница	12,7	7,3	4,1	14,5	8,2	4,2	14,5	3,6	8,1	24,1	77,2
Сибирячка	12,3	6,6	3,8	12,7	7,1	3,7	14,3	3,0	7,1	22,7	70,6
Лукерья	12,1	7,2	4,0	14,3	8,1	4,2	14,3	3,5	8,0	23,3	75,7
Лика	12,4	6,8	3,9	13,4	7,5	3,9	14,4	3,2	7,5	23,1	73,0
Ульяна	11,8	6,4	3,6	11,3	8,4	3,7	15,1	2,6	6,4	21,8	69,3
Маруся	11,4	6,9	3,9	13,5	7,6	3,9	13,8	3,3	7,6	22,2	71,9
Октава	12,4	6,4	3,7	12,4	7,0	3,6	14,4	2,9	7,0	22,5	69,8
Нота	12,2	6,7	3,8	13,1	7,4	3,8	14,3	3,1	7,4	22,7	71,8
Пагода	11,3	5,5	4,2	11,2	7,4	3,4	15,3	2,4	6,3	21,0	67,0
Си Бемоль	12,5	7,7	4,2	15,7	8,8	4,6	14,4	4,0	8,8	24,4	80,7
Бажена	11,3	5,9	3,7	11,6	9,3	6,1	16,2	2,5	6,5	20,9	73,1
Зинуля	12,4	5,0	3,9	11,5	8,4	3,4	18,4	2,2	6,5	21,3	71,7
Оливковая	11,9	6,4	3,7	12,3	6,9	3,6	14,1	2,9	6,9	22,0	68,7
Омская Юбилейная	12,7	6,8	3,9	13,2	7,4	3,9	14,5	3,2	7,4	23,4	73,0
Сакфит	12,2	7,0	4,1	10,5	9,0	3,3	16,2	2,7	5,9	23,3	70,9
Зничка	11,7	4,2	5,1	11,9	9,9	3,4	18,7	1,8	6,7	21,0	73,4
Красная шапочка	12,7	5,9	3,5	11,0	6,2	3,2	14,5	2,4	6,2	22,1	65,6
Маришка	12,4	6,8	3,9	13,3	7,5	3,9	14,4	3,2	7,5	23,1	72,9
Фантазия	12,8	7,1	4,0	14,0	7,9	4,1	14,6	3,4	7,9	23,9	75,8
Светлячок	11,4	4,5	5,2	12,5	10,2	3,0	18,5	2,0	7,0	21,1	74,3
Аришка	12,1	7,0	4,0	13,9	7,8	4,1	14,2	3,4	7,8	23,1	74,3
Золото Сибири	12,7	5,9	3,5	11,0	6,2	3,2	14,5	2,4	6,2	22,1	65,6
Иришка	12,1	6,7	3,9	13,2	7,4	3,8	14,3	3,1	7,4	22,7	71,9
Магура	12,1	7,0	3,9	13,7	7,7	4,0	14,2	3,3	7,7	23,0	73,6
Чыжовенка	11,4	6,5	3,8	12,6	7,1	3,7	13,8	3,0	7,1	22,7	70,0
Креолка	12,0	6,3	3,7	12,0	6,7	3,5	14,2	2,7	6,7	22,0	67,8
Морена	12,0	4,8	5,3	13,3	10,7	3,3	18,8	2,3	7,5	22,1	78,0
Золушка	11,8	3,9	5,0	11,0	9,4	2,8	18,7	1,5	6,2	20,7	70,3
<i>Вьющущая форма</i>											
Афина	12,1	5,4	4,3	11,4	8,2	3,1	12,9	2,6	6,4	21,8	66,4
Водопад	11,7	3,9	5,0	11,2	9,5	3,6	18,7	1,6	6,3	20,6	71,5
Антошка	12,3	6,8	3,9	13,3	7,5	3,9	14,3	3,2	7,5	23,0	72,7
Дубровенская	12,2	7,0	4,0	13,9	7,8	4,1	14,3	3,4	7,8	23,2	74,5
Мамоли	12,0	4,3	5,1	12,0	9,9	3,7	18,8	1,9	6,7	21,4	74,4
Волга-Магушка	12,1	4,6	5,2	12,8	10,4	4,2	18,9	2,1	7,2	21,9	77,5
Мавританка	11,7	7,3	4,1	14,5	8,2	4,2	14,0	3,6	8,1	23,1	75,7
Герда	12,5	7,5	4,2	15,3	8,6	4,5	14,4	3,8	8,6	24,2	79,4

Примечание: АКкр – критические аминокислоты (лизин, треонин, метионин).

В 2022 г. концентрация лизина (табл. 2) составила от 10,6 до 12,1 г/1000 г семян, треонина – от 4,0 до 7,8, метионина – от 3,5 до 5,3 г, валина – от 10,3 до 15,5, лейцина – от 5,6 до 10,4, триптофана – от 3,0 до 6,3, аргинина – от 13,4 до 19,4, гистидина – от 1,5 до 4,1, изолейцина – от 7,1 до

12,2 г/1000 г семян. Сумма незаменимых аминокислот варьировала от 65,1 (сорт Секунда) до 82,5 г/1000 г семян (сорт Морена).

В результате полученных данных в условиях 2021–2022 гг. наиболее высокое содержание лизина отмечено у сортов Физкультурница, Омская Юбилейная, Фантазия, Золото Сибири, Антошка, Герда, валина – СиБемоль, Фантазия, Аришка, аргинина – Омичка, Морена, Золушка, Зничка, Зинуля, Водопад, Мамоли, Волга-Матушка, изолейцина у сортов Лукерья, Физкультурница, Си Бемоль, Фантазия, Мавританка, Герда. В меньшей концентрации у данных сортов отмечено содержание метионина, триптофана и гистидина.

Таблица 2. Качественное и количественное содержание аминокислот в семенах сортов фасоли овощной в 2022 г.

Сорт	Содержание аминокислот, г/1000 г семян										
	Лизин	Треонин	Метионин	Валин	Лейцин	Триптофан	Аргинин	Гистидин	Изолейцин	Сумма* критических аминокислот	Сумма незаменимых аминокислот
<i>Кустовая форма</i>											
Рант	11,7	6,7	3,7	12,1	6,6	3,8	14,9	2,9	7,7	22,1	70,1
Секунда	11,6	6,0	3,5	10,3	5,6	3,3	14,8	2,4	7,6	21,1	65,1
Московская белая зеленоструччатая	11,3	5,1	3,9	10,8	8,2	3,6	14,7	3,1	9,4	20,3	70,1
Настена	11,6	6,2	3,8	10,4	6,8	4,0	15,3	3,0	8,4	21,6	69,5
Омичка	10,7	4,0	4,9	10,5	8,9	3,9	19,0	1,5	11,8	19,6	75,2
Памяти Рыжовой	11,7	7,0	3,8	12,9	7,1	4,0	14,9	3,2	7,7	22,5	72,3
Физкультурница	12,0	7,6	4,1	14,3	7,9	4,4	15,0	3,7	7,8	23,7	76,8
Сибирячка	11,6	6,9	3,8	12,5	6,8	3,9	14,8	3,1	7,6	22,3	71,0
Лукерья	11,4	7,5	4,0	14,1	7,8	4,4	14,8	3,6	7,6	22,9	75,2
Лица	11,7	7,1	3,9	13,2	7,2	4,1	14,9	3,3	7,7	22,7	73,1
Ульяна	11,1	6,7	3,6	11,1	8,1	3,9	15,6	2,7	11,3	21,4	74,1
Маруся	10,7	7,2	3,9	13,3	7,3	4,1	14,3	3,4	7,1	21,8	71,3
Октава	11,7	6,7	3,7	12,2	6,7	3,8	14,9	3,0	7,7	22,1	70,4
Нота	11,5	7,0	3,8	12,9	7,1	4,0	14,8	3,3	7,6	22,3	72,0
Пагода	10,6	5,8	4,2	11,0	7,1	3,6	15,8	2,5	9,1	20,6	69,7
Си Бемоль	11,8	8,0	4,2	15,5	8,5	4,8	14,9	4,1	7,7	24,0	79,5
Бажена	10,6	6,2	3,7	11,4	9,0	6,3	16,7	2,6	9,5	20,5	76,0
Зинуля	11,7	5,3	3,9	11,3	8,1	3,6	18,9	2,3	10,5	20,9	75,6
Оливковая	11,2	6,7	3,7	12,1	6,6	3,8	14,6	3,0	7,4	21,6	69,1
Омская Юбилейная	12,0	7,1	3,9	13,0	7,1	4,1	15,0	3,3	7,8	23,0	73,3
Сакфит	11,5	7,3	4,1	10,3	8,7	3,5	16,7	2,8	10,2	22,9	75,1
Зничка	11,0	4,5	5,1	11,7	9,6	3,6	19,2	1,9	12,0	20,6	78,6
Красная шапочка	12,0	6,2	3,5	10,8	5,9	3,4	15,0	2,5	7,8	21,7	67,1
Маришка	11,7	7,1	3,9	13,1	7,2	4,1	14,9	3,3	7,7	22,7	73,0
Фантазия	12,1	7,4	4,0	13,8	7,6	4,3	14,7	2,8	7,9	23,5	74,6
Светлячок	10,7	4,8	5,2	12,3	9,9	3,2	19,0	2,1	11,8	20,7	79,0
Аришка	11,4	7,3	4,0	13,7	7,5	4,3	14,7	3,5	7,5	22,7	73,9
Золото Сибири	12,0	6,2	3,5	10,8	5,9	3,4	15,0	2,5	7,8	21,7	67,1
Иришка	11,4	7,0	3,9	13,0	7,1	4,0	14,8	3,2	7,6	22,3	72,0
Магура	11,4	7,3	3,9	13,5	7,4	4,2	14,7	3,4	7,5	22,6	73,3
Чыжовенка	10,7	6,8	3,8	12,9	6,8	3,9	14,3	3,1	7,1	21,3	69,4
Креолка	11,3	6,6	3,7	11,8	6,4	3,7	14,7	2,8	7,5	21,6	68,5
Морена	11,3	5,1	5,3	13,1	10,4	3,5	19,3	2,4	12,1	21,7	82,5
Золушка	11,1	4,2	5,0	10,8	9,1	3,0	19,2	1,6	12,0	20,3	76,0
<i>Вьющуюся форма</i>											
Афина	11,4	5,7	4,3	11,2	7,9	3,3	13,4	2,7	8,2	21,4	68,1
Водопад	11,0	4,2	5,0	11,0	9,2	3,8	19,2	1,7	12,0	20,2	77,1
Антошка	11,6	7,1	3,9	13,1	7,2	4,1	14,8	3,3	7,6	22,6	72,7
Дубровенская	11,5	7,3	4,0	13,7	7,5	4,3	14,8	3,5	7,6	22,8	74,2
Мамоли	11,3	4,6	5,1	11,8	9,6	3,9	19,3	2,0	12,1	21,0	79,7
Волга-Матушка	11,4	4,9	5,2	12,6	10,1	4,4	19,4	2,2	12,2	21,5	82,4
Мавританка	11,0	7,6	4,1	14,3	7,9	4,4	14,5	3,7	7,3	22,7	74,8
Герда	11,8	7,8	4,2	15,1	8,3	4,7	14,9	3,9	7,7	23,8	78,4

Примечание: АКкр – критические аминокислоты (лизин, треонин, метионин).

Среди выявленных аминокислот в 2021–2022 гг. отмечено наибольшее содержание аргинина (18,9–19,4 г/1000 г семян у сорта Волга-Матушка), валина (15,5–15,7 г/1000 г семян у сорта Си Бе-

моль), лизина (12,1–12,8 г/1000 г семян у сорта Фантазия), лейцина (10,4–10,7 г/1000 г семян у сорта Морена).

Следует отметить, что по сумме незаменимых аминокислот разница в 2021 г. у кустовой формы составила между минимальным и максимальным значением 1,26, в 2022 г – 1,27 раза, у вьющуюся – 1,19–1,20 раза.

Как показали результаты исследований, содержание аминокислот зависит от сорта и условий выращивания. В 2022 г. в целом значения суммы незаменимых аминокислот у сортов были выше по сравнению с 2021 г.

### **Заключение**

Впервые изучен анализ качественного и количественного состава содержания аминокислот в семенах коллекционных сортов фасоли овощной. Идентифицировано 9 незаменимых аминокислот в образцах семян сортов фасоли овощной. В 2021–2022 гг. было наибольшее содержание аргинина (18,9–19,4 г/1000 г) у сорта Волга-Матушка, валина (15,5–15,7 г/1000 г семян) у Си Бемоль, лизина (12,1–12,8 г/1000 г семян) у Фантазия, лейцина (10,4–10,7 г/1000 г семян) у сорта Морена.

Содержание критических аминокислот (лизин, треонин, метионин) в белке семян фасоли овощной в 2021–2022 гг. составило от 19,6 до 24,4 г/1000 г семян. Суммарное содержание незаменимых аминокислот (лизин, треонин, метионин, валин, триптофан, лейцин, аргинин, гистидин, изолейцин) в белке семян коллекционных сортов фасоли овощной различных форм составило от 63,5 до 82,5 г/1000 г семян.

Результаты исследований по оценке аминокислотного состава позволили установить, что семена различных форм фасоли овощной характеризуются ценным биохимическим составом. Выделенные сорта могут быть использованы в селекционном процессе при создании сортов с высокими показателями содержания аминокислот.

### *ЛИТЕРАТУРА*

1. Государственный реестр сортов сельскохозяйственных растений Республики Беларусь / Государственная инспекция по испытанию и охране сортов растений. – Минск, 2022. – 303 с.
2. Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию / Федеральное государственное бюджетное учреждение «Государственная комиссия Российской Федерации по испытанию и охране селекционных достижений» Т. 1. Сорта растений. – М.: Росинформагротех, 2021. – 504 с.
3. Аутко, А. А. Бобовые овощные культуры / А. А. Аутко // Белорусское сельское хозяйство. – 2010. – № 8. – С. 80.
4. Попков, В. А. Бобовые овощные культуры / В. А. Попков // Овощеводство. – Минск, 2011. – С. 985–998.
5. Катюк, А. И. Перспективный сорт фасоли обыкновенной (*Phaseolus vulgaris* L.) Самарская белая для условий Среднего Поволжья // Достижения науки и техники АПК. – 2020. – Т. 34. № 9 – С. 59–63.
6. Буданова, В. И. Коллекция фасоли Всероссийского института растениеводства им. Н. И. Вавилова – исходный материал для селекции / В. И. Буданова // Селекция, семеноводство и приемы возделывания фасоли. – Орел, 1975. – С. 82–89.
7. Голбан, Н. М. Селекция фасоли на пригодность к механизированной уборке и высокую продуктивность / Н. М. Голбан, А. Н. Рассохина // Науч.-техн. бюлл. / Всерос. науч.-исслед. ин-т зернобобовых и круп. культур. – Орел, 1996. – С. 85–87.
8. Павловская, Н. Е. Белковый комплекс семян зернобобовых культур и перспективы повышения его качества / Н. Е. Павловская // Научное обеспечение производства зернобобовых и крупяных культур / ВНИИЗБК. – Орел, 2004. – С. 56–60.
9. Чаховский, И. А. Методические рекомендации по биологической оценке продовольственного зерна / И. А. Чаховский, П. Г. Новиков. – М., 1982. – 23 с.
10. Агрохимия: практикум / И. Р. Вильдфлуш [и др.]. – Минск: ИВЦ Минфина, 2010. – 368 с.
11. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. – 5-е изд., доп. и перераб. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

## ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ЗЕРНА ПШЕНИЦЫ КИТАЙСКОЙ СЕЛЕКЦИИ

А. Н. ИВАНИСТОВ, ВАН ХАЙЦЯН, ЧЖАН ЖУЙ

УО «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции  
и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия»,  
г. Горки, Республика Беларусь, 213407, e-mail: ivanistov09@mail.ru;

(Поступила в редакцию 15.01.2026)

*В Республике Беларусь среди зерновых хлебов ведущее место принадлежит пшенице, которая остается главным источником обеспечения населения продовольственным зерном в ближайшие годы и в перспективе. Наиболее распространенной в производственных посевах в нашей республике и в мире является пшеница мягкая (*Triticum aestivum* L.).*

*Ежегодная потребность в зерне пшеницы у нашей республики составляет 1,6–1,8 млн. тонн, в том числе в продовольственном – 600–700 тыс. тонн.*

*Качество пшеницы – это многогранный признак, определяемый целым рядом факторов, включая содержание белка, количество и качество клейковины, а также ферментативную активность. Все эти показатели имеют глубокую генетическую основу. Стремление к максимальной урожайности зачастую приводило к компромиссам в отношении хлебопекарных и других технологических качеств зерна. Более высокий урожай на единицу площади означает увеличение общей биомассы, однако это не всегда сопровождается пропорциональным увеличением содержания питательных веществ в каждом отдельном зернышке.*

*Благодаря работе белорусских селекционеров и аграриев мы выращиваем достаточное количество пшеницы с клейковиной более 28 %, пригодной для производства макаронных изделий и пшеничной муки высшего сорта. Тем не менее для обеспечения продовольственной безопасности и снижения импорта необходимо увеличение урожайности пшеницы и повышение качества зерна [1].*

*В статье представлены результаты оценки показателей качества зерна пшеницы китайского происхождения в сравнении с сортами пшеницы, районированными в Республике Беларусь.*

*Лабораторные анализы пшеницы, проведенные в 2024–2025 годах, подтверждают высокое качество зерна, соответствующее первому и второму классу продовольственного зерна.*

**Ключевые слова:** *натура зерна, клейковина, белок, показатель седиментации, белизна муки, стекловидность, число падения.*

*In the Republic of Belarus, wheat is the leading grain crop, remaining the main source of food grain for the population in the coming years and beyond. Common wheat (*Triticum aestivum* L.) is the most widely cultivated crop in our country and worldwide.*

*The annual demand for wheat grain in our country is 1.6–1.8 million tons, including 600,000–700,000 tons for food production.*

*Wheat quality is a multifaceted characteristic determined by a number of factors, including protein content, gluten quantity and quality, and enzymatic activity. All of these indicators have a deep genetic basis. The pursuit of maximum yield has often led to compromises in the baking and other technological qualities of grain. A higher yield per area unit means an increase in total biomass, but this is not always accompanied by a proportional increase in the nutrient content of each individual grain.*

*Thanks to the work of Belarusian breeders and farmers, we grow sufficient quantities of wheat with gluten content over 28 %, suitable for the production of pasta and premium wheat flour. However, to ensure food security and reduce imports, it is necessary to increase wheat yields and improve grain quality.*

*This article presents the results of an assessment of grain quality indicators for wheat of Chinese origin compared to wheat varieties zoned in the Republic of Belarus.*

*Laboratory analyses of wheat conducted in 2024–2025 confirm the high quality of the grain, corresponding to first and second class food grain.*

**Key words:** *grain unit weight, gluten, protein, sedimentation index, flour whiteness, vitreousness, falling number.*

### Введение

В современной агрономии и селекции пшеницы часто возникает сложная дилемма: как одновременно добиваться высокой урожайности и поддерживать или даже улучшать качество зерна. Качество пшеницы – это многогранный признак, определяемый целым рядом факторов, включая содержание белка, количество и качество клейковины, а также ферментативную активность. Все эти показатели имеют глубокую генетическую основу, изучению которой посвящены работы А. А. Беляева и В. Д. Кобылянского [2].

Исторически сложилось так, что стремление к максимальной урожайности зачастую приводило к компромиссам в отношении хлебопекарных и других технологических качеств зерна. Более высокий урожай на единицу площади означает увеличение общей биомассы, однако это не всегда сопровождается пропорциональным увеличением содержания питательных веществ в каждом отдельном зернышке. Этот феномен, известный как «эффект разбавления», приводит к снижению концентрации белка и уменьшению «силы» муки, что критически важно для хлебопекарной промышленности. Таким образом, селекционеры сталкиваются с непростой задачей – идентифицировать и создавать сорта, способные гармонично сочетать в себе высокий урожайный потенциал с превосходными качественными характеристиками [3].

В рамках подписанного соглашения о сотрудничестве между Белорусской государственной сельскохозяйственной академией и Северо-Западным университетом сельского и лесного хозяйства (КНР), китайская сторона предоставила семена 75 сортообразцов пшеницы китайской селекции, которые высеваются в условиях УНЦ «Опытные поля БГСХА». Сотрудничество с китайскими коллегами заключается в проведении экологического испытания пшеницы, осуществлении стажировок китайских магистрантов, совместном участии в конференциях и семинарах, издании совместных статей и монографии и т. д.

В настоящее время в Белорусской государственной сельскохозяйственной академии завершена научно-исследовательская работа «Оценка экологической пластичности и адаптивности селекционного материала пшеницы китайского происхождения и выделение ценных генотипов для селекции мягкой пшеницы в условиях Республики Беларусь» государственной программы научных исследований «Сельскохозяйственные технологии и продовольственная безопасность» на 2021–2025 годы. Научно-исследовательская работа включена в дорожную карту по развитию сотрудничества между Могилевской областью (Республика Беларусь) и провинцией Шэньси (Китайская Народная Республика) на период 2024–2026 годы. Выполнение исследований позволило эффективно проводить обмен исходным материалом с Китайской Народной Республикой для селекции основных сельскохозяйственных культур, внедрять инновации в селекционном процессе при создании новых сортов; проводить фундаментальные исследования по молекулярной биологии; технологиям производства сельскохозяйственной продукции. Одной из задач исследований являлось определение качества зерна интродуцированных пшениц.

### **Основная часть**

Испытание селекционного материала нужно проводить на разных этапах работы. В связи с этим одна из задач экологического испытания заключалась в том, чтобы сделать оценку основных показателей качества зерна пшеницы китайского происхождения в сравнении с сортами пшеницы районированным в Республике Беларусь и вынести решение о целесообразности использования данного материала в селекционном процессе.

Оценка качества зерна была произведена в испытательной лаборатории качества семян Белорусской государственной сельскохозяйственной академии, соответствующей международным требованиям по ГОСТ ISO/IEC 17025-2019.

Применялись следующие методы испытаний:

- ГОСТ 13586.5-93 Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения влажности;
- ГОСТ 12042-80 Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения массы 1000 семян;
- ISO 711: 1985 Cereals and pulses – determination of the mass of 1000 grains;
- Определение показателей качества зерна и зернопродуктов на базе экспресс-анализатора Infra-neo-960. Методика выполнения анализа. Компания «Chopin», Франция, 2012 г.;
- ISO 3093:1982 Cereals – determination of falling number;
- ISO 7971:1986 Cereals – determination of bulk density, called «Mass per hectolitre» (reference method).

После уборки нами были проанализированы показатели качества зерна районированных сортов белорусской селекции яровой пшеницы Дарья и Монета и пшеницы, полученной из КНР урожая 2024 г. (табл. 1).

Влажность зерна, предоставленного на анализ в лабораторию, составила 13,9–14,7 %.

Максимальное содержание протеина отмечалось у пшеницы китайской селекции сорта GY437 – 15,6 %. В среднем у зерна пшеницы китайской селекции урожая 2024 г. содержание протеина составила 15,08 %. У анализируемых белорусских сортов содержание протеина было несколько ниже 14,1 и 14,9 %.

Зольность – отношение массы золы, состоящей из минеральных веществ и получаемой в результате сжигания размолотого зерна при определенной температуре в заданных условиях, к массе сжигаемого вещества, выраженное в процентах. Зольность зерна колеблется в зависимости от сортовых особенностей и почвенно-климатических условий его произрастания. В низкозольном зерне хорошо развит эндосперм. Такое зерно в мукомольной промышленности ценится выше, так по содержанию зольности можно косвенно судить о качестве промежуточных и конечных продуктов переработки.

Минимальное содержание золы отмечалось у сорта китайской селекции QH 01 – 1,48 %, при среднем показателе 1,71 %. У сортов белорусской селекции аналогичный показатель был 1,6 % (сорт Монета) и 1,68 % (сорт Дарья).

Массовая доля сырой клейковины в пшеничном зерне варьирует от 7 до 50 %. Содержание клейковины в муке считается высоким, если ее массовая доля (в сыром виде) достигает 28 %. Содержание клейковины в зерне в основном зависит от сорта пшеницы и от условий ее выращивания.

В условиях пониженных температур клейковины в зерне накапливается меньше. Содержание клейковины в зерне мягкой пшеницы 36 % и более соответствует высшему классу продовольственного зерна; 32 % – 1-му классу; 28 % – 2-му; 23 % – 3-му; ниже 23 до 18 % – 4-му классу, менее 18 % – 5-му. Большое значение придается качеству клейковины, которое является в основном сортовым признаком [4, 12]. Содержание клейковины у пшеницы из КНР составило 28–30 %. У сортов белорусской селекции содержание клейковины было незначительно выше – 31–32 %.

Изучаемые пшеницы имели схожие значения по показателю «влагопоглощительная способность муки». ВПС составила 63,2–66,2 мм. Сила муки у белорусских сортов составила 203,3–319,5 ед., у сортообразцов китайской селекции – 226,4–319,7 ед.

Показатель седиментации: число, показывающее объем осадка, полученного при определенных условиях из суспензии испытуемой муки, выработанной из пшеницы, в растворе молочной кислоты и изопропилового спирта (пропанол-2), в соответствии с требованиями стандарта [4].

Таблица 1. Показатели качества зерна пшеницы, 2024 г.

Название сорта/ сортообразца	Влажность, %	Протеин, %	Зола, %	Клейковина, %	ВПС муки, мм	W, ед	Индекс зелени, мм	ИДК	Глютен-индекс (G <sub>i</sub> ), ед	Натура, г/л	Стекло-видность, %	ЧП, сек
Дарья	14	14,9	1,68	31	63,7	203,3	23	100,5	85	580,3	50	302,2
Монета	14,1	14,1	1,6	32	64,3	319,5	27	100,1	92	740,7	50	264,1
QC 07	14,3	15,2	1,84	28	64,3	313,7	25	106,2	76	610,0	50	303,7
QC 38	14,5	14,7	1,7	29	63,2	319,1	22	102,1	77	722,5	50	303,4
QH 01	14,2	15,1	1,48	28	63,8	319,7	32	93,5	84	709,1	50	343,9
QC 39	14	14,4	1,62	29	62,4	317,4	23	98,2	93	784,6	50	300,5
QC 10	14,6	15,5	1,9	30	66,2	226,4	29	110,0	70	846,7	52	332,5
GY437	14,7	15,6	1,71	28	64,1	255,3	29	101,5	74	612,4	54	312,2

Устанавливает метод, известный как «седиментационный анализ по Зелени», применяемый для оценки одного из показателей, определяющих качество пшеницы с точки зрения хлебопекарной силы муки, которую можно получить из этого зерна. У пшеницы китайского происхождения этот показатель составил 22–32 мм. У сорта Дарья показатель был 23 мм, а у сорта Монета – 27 мм.

Качество клейковины определяется с помощью прибора ИДК (*Измеритель деформации клейковины*), способного измерять упругость сырой клейковины. Результат измерений качества клейковины выражается в условных единицах ИДК.

При надавливании образец слабой клейковины легко деформируется (сплющивается). Слабая клейковина характеризуется плохой эластичностью, поэтому она сильно растягивается. После растяжения форма образца не восстанавливается. Тесто из муки со слабой клейковиной обладает слабой формоустойчивостью и сильно расплывается. Под воздействием углекислого газа, выделяемого дрожжами, тесто из муки со слабой клейковиной быстро поднимается, а затем опадает и уже не восстанавливает свой объем. Мука со слабой клейковиной доставляет множество хлопот хлебопеком. Изделия из такой муки получают низкого объема, расплывчатой формы, с плохой пористостью [4].

Согласно ГОСТ 27839-88, деформация хорошей клейковины, измеренная на приборе ИДК должна находиться в пределах от 55 до 75 единиц. Чем больше значение ИДК, тем слабее клейковина.

Клейковина с ИДК 50-35 (для муки 2 сорта с ИДК 50-40) считается удовлетворительно крепкой, а с ИДК 80-100 удовлетворительно слабой. С мукой, содержащей такую клейковину, при правильном подходе еще можно работать.

При переработке муки со слабой клейковиной необходимо использовать приемы, направленные на ее укрепление, а при переработке муки с излишне крепкой клейковиной – приемы, способствующие ее ослаблению. Если ИДК клейковины ниже 30 (для муки 2 сорта ниже 35) или выше 105, то качество клейковины считается неудовлетворительным. Из муки с такой клейковиной нормальный хлеб испечь не удастся.

Лучшим качеством клейковины в 2024 г. было у пшениц селекции КНР: QH 01 и QC 39 – 93,5 и 98,2 ед. соответственно. В наших условиях у белорусских районированных сортов показатель ИДК в 2024 г составил 100,1 и 100,5 ед.

Глютеновый индекс у сорта Дарья находился на уровне 85 ед., у сорта Монета – 92 ед. У ряда сортов китайской селекции: QC 07, QC 38, QC 10, GY 437 показатель был ниже 70-77 ед.

Наибольшую натурную массу зерна в 2024 г. имел сорт пшеницы КНР QC 10 – 846,7 г/л, при среднем значении 714,2 г/л у китайских пшениц и 745,1 г/л у белорусских сортов.

Стекловидность у всех пшениц было схожей на уровне 50 %, а число падения было выше 200 сек., что свидетельствует о достаточно хорошем качестве муки.

Показатели качества зерна пшеницы урожая 2025 г. отличались, что связано в первую очередь с обилием осадков в первые два летние месяца. Натура зерна у китайских сортообразцов составила 630–840 г/л. Стекловидность 45–89 % и была выше в сравнении с 2024 г. (табл. 2).

Таблица 2. Показатели качества зерна пшеницы, 2025 г

Название сорта/ сортообразца	Натура, г/л	Стекло-видность, %	Протеин, %	Зола (мука), %	Клейковина, %	Белизна муки, ед.	W, ед.	Зелени, мм	Число падения, сек	ИДК, ед	ПЕ, ед
XN 198	840	67	14,7	2,33	31,6	29,7	348,4	74,4	355	59,2	61,1
QC 10	816	65	13,3	2,36	30,7	18,9	333,7	77,8	311	60,3	61,1
GY 437	760	73	13,6	2,43	36,0	20,9	444,6	79,9	288	36,9	81,8
QH 01	830	39	13,1	2,33	29,2	23,6	341,2	66,5	348	57,6	66,0
QC 38	700	89	12,2	2,37	27,0	23,5	326,6	73,9	370	50,7	63,0
QC 07	702	78	14,0	2,36	30,8	24,8	371,1	76,2	354	49,2	70,9
QC 39	673	55	13,6	2,30	37,0	29,8	467,7	91,0	270	45,0	84,5
Bel 24-16	630	56	12,8	2,33	24,1	25,9	425,7	68,2	320	82,3	84,2
Bel 24-6	730	53	12,3	2,23	22,5	24,1	453,1	69,7	306	68,2	77,7
Bel 24-3	745	55	13,7	2,18	24,0	24,9	433,3	72,4	313	73,9	76,0
Bel 24-1	780	62	13,5	2,97	26,0	26,6	424,5	78,3	295	81,7	71,5
Bel 24-2	720	72	11,3	2,55	23,8	23,2	384,7	59,4	272	74,9	75,0
Bel 24-14	774	45	14,8	3,28	28,6	35,4	513,7	79,2	386	55,2	85,2
Дарья	785	90	12,8	2,30	27,9	24,9	311,7	69,6	348	47,4	62,6
Монета	787	71	14,0	2,26	32,4	26,8	391,0	70,7	304	43,9	66,3
Ставиньска	772	67	14,5	2,35	36,3	22,1	419,1	78,7	281	46,4	76,2
Мандарина	668	59	13,6	2,28	30,4	21,7	366,7	76,2	338	40,0	70,4
Сабрена	767	83	13,1	2,40	29,2	24,1	295,1	55,7	350	43,1	61,9
Ахона	730	60	12,8	2,29	28,0	34,3	334,4	81,9	314	49,1	68,4

Содержание белка было в пределах 11,3–14,8 % у китайских сортообразцов и 12,8–14,5 % у сортообразцов из коллекции генофонда, что в целом на 1–1,5 п.п. ниже, чем в 2024 г. Содержание золы у изучаемых сортообразцов составило 2,18 % Bel 24-3 – 3,28 % Bel 24-14. Содержание клейковины у китайских сортообразцов достигало 37 % QC 39 и 36,3% у сорта Ставиньска. Средний показатель белизны муки у китайских сортообразцов был 25,5 ед., в коллекции генофонда 25,7 ед. Сила муки (W, ед.) достигала 513,7 ед. Bel 24-14. Лучшими по параметру «индекс зелени», который характеризует степень набухания, были QC 39 – 91 мм, Ахона – 89,1 мм, GY 437 – 79,9 мм. По числу падения следует отметить сортообразцы, GY 437, QC 39, Bel 24-1, Bel 24-2, Ставиньска, показатель у которых был от 200 до 300 сек. По показателю ИДК, который характеризует качество клейковины лучшими являются GY 437, QC 07, QC 39, а по показателю эластичности клейковины QC 39, Bel 24-16, Bel 24-14, GY 437 из китайской коллекции.

### Заключение

Лабораторные анализы зерна мягкой пшеницы китайской селекции, выращенной в условиях северо-восточной части Республики Беларусь в 2024–2025 гг., подтверждают качество зерна пшеницы, соответствующее первому и второму классу продовольственного зерна.

Лучшими показателями качества зерна в 2024-2025 гг. обладали сортообразцы пшеницы из китайской коллекции: QH 01, QC 39, GY 437, QC 07, Bel 24-16, Bel 24-14, GY 437. Данные сортообразцы целесообразно использовать в селекционном процессе при создании новых сортов с высокими качественными показателями.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Гончаренко, А. А. Современные направления селекции зерновых культур в Беларуси / А. А. Гончаренко // Земляробства і раслінаводства. – 2021. – № 2. – С. 12–19.
2. Беляев, А. А. Качество зерна пшеницы и его улучшение селекцией / А. А. Беляев, В. Д. Кобылянский. – М.: Колос, 1979.
3. Новикова, Л. Ю. Взаимосвязь урожайности и качества зерна яровой пшеницы в селекционном процессе / Л. Ю. Новикова, Л. А. Беспалова // Зерновое хозяйство России. – 2016. – № 5. – С. 10–14.
4. Коваленко, Е. Д. Качество зерна яровой пшеницы и методы его оценки / Е. Д. Коваленко, М. А. Розова. – М.: Агропромиздат, 1987. – 270 с.

## ХИМИЧЕСКИЙ МУТАГЕНЕЗ В СЕЛЕКЦИИ ЛЬНА МАСЛИЧНОГО

Е. Л. АНДРОНИК, Е. В. ИВАНОВА, Д. А. БАТЮКОВ

РУП «Институт льна»,  
аг. Устье, Республика Беларусь, 211003, e-mail: andronik11@rambler.ru

(Поступила в редакцию 15.01.2026)

В статье показана роль химического мутагенеза в получении ценных генотипов с хозяйственно значимыми признаками. Обобщены результаты исследований мутантов льна масличного в поколениях  $M_1$ - $M_3$ . Показано влияние химических мутагенов (*N*-нитрозоэтилмочевина (НЭМ) и *N*-нитрозометилмочевина (НММ)) на всхожесть растений в поколении  $M_1$ . Дана характеристика спектров и частоты фенотипических мутаций в поколениях  $M_2$ - $M_3$ . Установлено, что мутантные образцы охватывают широкий спектр изменений: мутации с нарушением синтеза хлорофилла (доля в общем количестве выделенных мутаций 23,1 %); мутации окраски лепестков венчика и пыльников (28,2 %); формы и размера венчика (15,4 %); структуры стебля, листьев и корня (17,9 %); физиологических изменений роста и развития (5,1 %); окраски семян (2,6 %); стерильности (7,7 %). Установлено, что мутабельность сорта обусловлена его генотипом. В результате оценки мутантных линий, полученных из сорта Дар, выделен мутант *M*-44 с хлорофильными изменениями («золотистая верхушка») и зигзагообразным стеблем. Отличия от исходной формы этого мутанта подтверждены методом электрофореза запасных белков. Выделены мутанты, превосходящие исходный сорт по продуктивности и масличности, продолжительности периода вегетации, с изменённым жирнокислотным составом. Показаны результаты молекулярно-генетического анализа мутантных образцов льна масличного. На основе комплексного использования фенологических, морфологических, физиологических, биохимических и генетических методов в результате многоэтапных лабораторных и полевых исследований разработана схема использования мутантных растений в селекции льна масличного.

**Ключевые слова:** лен масличный, химический мутагенез, всхожесть, спектр мутаций, полезные мутации.

The article shows the role of chemical mutagenesis in obtaining valuable genotypes with economically significant traits. The results of studies of oil flax mutants in generations  $M_1$ - $M_3$  are summarized. The effect of chemical mutagens (*N*-nitrosoethyl urea (NEU) and *N*-nitrosomethyl urea (NMU)) on plant germination in generation  $M_1$  is shown. The characteristics of the spectra and frequency of phenotypic mutations in generations  $M_2$ - $M_3$  are given. It was found that mutant samples cover a wide range of changes: mutations with disruption of chlorophyll synthesis (the share in the total number of isolated mutations is 23.1 %); mutations in the color of corolla petals and anthers (28.2 %); corolla shape and size (15.4 %); structure of the stem, leaves and root (17.9 %); physiological changes in growth and development (5.1 %); seed color (2.6 %); sterility (7.7 %). It was established that the mutability of the variety is determined by its genotype. An evaluation of mutant lines obtained from the Dar variety resulted in the isolation of the *M*-44 mutant, which exhibits chlorophyll changes ("golden top") and a zigzag stem. Differences from the original form of this mutant were confirmed by electrophoresis of storage proteins. Mutants with altered fatty acid compositions, superior to the original variety in productivity and oil content, and in the length of the growing season, were isolated. The results of a molecular genetic analysis of mutant oil flax samples are presented. Based on the integrated use of phenological, morphological, physiological, biochemical, and genetic methods, as a result of multi-stage laboratory and field studies, a scheme for the use of mutant plants in oil flax breeding was developed.

**Key words:** oil flax, chemical mutagenesis, germination, mutation spectrum, beneficial mutations.

### Введение

Индукцированный химический мутагенез является одним из ключевых способов расширения генетического разнообразия сельскохозяйственных культур, который позволяет преодолеть узкие места в их развитии и даёт селекционерам необходимый материал для создания современных сортов [1–3]. Сорта, полученные с использованием мутационной селекции, вносят значительный вклад в обеспечение глобальной продовольственной безопасности, а также играют роль в улучшении жизни и здоровья людей [4]. Программы по использованию экспериментального мутагенеза в селекции растений реализуют во многих странах мира. Особую перспективу представляет применение методов воздействия мутагенов на геном, что позволяет вскрыть новые генетические резервы культуры и получить ценные генотипы, отличающиеся хозяйственно-значимыми признаками [5].

В Республике Беларусь исследования по использованию мутагенов в создании исходного селекционного материала льна масличного ещё совсем недавно находились на начальном этапе. Реализация задания «Создание нового исходного материала льна масличного с использованием метода химического мутагенеза» ГПНИ «Сельскохозяйственные технологии и продовольственная безопасность» на 2021–2025 годы, подпрограмма «Земледелие и селекция» в РУП «Институт льна» в 2022–2024 гг. позволила установить эффективные дозы и экспозиции воздействия НЭМ и НММ, а также оценить мутабельность сортов и характер изменчивости признаков у мутантных растений льна масличного [6–8].

Цель исследований – обобщить результаты исследований по применению химического мутагенеза в селекции льна масличного для создания исходного материала, разработать методологический

подход к изучению мутантов льна масличного в ряду поколений, выделить перспективные мутантные линии с полезными мутациями для целей селекции.

### Основная часть

Объектом исследований служили мутанты поколений  $M_1$ - $M_3$ , полученные в результате обработки химическими мутагенами (НММ и НЭМ) семян 6 сортов льна масличного [6]. Семена сортов после обработки мутагенами высевали в питомнике мутантов  $M_1$  (однорядные делянки по 100 семян); в 2023 году – в питомнике  $M_2$  (площадь делянки от 0,3 м<sup>2</sup> до 3,0 м<sup>2</sup>); в 2024 году – в питомнике  $M_3$  (до 5,0 м<sup>2</sup>). Подготовка почвы под посев общепринятая [9, с. 400], посев ручной в оптимальные для культуры сроки. Уборку питомников проводили при наступлении физиологической спелости семян (полная спелость) с последующей их сушкой и очисткой.

Тестом чувствительности растений к действию мутагенов служила полевая всхожесть растений  $M_1$ . Чем выше была концентрация и доза мутагенного фактора, тем сильнее снижалась всхожесть. Всходы семян в питомнике  $M_1$  появились позже, чем на контрольных делянках. Установлено, что семена, обработанные сравнительно низкими концентрациями (0,006 %), взошли на 7–8 день, а при высоких концентрациях (0,012–0,025 %) на 8–12 день после посева. В варианте с обработкой НЭМ в концентрации 0,025 % при 12- и 18-часовой экспозиции вызывал полную гибель всходов у всех изучаемых сортов. Отмечали резкое снижение всхожести или полную гибель всходов при обработке семян мутагеном НЭМ в концентрации 0,012 % при 12-часовой и 18-часовой экспозициях (рис. 1). Обработка семян НЭМ оказывала более угнетающее влияние на всхожесть по сравнению с обработкой НММ в концентрациях 0,012–0,025 %.

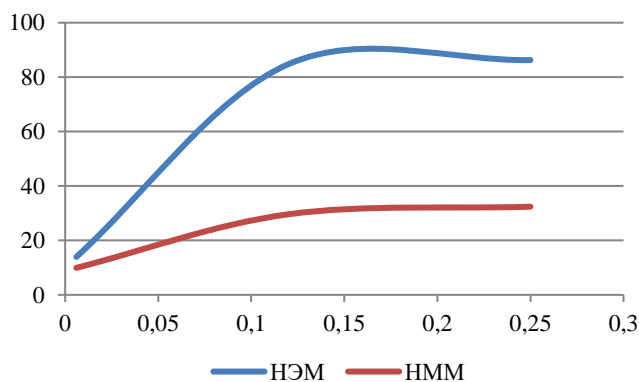


Рис. 1. Всхожесть генотипов  $M_1$  при обработке семян мутагенами, % (2022 г.)

В исследованиях у мутантных растений льна масличного в поколениях  $M_2$  и  $M_3$  выделены мутации различного спектра: мутации с нарушением синтеза хлорофилла (доля в общем количестве выделенных мутаций 23,1 %); окраски лепестков венчика и пыльников (28,2 %); формы и размера венчика (15,4 %); структуры стебля, листьев и корня (17,9 %); физиологических изменений роста и развития (5,1 %); окраски семян (2,6 %); стерильности (7,7 %) (рис. 2а).

У высокомутабельных сортов обнаруживали все типы мутаций. Самой высокой мутабельностью обладали сорта Фокус, Илим и Дар (рис. 2б), в потомстве которых были отобраны перспективные мутантные линии. У сортов Altess и Визирь отсутствовали мутации окраски лепестков венчика и пыльников, а у сорта Бонус – мутации формы и размера венчика.

У некоторых линий отличали несколько изменений признаков. Так, линии со светло-светло-голубой и белой окраской венчика оказались самыми раннеспелыми. Наряду с изменениями формы венчика у мутантов получены растения с изменением цвета тычинок (с голубой на кремовую, с голубой на сероватую). В результате оценки фенотипа мутантных линий из сорта Дар выделен мутант № 44 с хлорофильными изменениями («золотистая верхушка») и зигзагообразным стеблем. Отличия от исходной формы этого мутанта подтверждены методом электрофореза запасных белков (рис. 3). Выделено 17 мутантных линий созревающих достоверно раньше исходной формы на 2–10 суток, а также 9 позднеспелых линий, созревающих достоверно позже исходных форм на 4–10 суток. Выделенные мутации отнесены к полезным и будут использованы в практической селекции [10].

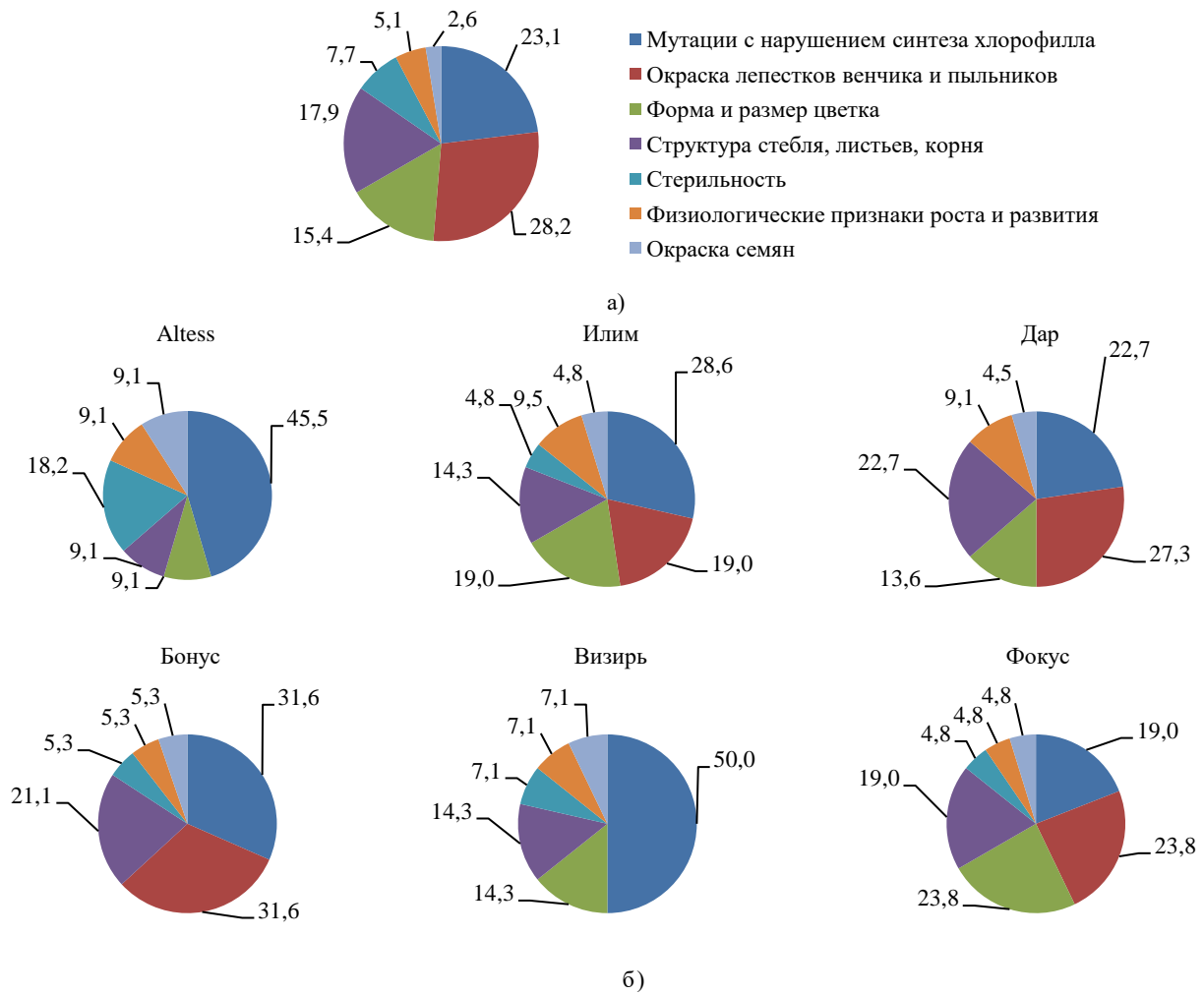


Рис. 2. Спектр индуцированных мутаций льна масличного в М<sub>2</sub>-М<sub>3</sub>:  
 а) доля (%) каждого вида мутаций в общем их количестве; б) доля (%) мутаций в разрезе каждого сорта

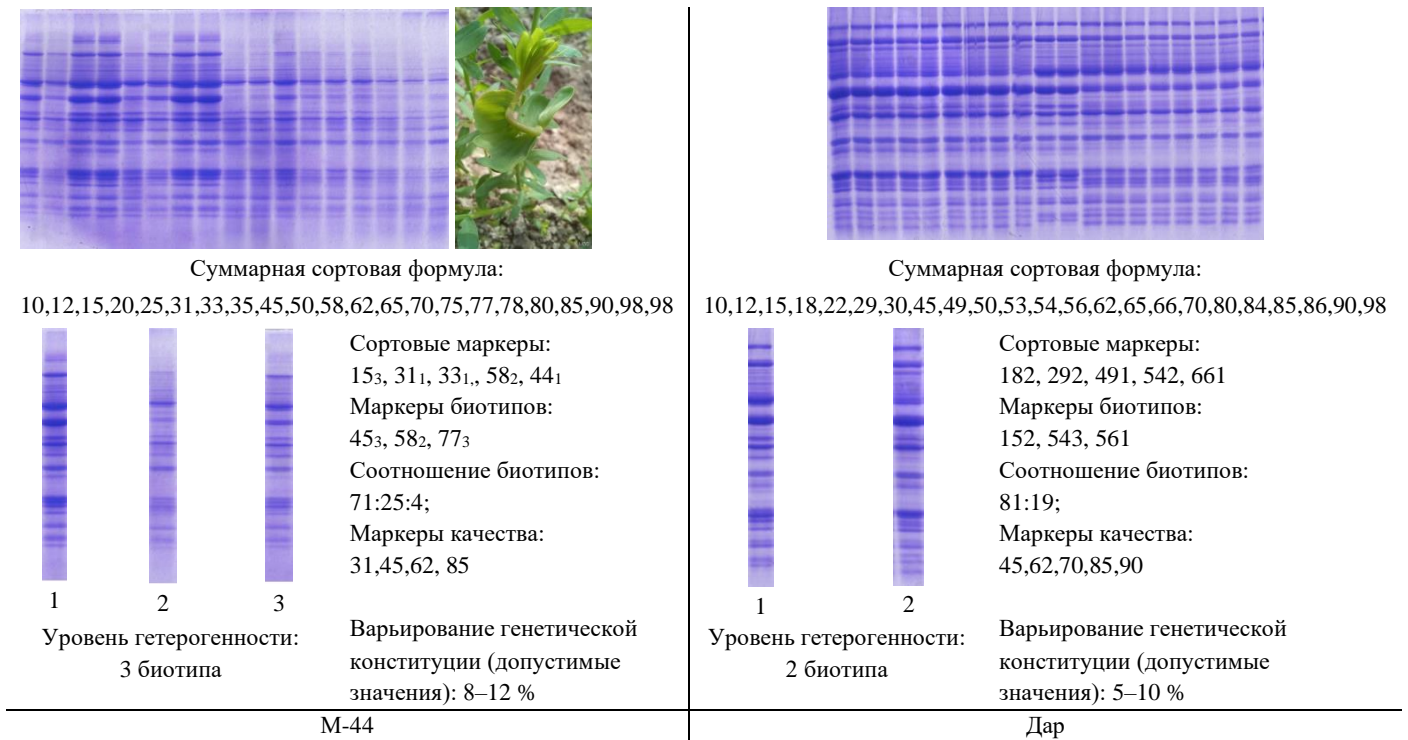


Рис. 3. Биохимические паспорта мутантной линии М-44 и исходного сорта Дар

В исследованиях выделен ряд мутантных линий, превосходящих исходные сорта по продуктивности семян: у линии М-8 из сорта Altess получена прибавка по продуктивности 12,5 % к исходному сорту; у 7 линий из сорта Илим (+19,1 %....47,8 % к исх. сорту); у 3 линии из сорта Дар (+16,3 %....31,8 % к исх. сорту); у 5 линий из сорта Визирь (+13,7 %....35,7 % к исх. сорту), у линии М-69 из сорта Бонус (+20,5 % к исх. сорту) и 4 линий из сорта Фокус (+15,5 %....49,3 % к исх. сорту) (таблица). Кроме этого, мутанты М-17, М-27, М-37, М-67, М-68, М-69, М-84, М-86, М-87 и М-90 превышали по содержанию масла исходные формы.

#### Характеристика мутантных линий по продуктивности и масличности

Генотип	Продуктивность семян		Содержание масла, %	Генотип	Продуктивность семян		Содержание масла, %
	г/м <sup>2</sup>	± к исходной форме, %			г/м <sup>2</sup>	± к исходной форме, %	
Altess	301,0	–	38,3	Визирь	385,0	–	42,9
М-8	338,7*	12,5	38,7	М-48	494,6*	28,5	42,3
М-10	322,0	7,0	38,7	М-50	437,7*	13,7	42,4
Илим	306,8	–	43,6	М-56	427,6	11,1	42,9
М-17	307,0	0,1	44,1*	М-57	516,6*	34,2	41,6
М-18	365,5*	19,1	42,9	М-58	522,6*	35,7	42,6
М-20	338,2	10,2	43,4	М-59	511,0*	32,7	43,1
М-21	422,5*	37,7	41,7	Бонус	422,0	–	40,8
М-22	412,0*	34,3	43,1	М-67	464,7	10,1	43,9*
М-25	418,2*	36,3	43,1	М-68	417,5	-1,1	44,1*
М-26	425,0*	38,5	42,3	М-69	508,3*	20,5	43,8*
М-27	386,0*	25,8	47,1*	Фокус	307,0	–	42,0
М-28	453,5*	47,8	43,8	М-80	315,8	2,9	42,4
Дар	284,5	–	42,0	М-84	458,3*	49,3	44,4*
М-30	331,0*	16,3	41,0	М-86	354,7*	15,5	43,6*
М-34	375,0*	31,8	40,9	М-87	404,0*	31,6	43,0*
М-37	361,2*	27,0	42,6*	М-90	449,0*	46,3	43,1*

\* – достоверно на 95 % уровне значимости.

Биохимический анализ масла мутантов выявил формы с изменённым содержанием олеиновой кислоты от 15,4 % до 25,46 %, линоленовой кислоты от 43,43 % до 61,69 %. Соотношение  $\omega 6/\omega 3$  в масле в значительной степени варьировало (от 0,19 до 0,67). Для показателей содержания масла и уровня пальмитиновой кислоты коэффициент вариации составил менее 10 %, что свидетельствует о слабой вариабельности данных признаков, а для линолевой кислоты коэффициент вариации превышал 30 %, что демонстрирует значительную изменчивость ее уровня у мутантных линий и говорит о возможности отбора по этому признаку.

Для установления изменений в геноме и определения степени гетерогенности генетического материала мутантных растений был использован метод анализа полиморфизма микросателлитных локусов, который позволил получить воспроизводимые, информативные профили фрагментов генома. Наибольший полиморфизм отмечали для М-20, полученного на основе сорта Илим, у которого полиморфными являлось пять микросателлитных локусов. Наименьший полиморфизм – по одному SSR-локусу – отмечен для образцов М-25, М-81.

На основе комплексного изучения фенотипических, морфологических, физиологических, биохимических и др. показателей у мутантных растений льна масличного разработана последовательность их изучения и использования в селекции: 1) определение оптимальной концентрации мутагена (определение всхожести, выживаемости, сохранности к уборке); 2) зависимость мутагенного эффекта от концентрации мутагена (определение частоты и спектра мутаций); 3) оценка критериев чувствительности растений к мутагену (определение летально-стимуляционного эффекта); 4) оценка фенотипической и генотипической изменчивости растений (описание фенотипа растений, определение морфологических параметров); 5) изучение генетической природы мутантов (установление характера наследования изменённых признаков в результате гибридизации (анализирующее и реципрокные скрещивания). Выявления изменений в геномах с использованием SSR-анализа); 6) изучение биохимических показателей мутантных линий (определение содержания масла, содержания белка, жирнокислотного состава масла, электрофоретический анализ спектра запасных белков); 7) оценка мутантных линий на устойчивость к абиотическим стрессорам (засухоустойчивость, холодоустойчивость, иммунитет к болезням; определение содержания хлорофиллов а и b, каротиноидов; оценка биомассы надземной и корневой частей растений, площади и индекса листовой поверхности, чистой продуктивности фотосинтеза; определение высоты растений, продолжительности периода вегетации, длины корневой системы при прорастании семян); 8) использование мутантных

линий в селекции льна масличного (в качестве нового сорта; в качестве донора при гибридизации; в качестве исходного материала для практической селекции).

### **Заключение**

Результаты исследований показали, что обработка семян НЭМ и НММ перспективны для индуцирования полезных мутаций и расширения генетического разнообразия у льна масличного. Вследствие обработки семян получены мутации с нарушением синтеза хлорофилла, мутации окраски лепестков венчика и пыльников; формы и размера венчика; структуры стебля, листьев и корня; физиологических изменений роста и развития; окраски семян; стерильности. Выделены мутантные линии с одним или комплексом хозяйственно ценных признаков. Полученные мутантные линии являются перспективным селекционным и исходным материалом.

На основе комплексного изучения фенотипических, морфологических, физиологических, биохимических и др. показателей мутантных растений льна масличного разработана последовательность их изучения и использования в селекции.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Кротова, Л. А. Химический мутагенез как метод создания исходного материала для селекции мягкой пшеницы [Электронный ресурс] / Л. А. Кротова // Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ. – 2015. – №2(2) июль-сентябрь. – URL: <http://ejournal.omgau.ru/index.php/2015-god/2/19-statya-2015-2/145-00034> (дата обращения: 29.12.2025).

2. Тагиев, А. А. Химический мутагенез и создание исходного материала в селекции хлопчатника / А. А. Тагиев // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2014. – № (2). – С. 70–75.

3. Хазиева, Ф. М. Влияние химических мутагенов на биоморфологические и цитогенетические изменения *Calendula officinalis* L. / Ф. М. Хазиева, Н. Ю. Свистунова, Т. Е. Саматадзе // Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии, сер. Защита и биотехнология растений. – 2016. – № 8. – С. 37–43.

4. Raina, A. Legume breeding in transition: innovation and outlook [Electronic resource] / A. Raina [et al.] // *Sec. Genomics of Plants and the Phytoecosystem*. 2023, Vol. 14, 3 p. – Mode of access: <https://www.frontiersin.org/journals/genetics/articles/10.3389/fgene.2023.1221551/full>. – Date of access: 26.12.2025.

5. Щербань, А. Б. Модификация геномов растений: от индуцированного мутагенеза до геномного редактирования / А. Б. Щербань // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2022. – №26(7). – С. 684–696.

6. Батюков, Д. А. Спектр и частота индуцированных мутаций льна масличного в поколении M<sub>2</sub> / Д. А. Батюков, Е. Л. Андроник, Е. В. Иванова // Вестник БГСХА. – 2024. – № 2. – С. 38–42.

7. Батюков, Д. А. Содержание масла и жирнокислотный состав индуцированных мутантов льна масличного в питомнике M<sub>3</sub> / Д. А. Батюков // Технологическое обеспечение и экономическая целесообразность использования новых сортов сельскохозяйственных культур: материалы Междунар. Науч.-практ. конф., посвящ. 300-летию РАН, г. Орел, 12 дек. 2024 г. / ФГБНУ ФНЦ ЗБК; редкол. В. А. Стебаков [и др.]. – Орел, 2025. – С. 9–11.

8. Андроник, Е. Л. Использование индуцированных мутантов в гибридизации как способ повышения результативности мутационной селекции льна масличного / Е. Л. Андроник, Е. В. Иванова, Д. А. Батюков // Достижения ученых в реализации научных исследований в агропромышленном комплексе : материалы III Междунар. науч.-практ. конф. г. Новочеркасск, 22-23 окт. 2025 г. / ф-л ФГБНУ ФРАНЦ ; редкол.: Новочеркасск, 2025. – С. 12–21.

9. Возделывание льна масличного: отраслевой регламент / В. А. Прудников [и др.] // Организационно-технологические нормативы возделывания зерновых, зернобобовых, крупяных культур, технических и кормовых растений: сб. отрасл. регл. / РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию»; рук. разработ.: Ф. И. Привалов [и др.]. – Минск: ИВЦ Минфина, 2022. – 530 с.

10. Батюков, Д. А. Изменение вегетационного периода под действием химических мутагенов у льна масличного / Д. А. Батюков // Актуальные вопросы биологии, селекции, технологии возделывания и переработки сельскохозяйственных культур: материалы 13 Междунар. конф. молодых учёных и специалистов, г. Краснодар, 4-6 марта 2025 г. / ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК. – Краснодар, 2025. – С. 17–21.

## КОЭФФИЦИЕНТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫМИ КУЛЬТУРАМИ АЗОТА УДОБРЕНИЙ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ (РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ С ИЗОТОПОМ $^{15}\text{N}$ )

**Н. Н. ЦЫБУЛЬКО**

УО «Международный государственный экологический институт им. А. Д. Сахарова»  
Белорусского государственного университета,  
г. Минск, Республика Беларусь, 220070, e-mail: nik.nik1966@tut.by

(Поступила в редакцию 16.01.2026)

*Обобщены многолетние данные, полученные в исследованиях с применением метода изотопной индикации  $^{15}\text{N}$ , по коэффициентам использования азота удобрений сельскохозяйственными культурами (озимая рожь, озимая и яровая пшеница, яровой ячмень, горох с овсом на зерно, яровой рапс) на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах разной степени эродированности и дерново-подзолистых автоморфных и глееватых супесчаных почвах в зависимости от доз, сроков внесения и форм азотных удобрений.*

*Коэффициент использования азота удобрений разными сельскохозяйственными культурами на дерново-подзолистых почвах изменяется в широких пределах – от 23 до 56% и составляет в среднем около 40%. Он зависит уровня плодородия почв, доз, сроков внесения и форм азотных удобрений, возделываемой культуры. Дробное применение азота способствует увеличению коэффициента его использования, а при увеличении дозы азотных удобрений наблюдается его снижение.*

*Реальные значения коэффициентов использования азота удобрений можно получить при использовании метода изотопной индикации  $^{15}\text{N}$ . Разностный метод определения коэффициентов использования приводит к их завышению на 12–71%. Обусловлено это тем, что при внесении азотных удобрений происходит дополнительное использование (мобилизация) растениями минеральных соединений азота почвы, создавая в результате эффект кажущегося увеличения коэффициентов использования азота вносимых удобрений.*

**Ключевые слова:** азот, удобрения, изотоп  $^{15}\text{N}$ , коэффициент использования, сельскохозяйственные культуры, дерново-подзолистые почвы.

*This paper summarizes long-term data obtained in studies using the  $^{15}\text{N}$  isotopic tracer method on the use coefficients of fertilizer nitrogen by agricultural crops (winter rye, winter and spring wheat, spring barley, peas with oats for grain, and spring rape) on sod-podzolic light loamy soils with varying degrees of erosion and sod-podzolic automorphic and gleyic sandy loam soils depending on the doses, timing of application, and forms of nitrogen fertilizers.*

*The utilization rate of fertilizer nitrogen by different agricultural crops on sod-podzolic soils varies widely, from 23 to 56%, averaging approximately 40%. It depends on soil fertility, the dose, timing, and form of nitrogen fertilizers, and the crop being cultivated. Split nitrogen application increases the utilization rate, while increasing the dose of nitrogen fertilizers leads to a decrease.*

*Actual nitrogen utilization rates can be obtained using the  $^{15}\text{N}$  isotope labeling method. The difference method for determining utilization rates overestimates them by 12–71%. This is because the application of nitrogen fertilizers results in additional utilization (mobilization) of mineral nitrogen compounds in the soil by plants, creating a perceived increase in the applied fertilizers nitrogen utilization rates.*

**Key words:** nitrogen, fertilizers,  $^{15}\text{N}$  isotope, utilization rate, agricultural crops, sod-podzolic soils.

### **Введение**

Опубликованные статистические данные свидетельствуют, что за последние 40 лет на долю минеральных удобрений приходилось 40% прироста производства продовольствия в мире [1]. Из минеральных удобрений в наибольших объемах применяются азотные удобрения, поскольку практически во всех почвах азот является одним из лимитирующих элементов минерального питания растений, определяющих продуктивность основных сельскохозяйственных культур. Так, по данным ФАО, потребление минеральных удобрений (NPK) в 2021–2022 годах составило 198,2 млн т, в том числе азотных удобрений – 111,3 млн т, или 56% [2].

В Беларуси по расчетам общая потребность в азотных удобрениях на 2021–2025 годы составляла 3353,0 тыс. т действующего вещества, или 670,6 тыс. тонн в год [3].

Азотные удобрения, обеспечивая продовольственную безопасность, могут оказывать при этом негативное воздействие на окружающую среду. В глобальном масштабе азот удобрений является крупнейшим источником закиси азота ( $\text{N}_2\text{O}$ ), имеющей мощный (~ 300-кратный) потенциал глобального потепления по сравнению с диоксидом углерода и являющейся долгоживущим парниковым газом [4], концентрация которого в атмосфере увеличилась на 0,8 части на миллиард (ppb) в год от 300 ppb в 1980 г. до 332 ppb в 2020 г. [5].

В продукционном процессе сельскохозяйственных культур непосредственное участие принимают азот почвы и азот удобрения. При систематическом недостаточном применении азотных удобрений по экономическим причинам, или в органическом земледелии, растения потребляют азот из почвенного органического вещества, приводя к резкому снижению его запасов и соответственно

плодородия почвы. Поэтому стратегия и практика оптимизации азотного питания растений, обеспечивая получение высокой и устойчивой урожайности, должна способствовать повышению эффективности использования азота при сохранении и повышении органического вещества в почве.

В силу различных причин внесенные в почву азотные удобрения, не могут быть полностью использованы растениями и, как следствие, остатки удобрений могут приводить к загрязнению окружающей среды.

Эффективность использования азота (ЭИА, или в англоязычной литературе – Nitrogen Use Efficiency – NUE) – обобщающий термин для агрономической и физиологической оценок использования его в агроэкосистемах [6].

Интенсивность поглощения и включения азота в продукционный процесс определяется совокупностью процессов трансформации азота в почве, биологическими особенностями сельскохозяйственных культур и физиологическими процессами, происходящими в растении. Наибольшая эффективность использования азота достигается тогда, когда доступность его в почве синхронизирована с потреблением растениями [7, 8]. Асинхронность между тем, когда азот доступен и когда он необходим является одной из причин низкой величины ЭИА и его потерь [9, 10].

В научной литературе встречается ряд методов оценки эффективности использования азота [7]. В отечественной агрохимической науке и практике в системе критериев, определяющих агрономическую эффективность применения азотных удобрений, используется величина потребления азота, которая выражается в абсолютных значениях на единицу площади или продукции, а также коэффициент использования растениями азота удобрений ( $KI_N$ ).

В практике мирового земледелия в течение с 1970 по 2010 г. величина  $KI_N$  для основных культур колебалась в среднем от 30 до 50 % [7, 11–16]. Средняя мировая величина  $KI_N$  для различных почвенных, природно-климатических условий и сельскохозяйственных культур составляет по оценкам 42 % [17]. Так, в Китае коэффициент использования азота удобрений для риса, пшеницы и кукурузы составляет только 26–28 %, для овощных культур – менее 20 %. Потери азота в окружающую среду достигают более 50 % в виде растворимых соединений ( $NO$ ) и газообразных форм (преимущественно  $N_2$ ,  $N_2O$ ) [18].

В Беларуси по результатам многолетних исследований с применением метода изотопной индикации  $^{15}N$ , проведенных на дерново-подзолистых почвах разного гранулометрического состава, установлено, что коэффициент использования азота удобрений в среднем по всем культурам севооборота колеблется в пределах 44–49 % – на суглинистых почвах, 38–43 % – на супесчаных почвах и 33–36 % – на песчаных почвах. Более высокие показатели характерны для хорошо окультуренных почв. Низкий коэффициент использования азота удобрений установлен при выращивании картофеля на песчаных почвах низкого уровня плодородия – 24–26 %. При неблагоприятных гидротермических условиях вегетационного периода коэффициент использования азота удобрений может снижаться в 1,5 раз и более [19, 20].

Широкая вариабельность  $KI_N$  свидетельствует, с одной стороны, о существенной зависимости величины использования растениями азота удобрений от совокупности складывающихся условий питания растений, а с другой стороны, указывает на наличие большого числа приемов, с помощью которых можно повысить его величину.

Коэффициент использования растениями азота удобрений определяется преимущественно разностным методом, который представляет собой выраженное в процентах отношение потребления азота в вариантах с внесением азотных удобрений к потреблению его на контроле или фосфорно-калийном фоне. Применение в агрохимических исследованиях метода изотопной индикации позволило определять  $KI_N$  с использованием стабильного изотопа  $^{15}N$ .

Коэффициенты использования азота удобрений при разностном способе их расчета, как правило, выше, чем при изотопном определении. Основная погрешность разностного метода определения коэффициента использования азота заключается в учете «экстра»-азота [21, 22].

Отмечается, что в некоторых полевых и микрополевых опытах получены разностные  $KI_N$ , превышающие 100 %, что не имеет реального логического смысла. Погрешность значительно возрастает, если  $KI_N$  в опытах с полным минеральным удобрением рассчитывается по отношению к варианту без удобрений, а не к РК-фону [23].

Цель работы – обобщение многолетних данных по коэффициентам использования азота удобрений сельскохозяйственными культурами на дерново-подзолистых почвах на основе метода изотопной индикации  $^{15}N$ , сравнительная оценка коэффициентов использования азота, рассчитанных разностным и изотопным методами.

## Основная часть

Объектами исследований являлись дерново-подзолистые легкосуглинистые неэродированные, средне- и сильноэродированные почвы на лессовидных суглинках, дерново-подзолистые автоморфные и глееватые супесчаные почвы на водно-ледниковых рыхлых супесях. Исследования проводили в микрополевых опытах. Площадь микроделянок опытов 1 м<sup>2</sup>. Повторность в опытах 4-кратная. Минеральные удобрения вносили из расчета г/м<sup>2</sup> действующего вещества.

В опыте 1 на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве изучали дозы и сроки применения азотных удобрений под озимую рожь. Азотные удобрения применяли в виде меченого <sup>15</sup>N раствора аммиачной селитры (<sup>15</sup>NH<sub>4</sub><sup>15</sup>NO<sub>3</sub>) со степенью обогащения изотопом <sup>15</sup>N 20 атомных %.

В опыте 2 на дерново-подзолистой супесчаной почве изучали дозы и сроки внесения азотных удобрений под озимую рожь и ячмень. Азотные удобрения применяли в виде меченого <sup>15</sup>N раствора карбамида (CO(<sup>15</sup>NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>) с обогащением изотопом <sup>15</sup>N 15 атомных %.

В опыте 3 на дерново-подзолистых автоморфной и глееватой супесчаных почвах изучали разные формы азотных удобрений при возделывании яровой пшеницы и гороха с овсом на зерно. Разные формы азотных удобрений вносили перед посевом в виде меченых <sup>15</sup>N их растворов со степенью изотопного обогащения 15 атомных %.

В опыте 4 на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах разной эродированности изучали дифференцированные дозы азотных удобрений при возделывании озимой пшеницы и ярового рапса: Азотные удобрения применяли в виде меченого <sup>15</sup>N раствора карбамида (CO(<sup>15</sup>NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>) со степенью обогащения изотопом <sup>15</sup>N 15 атомных %.

Анализ растительных образцов на содержание общего азота проводили по Кьельдалю-Иодльбауэру после их мокрого озольения [24]. Изотопный состав азота в разные годы определяли на масс-спектрометрах МИ-2101В и «Thermo Finnigan MAT Delta plus Advantage».

Исследования с применением изотопа <sup>15</sup>N позволили установить коэффициенты использования растениями азота удобрений, которые зависели от почвенных условий, биологических особенностей сельскохозяйственных культур, доз, сроков применения и форм азотных удобрений.

На дерново-подзолистой легкосуглинистой почве коэффициент использования азота озимой рожью при внесении N<sub>9</sub> (из расчета 90 кг/га) во время возобновления весенней вегетации растений составил 52 %. Дробное применение такой же дозы азота повышало КИ<sub>N</sub> на 6–10 % (варианты 3 и 4). Коэффициент использования азота при внесении в два приема N<sub>12</sub> (N<sub>9</sub> – во время возобновления весенней вегетации + N<sub>3</sub> – в фазу колошения) составил 53 % (табл. 1).

Коэффициенты использования азота удобрений озимой рожью на легкосуглинистой почве, рассчитанные разностным методом, были выше по сравнению с изотопным методом на 22–27 % (в среднем на 23 %). Это обусловлено дополнительной мобилизацией почвенного азота при внесении азотных удобрений.

Таблица 1. Влияние доз и сроков внесения азотных удобрений на коэффициенты использования азота (в %) зерновыми культурами

Вариант опыта	Поглощено растениями азота, г/м <sup>2</sup>		КИ <sub>N</sub> , рассчитанные:		
	всего	в т. ч. из удобрения	разностным методом	изотопным методом	различия, %
Озимая рожь, дерново-подзолистая легкосуглинистая почва (опыт 1)					
1. P <sub>8</sub> K <sub>12</sub> – фон	6,96	–	–	–	–
2. Фон + N <sub>9</sub> *	14,05	4,68	79	52	27
3. Фон + N <sub>6</sub> * + N <sub>3</sub> **	14,64	5,55	85	62	23
4. Фон + N <sub>6</sub> * + N <sub>3</sub> ***	14,14	5,21	80	58	22
5. Фон + N <sub>9</sub> * + N <sub>3</sub> ****	16,02	6,36	75	53	22
HCP <sub>0,95</sub>	1,30	–	–	–	–
Озимая рожь, дерново-подзолистая супесчаная почва (опыт 2)					
1. P <sub>6</sub> K <sub>12</sub> – фон	10,36	–	–	–	–
2. Фон + N <sub>6</sub> *	15,91	2,44	92	41	51
3. Фон + N <sub>9</sub> *	17,10	2,64	75	29	46
4. Фон + N <sub>6</sub> * + N <sub>3</sub> **	17,91	3,13	84	35	49
5. Фон + N <sub>9</sub> * + N <sub>3</sub> **	20,12	3,74	81	31	50
HCP <sub>05</sub>	1,38	–	–	–	–
Яровой ячмень, дерново-подзолистая супесчаная почва (опыт 2)					
1. P <sub>6</sub> K <sub>12</sub> – фон	8,77	–	–	–	–
2. Фон + N <sub>6</sub>	14,05	3,47	88	58	30
3. Фон + N <sub>9</sub>	16,18	4,71	82	52	30
4. Фон + N <sub>6</sub> + N <sub>3</sub> **	15,89	4,68	79	52	27
5. Фон + N <sub>9</sub> + N <sub>3</sub> **	16,70	5,72	66	47	19
HCP <sub>05</sub>	1,08	–	–	–	–

Примечание. Азотные удобрения вносили: N – до посева, N\* – возобновление весенней вегетации растений, N\*\* – фаза выхода в трубку растений, N\*\*\* – фаза раскрытия последнего листа (флаг-лист), N\*\*\*\* – фаза колошения.

На дерново-подзолистой супесчаной почве по сравнению с легкосуглинистой почвой коэффициенты использования азота растениями озимой ржи, рассчитанные изотопным методом, были значительно ниже – при одинаковых дозах и сроках применения азотных удобрений на 22–27 %. В варианте с внесением N<sub>6</sub> (из расчета 60 кг/га) во время возобновления весенней вегетации растений КИ<sub>N</sub> составил 41 %, а при увеличении дозы азота до N<sub>9</sub> снизился до 29 % (на 12 %). Дробное применение 9 г/м<sup>2</sup> азота повысило коэффициент его использования по сравнению с однократным на 6 %. Коэффициент использования азота при внесении N<sub>12</sub> в два приема (N<sub>9</sub> – при возобновлении весенней вегетации + N<sub>3</sub> – в фазу выхода в трубку растений) составил 31 %.

Коэффициенты использования азота растениями озимой ржи на супесчаной почве, полученные разностным методом, колебались в зависимости от доз и сроков внесения азотных удобрений от 75 до 92 %, что выше по сравнению с КИ<sub>N</sub>, рассчитанных изотопным методом, в 2,2–2,6 раза.

При возделывании ярового ячменя на дерново-подзолистой супесчаной почве значения коэффициентов использования азота колебались в зависимости от доз и сроков внесения азотных удобрений от 47 до 58 % при определении их изотопным методом и 66 до 88 % – расчете разностным методом. При увеличении дозы азота коэффициент использования его снижался.

Изучено влияние на использование азота предпосевного внесения разных форм азотных удобрений под яровую пшеницу и горох с овсом на зерно на дерново-подзолистых автоморфной и глееватой супесчаных почвах. Коэффициенты использования азота яровой пшеницей, полученные изотопным методом, колебались на автоморфной почве от 39 до 46 %, на глееватой почве – от 44 до 46 %. Самые низкие КИ<sub>N</sub> (39 % и 44 %) отмечены в вариантах с применением карбамида, а наиболее высокие (46 %) при внесении КАС (табл. 2).

Таблица 2. Коэффициенты использования азота (в %) яровой пшеницей и горохом в зависимости от форм азотных удобрений (опыт 3)

Вариант опыта	Поглощено растениями азота, г/м <sup>2</sup>		КИ <sub>N</sub> , рассчитанные:		
	всего	в т. ч. из удобрения	разностным методом	изотопным методом	различия, %
Яровая пшеница, дерново-подзолистая автоморфная супесчаная почва					
1. P <sub>9</sub> K <sub>15</sub> – фон	6,66	–	–	–	
2. Фон + N <sub>9</sub> к	11,56	3,56	54	39	15
3. Фон + N <sub>9</sub> а	12,40	4,12	64	46	18
4. Фон + N <sub>9</sub> аа	12,27	4,14	62	46	16
5. Фон + N <sub>9</sub> кас	12,34	4,19	63	46	17
HCP <sub>05</sub>	1,02	–	–	–	
Яровая пшеница, дерново-подзолистая глееватая супесчаная почва					
1. P <sub>9</sub> K <sub>15</sub> – фон	7,97	–	–	–	
2. Фон + N <sub>9</sub> к	16,19	4,00	91	44	47
3. Фон + N <sub>9</sub> а	16,21	4,08	91	45	46
4. Фон + N <sub>9</sub> аа	15,74	4,10	86	45	41
5. Фон + N <sub>9</sub> кас	16,43	4,16	94	46	48
HCP <sub>05</sub>	1,22	–	–	–	
Горох с овсом за зерно, дерново-подзолистая автоморфная супесчаная почва					
1. P <sub>6</sub> K <sub>15</sub> – фон	10,11	–	–	–	
2. Фон + N <sub>6</sub> к	17,62	1,71	125	29	96
3. Фон + N <sub>6</sub> а	16,32	1,32	103	22	81
4. Фон + N <sub>6</sub> аа	16,56	1,30	107	22	85
5. Фон + N <sub>6</sub> кас	17,17	1,19	118	20	98
HCP <sub>05</sub>	1,12	–	–	–	
Горох с овсом за зерно, дерново-подзолистая глееватая супесчаная почва					
1. P <sub>6</sub> K <sub>15</sub> – фон	10,84	–	–	–	
2. Фон + N <sub>6</sub> к	17,87	1,65	117	27	90
3. Фон + N <sub>6</sub> а	15,86	1,59	84	26	58
4. Фон + N <sub>6</sub> аа	16,44	1,55	93	26	67
5. Фон + N <sub>6</sub> кас	16,88	1,99	101	33	68
HCP <sub>05</sub>	1,24	–	–	–	

\*Примечание. Nк – карбамид; Na – сульфат аммония; Naa – селитра аммиачная; Nкас – раствор карбамида и аммиачной селитры.

При предпосевном внесении разных форм азотных удобрений в дозе N<sub>6</sub> (из расчета 60 кг/га) под горох с овсом на зерно коэффициенты использования азота составили на автоморфной супесчаной почве 20–29 %, на глееватой супесчаной почве – 26–33 %. На автоморфной почве наиболее высоким КИ<sub>N</sub> был в варианте с применением карбамида, на глееватой почве с применением КАС.

Следует отметить, что на бобово-злаковой смеси получены очень высокие  $KI_N$ , рассчитанные разностным методом, по ряду вариантов опыта превышающие 100 %. Причиной высоких коэффициентов использования азота является, во-первых, мобилизация «экстра»-азота, а во-вторых, фиксация атмосферного азота бобовым компонентом (горохом), которые учитываются при расчетах.

Изучено влияние азотных удобрений на использование азота удобрений растениями озимой пшеницы и ярового рапса на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах разной степени эродированности (неэродированные, среднеэродированные, сильноэродированные). На неэродированной и среднеэродированной почвах при двукратной азотной подкормке озимой пшеницы общей дозой  $N_{11}$  (из расчета 110 кг/га) в начале весенней вегетации ( $N_9$ ) и в фазу выхода в трубку растений ( $N_2$ ) коэффициенты использования азота составили 32 %, а на сильноэродированной почве несколько ниже – 25 % (табл. 3).

Таблица 3. Коэффициенты использования азота озимой пшеницей и яровым рапсом при внесении азотных удобрений на почвах разной эродированности (опыт 4)

Эродированность почвы	Вариант опыта	Поглощено растениями азота, г/м <sup>2</sup>		$KI_N$ , рассчитанные:		
		всего	в т. ч. из удобрения	разностным методом	изотопным методом	различия, %
Озимая пшеница						
Неэродированная	Р <sub>4</sub> К <sub>7</sub> - фон	8,84	–	–	–	–
	Фон + $N_9^* + N_2^{**}$	15,64	3,53	62	32	30
	НСП <sub>05</sub>	1,170	–	–	–	–
Среднеэродированная	Р <sub>4</sub> К <sub>7</sub> - фон	6,31	–	–	–	–
	Фон + $N_9^* + N_2^{**}$	12,36	3,50	55	32	23
	НСП <sub>05</sub>	1,042	–	–	–	–
Сильноэродированная	Р <sub>4</sub> К <sub>7</sub> - фон	5,47	–	–	–	–
	Фон + $N_9^* + N_2^{**}$	10,27	2,75	44	25	19
	НСП <sub>05</sub>	0,964	–	–	–	–
Яровой рапс						
Неэродированная	Р <sub>3</sub> К <sub>6</sub> – фон	7,90	–	–	–	–
	Фон + $N_9 + N_2^*$	15,67	4,49	71	41	30
	НСП <sub>05</sub>	1,354	–	–	–	–
Среднеэродированная	Р <sub>3</sub> К <sub>6</sub> – фон	6,45	–	–	–	–
	Фон – $N_9 + N_2^*$	12,38	4,50	57	41	16
	НСП <sub>05</sub>	1,162	–	–	–	–
Сильноэродированная	Р <sub>3</sub> К <sub>6</sub> – фон	5,20	–	–	–	–
	Фон – $N_9 + N_2^*$	10,53	4,50	48	41	7
	НСП <sub>05</sub>	0,904	–	–	–	–

Примечание. Азотные удобрения вносили: N – перед посевом ярового рапса,  $N^*$  – возобновление весенней вегетации растений озимой пшеницы и фаза стеблевания растений ярового рапса,  $N^{**}$  – фаза выхода в трубку растений озимой пшеницы.

При применении азотных удобрений под яровой рапс ( $N_9$  – перед посевом и  $N_2$  – в фазу стеблевания растений) коэффициенты использования азота, полученные изотопным методом, не зависели от степени эродированности почвы и составили 41 %.

Как видно из полученных результатов,  $KI_N$ , рассчитанные разностным методом, снижаются по мере увеличения эродированности почвы как на озимой пшенице, так и на яровом рапсе. Данный факт объясняется тем, что на средне- и, особенно, на сильноэродированных почвах запасы минеральных (доступных растениям) соединений азота значительно ниже по сравнению с почвами, не подверженными эрозии. С увеличением эродированности почв уменьшается пул мобилизуемого почвенного азота («экстра»-азота) за вегетационный период.

### Заключение

Коэффициент использования азота удобрений разными сельскохозяйственными культурами на дерново-подзолистых почвах изменяются в широких пределах – от 23 до 56 % и составляет в среднем около 40 %. Он зависит уровня плодородия почв, доз, сроков внесения и форм азотных удобрений, возделываемой культуры. Дробное применение азота способствует увеличению коэффициента его использования, а при увеличении дозы азотных удобрений наблюдается снижение.

Реальные значения коэффициентов использования азота удобрений можно получить при использовании метода изотопной индикации <sup>15</sup>N. Разностный метод определения приводит к их завышению на 12–71 %. При внесении азотных удобрений происходит дополнительное использование растениями минерального азота почвы, что дает эффект кажущегося увеличения коэффициентов использования азота удобрений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Save and Grow // A policymaker's guide to the sustainable intensification of smallholder crop production. Rome: FAO, 2011. – 116 p.
2. International Fertilizers Association (IFA) <https://www.fertilizer.org/>.
3. Комплекс мероприятий по повышению плодородия и защите от деградации почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь на 2021–2025 годы / В.В. Лапа [и др.]; под ред. В. В. Лапа, Н. Н. Цыбулько; Национальная академия наук Беларуси, Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, Институт почвоведения и агрохимии. – Минск: ИВЦ Минфина, 2021. – 148 с.
4. Winiwarter W., Höglund-Isaksson L., Klimont Z., Schöpp W., Amann M. Technical opportunities to reduce global anthropogenic emissions of nitrous oxide // *Environ. Res. Lett.* 2018. V. 13:014011. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa9ec9>.
5. Башкин, В. Н. Повышение эффективности использования азота: проблемы и пути решения. Сообщение 1. Агрогеохимические подходы // *Агрохимия*. – 2022 – № 7. – С. 82–96.
6. Udvardi M., Below F. E., Castellano M. J., Eagle A. J., Giller K. E., Ladha J. K., Liu X., Maaz T. M., Nova-Franco B., Raghuram N., Robertson G.P., Roy S., Saha M., Schmidt S., Tegeder M., York L.M. and Peters J.W. A Research road map for responsible use of agricultural nitrogen // *Front. Sustain. Food Syst.* 2021. V. 5:660155. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.660155>.
7. Ladha J. K., Pathak H., Krupnik T. J., Six J., van Kessel C. V. Efficiency of fertilizer nitrogen in cereal production: retrospects and prospects // *Adv. Agron.* 2005. – V. 87. – P. 85–156. [https://doi.org/10.1016/s0065-2113\(05\)87003-8](https://doi.org/10.1016/s0065-2113(05)87003-8)
8. Robertson G. P. Nitrogen use efficiency in row crop agriculture: crop nitrogen use and soil nitrogen loss // *Ecology in Agriculture* / Ed. L.E. Jackson. N.Y., USA: Academic Press, 1997. P. 347–365.
9. Smith J., Yeluripati J., Smith P., Nayak D. Potential yield challenges to scale-up of zero budget natural farming // *Nat. Sustain.* 2020. V. 3. P. 247–252. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0469-x>
10. Robertson G. P., Vitousek P. M. Nitrogen in agriculture: Balancing the cost of an essential resource // *Annu. Rev. Environ. Resour.* – 2009. – V. 34. – P. 97–125. <https://doi.org/10.1146/annurev.enviro.032108.105046>
11. Кудеяров, В. Н. Агрогеохимические циклы углерода и азота в современном земледелии России / В. Н. Кудеяров // *Агрохимия*. – 2019. – № 12. – С. 3–15.
12. Smil V. Nitrogen and food production: Proteins for human diets // *Ambio* 2002. V. 31. P. 126–131. <https://doi.org/10.1579/0044-7447-31.2.126>
13. Лукин, С. В. Агроэкологическое состояние и продуктивность почв Белгородской области / С. В. Лукин. – Белгород, 2016. 344 с.
14. Tilman D., Cassman K. G., Matson P. A., Naylor R., Polasky S. Agricultural sustainability and intensive production practices // *Nature*. 2002. V. 418. P. 671–677. <https://doi.org/10.1038/nature01014>
15. Liu J., You L., Amini M., Obersteiner M., Herrero M., Zehnder A.J. A high-resolution assessment on global nitrogen flows in cropland // *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 2010. V. 107. P. 8035–8040. <https://doi.org/10.1073/pnas.0913658107>
16. Robinson N., Brackin R., Vinall K., Soper F., Holst J., Gamage H. Nitrate paradigm does not hold up for sugarcane // *PLoS ONE*. 2011. 6: e19045. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0019045>
17. Zhang X., Davidson E.A., Mauzerall D.L., Searchinger T.D., Dumas P., Shen Y. Managing nitrogen for sustainable development // *Nature*. 2015. V. 528. P. 51–59. <https://doi.org/10.1038/nature15743>
18. Miao Y., Stewart B.A., Zhang F. Long-term experiments for sustainable nutrient management in China. A review // *Agronomy for Sustainable Development*. Springer Verlag/EDP Sciences/INRA, 2011. V. 31. P. 397–414. <https://doi.org/10.1051/agro/2010034>
19. Семенов, Н. Н. Адаптивные системы применения азотных удобрений / Н. Н. Семенов. – Минск: БИТ «Хата», 2003. – 164 с.
20. Семенов, Н. Н. Инновационные технологии применения азотных удобрений: теория, методология, практика / Н. Н. Семенов. – Минск: ООО «Альфа-книга», 2020. – 320 с.
21. Цыбулько, Н. Н. «Экстра»-азот почвы в питании растений (результаты исследований с  $^{15}\text{N}$ ) / Н. Н. Цыбулько // *Земледелие и растениеводство*. – 2024. – № 4 (154). – С. 39–47.
22. Цыбулько, Н. Н. «Экстра»-азот в формировании урожайности сельскохозяйственных культур (результаты исследований с  $^{15}\text{N}$ ) / Н. Н. Цыбулько // *Земледелие и растениеводство*. – 2025. – № 2 (156). – С. 16–21.
23. Завалин, А. А. Коэффициент использования растениями азота удобрений и его регулирование / А. А. Завалин, О. А. Соколов // *Международный сельскохозяйственный журнал*. – 2019. – № 4 (370). – С. 71–75.
24. Почвы. Методы определения общего азота: ГОСТ 26107-84. – Введ. 07.01.85. – Минск: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1985. – 6 с.

## КОЛЛЕКЦИЯ МУТАНТОВ ЛЬНА МАСЛИЧНОГО

Е. Л. АНДРОНИК, Е. В. ИВАНОВА, Д. А. БАТЮКОВ

РУП «Институт льна»,  
аг. Устье, Республика Беларусь, 211003, e-mail: andronik11@rambler.ru

(Поступила в редакцию 20.01.2026)

*В статье представлен опыт формирования коллекции мутантов льна масличного в РУП «Институт льна», состоящей из 27 паспортизованных и описанных по фенотипу и селекционно ценным признакам генотипов, представляющих практическую и селекционную ценность в качестве исходного и селекционного материала для создания отечественных конкурентоспособных сортов культуры, а также научных исследований.*

*Среди мутантов коллекции имеются формы с маркерными признаками: крупным (более 20 мм) и мелким (менее 15 мм) венчиком; генотипы с длительным периодом цветения; светло-коричневым цветом семян; розовоцветковые, белоцветковые и голубоцветковые формы; мутанты со звездчатой формой венчика; гофрированным краем лепестка, зигзагообразным стеблем и др. В коллекцию включены также раннеспелые и позднеспелые мутантные линии, высокорослые (с высотой растений до 130 см) и низкорослые (до 45 см); превышающие по продуктивности семян исходные формы на 20 % и более; по содержанию масла на 2 % и более; с высоким содержанием сырого протеина; массой 1000 семян более 7,5 г; изменённым жирнокислотным составом масла.*

*Двенадцать мутантных форм, обладающих двумя и более маркерными и селекционно ценными признаками, переданы в Белорусский генетический банк (г. Жодино) для долгосрочного хранения. Это позволит увеличить и сохранить фенотипическое разнообразие полученных в результате исследований мутантов для использования в фундаментальных исследованиях и изучения генетических механизмов проявления селекционных признаков.*

**Ключевые слова:** коллекция, мутант, лен масличный, химический мутагенез, маркерный признак, хозяйственно ценные признаки.

*This article presents the experience of forming a collection of oil flax mutants at the RUE "Flax Institute", consisting of 27 genotypes, certified and described by phenotype and breeding valuable traits, representing practical and breeding value as source and breeding material for the development of domestic competitive crop varieties, as well as for scientific research.*

*The collection of mutants includes forms with marker traits: large (over 20 mm) and small (less than 15 mm) corollas; genotypes with a long flowering period; light brown seed color; pink-flowered, white-flowered, and blue-flowered forms; mutants with a stellate corolla shape; corrugated petal edges, zigzag stems, etc. The collection also includes early- and late-ripening mutant lines, tall (with plant heights up to 130 cm) and dwarf (up to 45 cm); exceeding the original forms in seed productivity by 20 % or more; in oil content by 2 % or more; with a high crude protein content; a 1000-seed weight of over 7.5 g; and a modified fatty acid composition of the oil.*

*Twelve mutant forms, possessing two or more marker and breeding-valuable traits, have been transferred to the Belarusian Gene Bank (Zhodino) for long-term storage. This will increase and preserve the phenotypic diversity of the mutants obtained as a result of research for use in fundamental research and the study of the genetic mechanisms underlying the expression of breeding traits.*

**Key words:** collection, mutant, oil flax, chemical mutagenesis, marker trait, economically valuable traits.

### Введение

Открытие экспериментального мутагенеза в начале двадцатого века стало одним из самых значимых достижений в истории селекции и генетики [1]. За более чем 80-летнюю историю использования мутагенеза появилось множество новых и ценных изменений в признаках сельскохозяйственных растений, в том числе и льна масличного. Получение новых сортов с улучшенными характеристиками, адаптированных к неблагоприятным климатическим факторам в настоящее время весьма актуально [2].

В результате реализации заданий ГПНИ (ГР №20221749 и ГР № 20250974) в РУП «Институт льна» созданы и изучены мутантные линии льна масличного, значительная часть которых вовлечена в селекционную работу в качестве источников и маркеров. Наряду с качественными признаками, которые контролируются в большинстве случаев моногенно [3, с. 1372], созданные мутантные линии льна масличного обладают и хозяйственно ценными признаками и в этом случае приобретают уже практическое значение [4].

Результаты, полученные в селекции льна масличного с использованием коллекционного материала [5], неопровержимо доказывают большую ценность генофонда культуры, востребованность которого для использования в селекционных программах по созданию конкурентоспособных отечественных сортов во многом зависит от доступности описательных данных и хозяйственно ценных характеристик включённых в него генотипов.

Поэтому целью исследований являлось описание коллекции мутантов льна масличного по комплексу селекционно ценных и фенотипических признаков для целей практической селекции.

## Основная часть

Объектом исследований служили 27 мутантных линий поколения М<sub>4</sub>. Предмет исследований – хозяйственно ценные и маркерные признаки мутантных образцов льна масличного. Закладку питомников мутантов и описание маркерных признаков проводили в соответствии с методическими указаниями [6] и классификатором льна [7]. Для оценки фенотипических свойств мутантов использовали методы анализа, синтеза, индукции и сравнения [8].

Коллекция мутантов представляет собой сосредоточение потенциала ценных признаков и генов для создания новых сортов на различной генетической основе и различного направления использования. Среди мутантов коллекции имеются формы с венчиком более 20 мм (М-2, М-10, М-27, М-43, М-44, М-86) и венчиком менее 15 мм (М-36, М-47, М-58, М-64, М-72), созревающие позднее (М-3, М-10, М-34, М-86, М-87) и раньше (М-17, М-20, М-28, М-30, М-36, М-39, М-44, М-69, М-72) исходной формы. Выделены мутантные генотипы с высотой растений от 60 см до 130 см (М-3) и низкорослые с высотой до 45 см (М-2, М-6, М-10, М-30).

Мутанты М-2, М-5, М-8, М-10, М-18, М-20, М-21, М-28, М-30, М-34, М-37, М-39, М-48, М-57, М-58, М-59, М-69, М-72, М-80, М-84, М-87, М-90) превосходили исходные формы по продуктивности семян на 20 % и более. Выделены формы превышающие исходный сорт по содержанию масла (М-17, М-27, М-28, М-59, М-67, М-68, М-69, М-72, М-84, М-87) и сырого протеина (М-2, М-3, М-30, М-34, М-39), с массой 1000 семян более 7,5 г (М-2, М-10, М-80).

У образца М-27 отмечено пониженное количество пальмитиновой кислоты в масле, у генотипов М-30а, М-34, М-37а, М-41, М-42 – содержание АЛК до 47 %, а у мутанта М-10 – высокая доля олеиновой кислоты.

Из раннеспелого сорта Altess выделена форма (М-6), у которой лепестки после цветения не опадали длительное время (до 17:00 ч), и форма М-20 – со светло-коричневым цветом семян; из сорта Дар – розовоцветковая линия М-41, из сорта Фокус – формы М-86 и М-87 со звездчатой формой венчика; а из сорта Илим – мутант М-28 с сильно гофрированным краем лепестка венчика.

Белоцветковые линии М-20, М-30, М-37, М-72а были обнаружены у сортов Altess, Илим и Бонус, а формы с кремовой окраской пыльника (М-17, М-20, М-41, М-80) – у сортов Илим, Дар и Фокус. Св. – светло-голубую окраску венчика имеют мутанты М-28, М-39, М-44, причем такая окраска венчика связана с хозяйственно ценным признаком – раннеспелостью. У мутантной линии М-44 из сорта Дар обнаружен зигзагообразный стебель.

Мутантные линии в количестве 12 штук, обладающие двумя и более наследуемыми маркерными признаками, рекомендованы для включения в селекционный процесс и переданы в Национальный Центр генетических ресурсов растений Беларуси (г. Жодино) для сохранения. Их описание приведено ниже (рисунок).

**М-2** создана путём обработки семян сорта Altess (мутаген – НЭМ, концентрация – 0,006 %, экспозиция – 6ч). Низкорослая линия (42,5 см) с крупными семядольными листьями, крупными венчиком и семенами (масса 1000 семян – 7,26 г), высоким содержанием стеариновой кислоты (5,8 %), АЛК (55,3 %) и сырого протеина (26,4 %). Период вегетации – 92,0 сут., продуктивность семян – 372,3г/м<sup>2</sup>; содержание масла – 35,4 %; доля линолевой кислоты – 11,1 %; олеиновой кислоты – 21,9 %. Точечность чашелистика отсутствует. Венчик в стадии бутона фиолетовый, при полном открытии синий (рис. 1а), складчатость лепестка отсутствует. Окраска тычиночной нити у вершины – фиолетовая, пыльника и пестика у основания – синяя. Имеется бахромчатость ложной перегородки коробочки, окраска семян коричневая. Устойчивость к полеганию – 5 баллов.

**М-3** создана путём обработки семян сорта Altess (НММ, 0,006 %, 6ч). Крупноцветковая линия с высоким содержанием АЛК (55,8 %) и сырого протеина (25,8 %). Период вегетации – 92,0 сут., высота – 50,6 см; продуктивность семян – 105,9 г/м<sup>2</sup>; устойчивость к полеганию – 5,0 балла; масса 1000 семян – 6,46 г; содержание масла – 37,5 %; доля стеариновой кислоты – 5,4 %, линолевой кислоты – 11,5 %; олеиновой кислоты – 21,5 %. Точечность чашелистика отсутствует. Окраска венчика в стадии бутона фиолетовая, при полном открытии светло-синяя, складчатость лепестка отсутствует. Окраска тычиночной нити у вершины фиолетовая, пыльника и пестика у основания – синяя. Имеется бахромчатость ложной перегородки коробочки, окраска семян коричневая. Устойчивость к полеганию – 5 баллов.

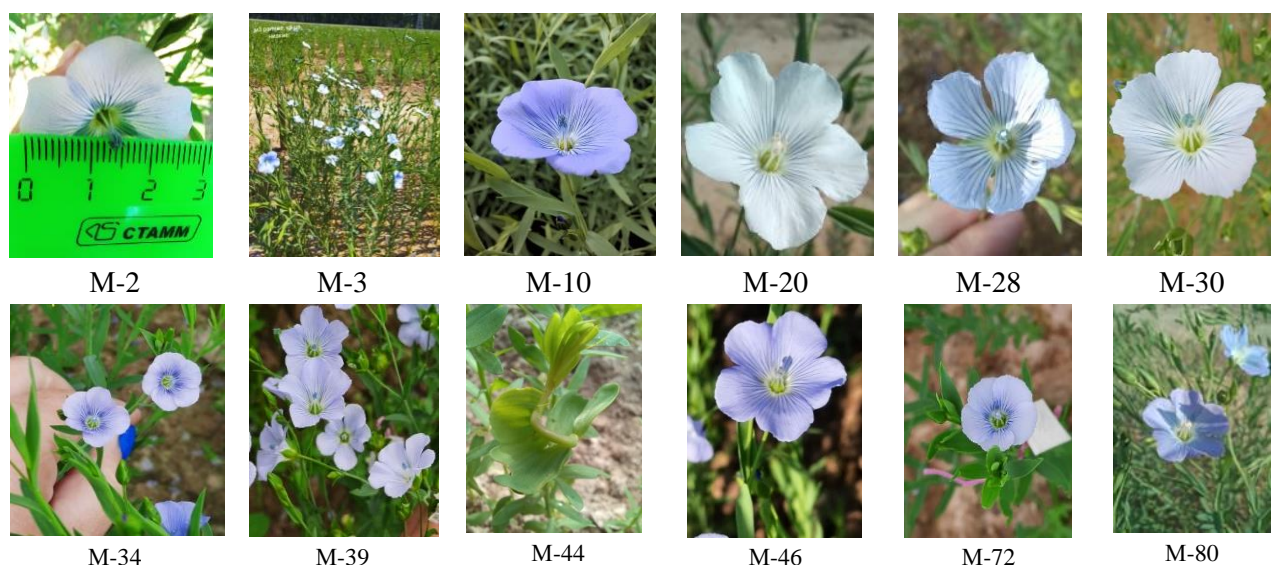


Рис. Отличительные маркерные признаки мутантов льна масличного

**М-10** создана путём обработки семян сорта Altess (НЭМ, 0,006 %, 18 ч). Низкорослая (46,3 см), позднеспелая (101,0 сут.), продуктивная (322,0 г/м<sup>2</sup>), крупноцветковая линия с высоким содержанием олеиновой (25,5 %) и низким – линолевой кислоты (11,3 %). Масса 1000 семян – 7,28 г; содержание масла – 38,7 %; содержание сырого протеина – 24,3 %; доля АЛК – 51,1 %; стеариновой кислоты – 5,7 %. Точечность чашелистика очень слабая. Окраска венчика в стадии бутона фиолетовая, при полном открытии синяя, складчатость лепестка отсутствует. Окраска тычиночной нити у вершины фиолетовая, пыльника и пестика у основания синяя. Имеется бахромчатость ложной перегородки коробочки, окраска семян коричневая. Устойчивость к полеганию – 5 баллов.

**М-20** создана путём обработки семян сорта Илим (НЭМ, 0,006%, 12 ч). Высокослая (62,5 см), раннеспелая (90,0 сут.), продуктивная (338,2 г/м<sup>2</sup>), высокомасличная (43,4 %) линия с высоким содержанием олеиновой (19,3 %) и низким (15,0 %) – линолевой кислоты. Масса 1000 семян – 6,08 г; содержание сырого протеина – 23,4 %; доля АЛК – 56,4 %; стеариновой кислоты – 4,0 %. Точечность чашелистика отсутствует. Окраска венчика в стадии бутона светло-голубая, при полном открытии белая с фиолетовыми прожилками от центра до середины лепестка, складчатость лепестка имеется. Окраска тычиночной нити у вершины белая, пыльник кремовый, пестик у основания белый. Имеется бахромчатость ложной перегородки коробочки, окраска семян светло-коричневая. Устойчивость к полеганию – 5 баллов.

**М-28** создана путём обработки семян сорта Илим (НММ, 0,025 %, 18 ч). Высокослая (56,7 см), позднеспелая (99,2 сут.), продуктивная (453,5 г/м<sup>2</sup>), высокомасличная (43,8 %) линия с высоким содержанием АЛК (58,6 %). Масса 1000 семян – 5,77 г; содержание сырого протеина – 23,9 %; доля стеариновой кислоты – 3,9 %, линолевой кислоты – 14,5 %; олеиновой кислоты – 17,6 %. Точечность чашелистика очень слабая. Окраска венчика в стадии бутона голубая, при полном открытии светло-голубая с синими прожилками от центра до края лепестка, складчатость лепестка имеется. Окраска тычиночной нити у вершины белая, пыльника и пестика у основания синяя. Имеется бахромчатость ложной перегородки коробочки, окраска семян светло-коричневая. Устойчивость к полеганию – 5 баллов.

**М-30** создана путём обработки семян сорта Дар (НЭМ, 0,006 %, 6 ч). Низкорослая (42,5 см), позднеспелая (98,0 сут.), продуктивная (331,0 г/м<sup>2</sup>) линия с пониженным содержанием АЛК (49,5 %). Масса 1000 семян – 5,06 г; содержание масла – 41,0 %; содержание сырого протеина – 25,9 %; доля стеариновой кислоты – 4,0 %, линолевой кислоты – 22,8 %; олеиновой кислоты – 17,7 %. Точечность чашелистика отсутствует. Окраска венчика в стадии бутона голубая, при полном открытии светло-голубая с синими прожилками от центра до края лепестка, складчатость лепестка имеется. Окраска тычиночной нити у вершины белая, пыльник серый, пестик у основания – белый. Бахромчатость ложной перегородки коробочки отсутствует, окраска семян коричневая. Устойчивость к полеганию – 4 балла.

**М-34** создана путём обработки семян сорта Дар (мутагеном НЭМ, 0,006 %, 12 ч). Низкорослая (47,9 см), позднеспелая (99,0 сут.), продуктивная (375,0 г/м<sup>2</sup>) линия с высоким содержанием сырого протеина (26,1 %) и пониженным содержанием АЛК (46,5 %). Масса 1000 семян – 6,35 г; содержание масла – 40,9 %; доля стеариновой кислоты – 4,4 %, линолевой кислоты – 25,3 %; олеиновой кислоты – 17,7 %. Точечность чашелистика отсутствует. Окраска венчика в стадии бутона фиолетовая, при полном открытии – синяя с яркими фиолетовыми прожилками до центра лепестка, складчатость лепестка отсутствует. Окраска тычиночной нити у вершины белая, пыльник синий, пестик у основания белый. Бахромчатость ложной перегородки коробочки отсутствует, окраска семян коричневая. Устойчивость к полеганию – 5 баллов.

**М-39** создана путём обработки семян сорта Дар (НММ, 0,025 %, 12 ч). Низкорослая (47,8 см), среднеспелая (94,2 сут.), продуктивная (265,7 г/м<sup>2</sup>) линия с высоким содержанием белка (26,1 %) и пониженным содержанием АЛК (48,2 %). Масса 1000 семян – 5,05 г; содержание масла – 40,0 %; доля стеариновой кислоты – 3,37 %, линолевой кислоты – 24,2 %; олеиновой кислоты – 18,0 %. Точечность чашелистика очень слабая. Окраска венчика в стадии бутона фиолетовая, при полном открытии – синяя, складчатость лепестка имеется. Окраска тычиночной нити у вершины белая, пыльник синий, пестик у основания – белый. Бахромчатость ложной перегородки коробочки отсутствует, окраска семян коричневая. Устойчивость к полеганию – 4,5 балла.

**М-44** создана путём обработки семян сорта Дар (НММ, 0,025 %, 18 ч). Крупноцветковая, позднеспелая (98,0 сут.), продуктивная (331,6 г/м<sup>2</sup>) линия с хлорофильными изменениями «золотистая верхушка» и «зигзагообразный стебель». Высота растений 51,4 см, масса 1000 семян – 5,27 г; содержание масла – 40,7 %; содержание белка – 24,9 %, доля АЛК – 47,1 %. стеариновой кислоты – 4,2 %, линолевой кислоты – 25,3 %; олеиновой кислоты – 17,4 %. Точечность чашелистика очень слабая. Окраска венчика в стадии бутона фиолетовая, при полном открытии синяя, складчатость лепестка имеется. Окраска тычиночной нити у вершины, пыльника и пестика у основания синяя. Бахромчатость ложной перегородки коробочки отсутствует, окраска семян коричневая. Устойчивость к полеганию – 5 баллов.

**М-46** создана путём обработки семян сорта Визирь (НЭМ, 0,006 %, 6 ч). Среднеспелая (96,0 сут.), продуктивная на уровне исходного сорта (167,0 г/м<sup>2</sup>) линия с повышенным содержанием линолевой кислоты (24,2 %) за счёт снижения доли АЛК (48,2 %). Высота растений 49,9 см, масса 1000 семян – 6,02 г; содержание масла – 41,0 %; содержание белка – 23,8 %, доля стеариновой кислоты – 3,4 %, олеиновой кислоты – 18,0 %. Точечность чашелистика очень слабая. Окраска венчика в стадии бутона фиолетовая, при полном открытии синяя, складчатость лепестка имеется. Окраска тычиночной нити у вершины, пыльника и пестика у основания синяя. Бахромчатость ложной перегородки коробочки отсутствует, окраска семян коричневая. Устойчивость к полеганию – 5 баллов.

**М-72** создан путём обработки семян сорта Бонус (НММ, 0,006 %, 18 ч). Мелкоцветковая, низкорослая (44,9 см), среднеспелая (94,5 сут.), продуктивная (334,6 г/м<sup>2</sup>), высокомасличная (44,9 %) линия с повышенным содержанием АЛК (61,7 %) за счёт снижения доли линолевой кислоты (13,7 %). Масса 1000 семян – 4,8 г; содержание масла – 42,8 %, содержание белка – 24,6 %, доля стеариновой кислоты – 4,0 %, олеиновой кислоты – 15,4 %. Точечность чашелистика отсутствует. Окраска венчика в стадии бутона фиолетовая, при полном открытии синяя, складчатость лепестка отсутствует. Окраска тычиночной нити у вершины белая, пыльника синяя, пестика у основания белая. Бахромчатость ложной перегородки коробочки отсутствует, окраска семян коричневая. Устойчивость к полеганию – 4 балла.

**М-80** создан путём обработки семян сорта Бонус (НЭМ, 0,006 %, 12 ч). Среднерослая (55,7 см), раннеспелая (90,9 сут.), продуктивная (315,8 г/м<sup>2</sup>), с высокой массой 1000 семян (7,9 г) линия с повышенным содержанием АЛК (60,2 %) за счёт снижения доли линолевой кислоты (13,4 %). Содержание масла – 42,4 %, содержание белка – 22,8 %, доля стеариновой кислоты – 4,1 %, олеиновой кислоты – 16,7 %. Точечность чашелистика отсутствует. Окраска венчика в стадии бутона фиолетовая, при полном открытии – синяя, складчатость лепестка отсутствует. Окраска тычиночной нити у вершины белая, пыльника кремовая, пестика у основания белая. Бахромчатость ложной перегородки коробочки отсутствует, окраска семян коричневая. Устойчивость к полеганию – 5 баллов.

## Заключение

На основе комплексного изучения маркерных и хозяйственно ценных признаков описаны 27 мутантных линий льна масличного. Линии представляют интерес в качестве источников при создании новых конкурентоспособных маркерных отечественных сортов. Лучшие мутантные линии (12 шук) с комплексом селекционных и маркерных признаков переданы в БелГенБанк (г. Жодино) на долгосрочное хранение.

Коллекция мутантов льна масличного, созданная в результате многолетней целенаправленной работы, представляет большую ценность и является инструментом в решении многих вопросов частной генетики и селекции данной культуры.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Oladosu, Y. Principle and application of plant mutagenesis in crop improvement: a review. / Y. Oladosu [et al.] // *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 2016. – N30 (1). – P. 1–16.
2. Wani, M. R. Induced chlorophyll mutations. I. Mutagenic effectiveness and efficiency of EMS, HZ and SA in mungbean / M. R. Wani, S. Khan, M. I. Kozgar // *Frontiers of Agriculture in China*, 2011. – N 5 (4). – P. 514–518.
3. Чесноков, Ю. В. Морфологические генетические маркеры у растений / Ю. В. Чесноков, В. М. Косолапов, И. В. Савченко // *Генетика*. – 2020. – Т. 56, № 12. – С. 1366–1377.
4. Андроник, Е. Л. Использование индуцированных мутантов в гибридизации как способ повышения результативности мутационной селекции льна масличного / Е. Л. Андроник, Е. В. Иванова, Д. А. Батюков // *Достижения учёных в реализации научных исследований в агропромышленном комплексе: материалы III Междунар. науч. – практ. конф. г. Новочеркасск, 22-23 окт. 2025 г. / ф-л ФГБНУ ФРАНЦ; редкол.: Клименко А. И. [и др.]. – Новочеркасск, 2025. – Вып. 11. – С. 12–21.*
5. Иванова, Е. В. Оценка коллекционных образцов льна масличного по комплексу селекционных признаков / Е. В. Иванова, Е. Л. Андроник // *IV Междунар. науч.-практ. конф. «Селекция и генетика: инновации и перспективы», посвящ. 105 – летию подготовке кадров по специальности «Селекция и семеноводство»; 28 ноября 2025 г.; г. Горки: УО БГСХА. – 2025. – С. 106–109. Методические указания по изучению коллекции льна (*Linum usitatissimum* L.) / В. З. Богдан [и др.]. – Устье, 2011. – 13 с.*
6. Классификатор льна (*Linum usitatissimum* L.) / В. З. Богдан [и др.]; под ред. В. А. Лемеш, П. Р. Хамутовского. – Устье, 2012. – 19 с.
7. Ануфриева, А. Г. Методы и методология научного познания / А. Г. Ануфриева, К. А. Головин, А. Б. Копылов // *Известия ТулГУ. Технические науки*. – 2021. – Вып. 11. – С. 279–283.

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ ВЫРАЩИВАНИЯ ОВОЩНЫХ КУЛЬТУР В ЗВЕНЕ ОРГАНИЧЕСКОГО СЕВООБОРОТА

И. П. КОЗЛОВСКАЯ, Ю. В. ВИНОКУРОВА-ЛАБУНСКАЯ

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,  
г. Минск, Республика Беларусь, e-mail: i.p.kozlovskaya@gmail.com

(Поступила в редакцию 20.01.2026)

Установлено, что при выращивании овощных культур на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в звене кабачок → фасоль спаржевая с использованием сидератов при заделке биомассы в почву фрезой отмечается увеличение содержания органического вещества до 3,2 % при сидерации овсом; 3,4 % при сидерации редькой масличной и до 2,9 % – горохом. Внесение обеззараженного компоста при высадке рассады кабачка обеспечивает увеличение содержания органического вещества в зоне локализации до 3,3–3,6 %; внесение вразброс – с 2,9 до 3,1 % только при сидерации горохом.

Технологические приемы (сидерация и применение обеззараженного компоста) в звене кабачок → фасоль спаржевая обеспечили получение 114,0–122 т/га кабачка и 1,9–2,0 т/га фасоли спаржевой при использовании в качестве сидерата овса. При сидерации редькой масличной и горохом по сравнению с контролем получена прибавка, но по сидератам редька масличная и горох урожайность этих культур ниже: – 84,4–75,3 т/га при выращивании по сидерату редька масличная и 85,3–60,1 т/га по сидерату горох.

Обоснована целесообразность локального внесения обеззараженного компоста при выращивании кабачка в сочетании с сидерацией. Получена прибавка урожая при выращивании по сидератам: овес – 8,6 т/га, редька масличная – 9,1 т/га; горох – 25,2 т/га.

При выращивании в органическом севообороте для поддержания почвенного плодородия и получения высоких урожаев овощных культур на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах в звене кабачок → фасоль спаржевая в качестве сидерата рекомендуется овес, при посадке рассады кабачка – локальное внесение обеззараженного термоаммиачным способом компоста.

**Ключевые слова:** кабачок, фасоль спаржевая, сидераты: овес, редька масличная, горох, обеззараженный компост.

*It was found that when growing vegetable crops on sod-podzolic light loamy soil in the zucchini → asparagus bean rotation using green manure, the incorporation of biomass into the soil with a rotary tiller resulted in an increase in organic matter content of up to 3.2 % with oats as a green manure, 3.4 % with oilseed radish as a green manure, and up to 2.9 % with peas. The addition of disinfected compost when planting zucchini seedlings increased the organic matter content in the localization zone to 3.3–3.6 %. Broadcast application increased yields from 2.9 to 3.1 % only with pea green manure.*

*Technological methods (green manure and application of disinfected compost) in the zucchini → asparagus bean link resulted in yields of 114.0–122 t/ha of zucchini and 1.9–2.0 t/ha of asparagus bean when oats were used as green manure. When using oilseed radish and pea as green manure, yields increased compared to the control, but yields for oilseed radish and pea as green manure were lower: 84.4–75.3 t/ha when grown with oilseed radish as green manure and 85.3–60.1 t/ha when grown with pea as green manure.*

*The feasibility of localized application of disinfected compost when growing zucchini in combination with green manure is substantiated. Yield increases were achieved when growing with green manure: oats – 8.6 t/ha, oilseed radish – 9.1 t/ha, and peas – 25.2 t/ha.*

*When growing in an organic crop rotation to maintain soil fertility and achieve high vegetable yields on sod-podzolic light loam soils in the zucchini → asparagus bean sequence, oats are recommended as a green manure. When planting zucchini seedlings, local application of compost disinfected using a thermoammonia method is recommended.*

**Key words:** zucchini, asparagus bean, green manures: oats, oilseed radish, peas, disinfected compost.

### Введение

Полноценный рацион питания человека невозможно составить без овощей. Они являются ценнейшим диетическим продуктом с высоким содержанием углеводов, витаминов, минеральных солей, фитонцидов, эфирных масел и пищевых волокон. Употребляют овощи в сыром виде, после термической обработки, или перерабатывают с целью получения консервированной продукции, в том числе для диетического и детского питания. Взрослому человеку необходимо ежедневно употреблять в пищу около 400 г овощей [1].

В соответствии с Законом Республики Беларусь от 9 ноября 2018 г. №144-З «О производстве и обращении органической продукции», технологические приемы выращивания овощных культур должны быть направлены на достижение экологической сбалансированности сельскохозяйственного производства, сокращение объемов выпуска неэкологичной продукции. Особую роль в экологизации производства овощей играет сознательная минимизация использования неэкологичных средств интенсификации, вплоть до полного отказа от их применения [2].

Традиционной системой питания овощных культур в открытом грунте является органоминеральная, и основными источниками элементов питания являются органические и минеральные удобрения.

Для получения экологически чистой овощной продукции высокого качества следует свести к минимуму, а в идеале – полностью исключить, применение минеральных удобрений. Для формирования положительного баланса гумуса в почве, обеспечения растений элементами питания целесообразно в качестве органических удобрений применение компостов и сидератов.

Влияние сельскохозяйственных культур на плодородие почвы зависит от их биологических особенностей и технологии возделывания. С биологическими особенностями культур связаны количество и состав корневых и пожнивных органических остатков – как важнейшая приходная часть баланса органического вещества в пахотной почве.

В органическом севообороте агрономически оправдано звено кабачок → фасоль спаржевая. При этом особое значение приобретает формирование системы удобрения, разработанной в соответствии с принципами органического земледелия.

В этой связи нами поставлена задача – изучить влияние различных сидератов и обеззараженного компоста на урожайность овощных культур и свойства почвы при выращивании кабачка в качестве предшественника для фасоли спаржевой.

Расширение ассортимента в овощной продуктовой группе целесообразно за счет тех овощных культур, которые хорошо адаптированы к почвенно-климатическим условиям республики. Такими культурами, несомненно, являются кабачок (*Cucurbita pepo* L.) – однолетнее травянистое растение, разновидность тыквы обыкновенной, и фасоль спаржевая – разновидность стручковой фасоли обыкновенной (*Phaseolus vulgaris*) без жестких волокон и плотного слоя внутри боба.

Пищевая значимость кабачков обусловлена богатым витаминным составом: жирорастворимые витамины А, бета-каротин, Е и К, водорастворимые витамины группы В: В1, В2, В3 (РР), В4, В5, В6, В9. 100 г кабачка способны покрыть до 20 % суточной нормы витамина С. Из микроэлементов особую ценность представляют калий, магний, железо и цинк. В семенах кабачка много незаменимой жирной кислоты Омега-3 [3].

В молодых кабачках примерно 2–2,5 % сахаров. По мере созревания количество сахаров и каротина возрастает. По содержанию этих веществ зрелые желтоплодные кабачки превосходят морковь.

При выращивании кабачка, помимо получения высокой товарной урожайности, особое значение следует уделять качеству продукции. В его плодах должно быть не более 4 % грубых пищевых волокон, 5–6 % сухого вещества.

Кабачки являются очень низкокалорийными овощами: в 100 граммах продукта всего 24–27 килокалорий. Плоды кабачков содержат специфические ферменты, которые обеспечивают усвоение пищи за счет перевода белковых соединений в растворимое состояние [3].

Для полноценного роста и развития растения, достижения высокой продуктивности и получения продукции высокого качества растения кабачка нуждаются в сбалансированном питании, которое достигается за счет усвоения необходимых макро- и микроэлементов.

На формирование 1 т массы растениям кабачка необходимо 1,1 кг азота, 0,4 кг фосфора и 2,4 кг калия. При этом в сухом веществе содержание (%) азота находится в диапазоне 1,98–2,32; фосфора 0,53–0,84 и калия 2,7–6,92 [4].

У фасоли спаржевой (овощной) в пищу используются целые стручки, содержащие значительное количество растворимой и нерастворимой клетчатки, которая играет важную роль в поддержании здорового пищеварения, так как связывает жиры и удаляет их из организма, что способствует снижению уровня «плохого» холестерина и предотвращению образования бляшек на стенках сосудов.

В стручках спаржевой фасоли содержится пребиотика, которые становятся пищей для полезных бактерий и обеспечивают поддержание здоровой микрофлоры кишечника. Стручки содержат магний, калий и другие минеральные вещества, которые поддерживают работу сердечно-сосудистой системы. Спаржевая фасоль богата белком (17–30 %), который по аминокислотному составу близок к животным белкам.

В составе фасоли присутствует довольно редкий витамин К, необходимый для нормальной свертываемости крови и усвоения кальция. Фасоль содержит марганец, отвечающий за состояние и эластичность кожных покровов. Она обладает низким гликемическим индексом и является источником высококачественного легкоусвояемого растительного белка. Калорийность фасоли составляет всего 24 ккал на 100 г продукта [5, 6].

Фасоль спаржевая более требовательна, чем другие бобовые культуры, к почвам и их плодородию. Для ее возделывания наиболее пригодными являются дерново-подзолистые легкосуглинистые, связно- и рыхлосупесчаные почвы, богатые гумусом, с реакцией почвенного раствора, близкой к нейтральной.

Традиционно спаржевую фасоль возделывают с использованием минеральных удобрений со сбалансированным соотношением элементов питания и добавками микроэлементов [7].

Нами проведен анализ влияния различных сидератов и обеззараженного компоста на урожайность овощных культур и свойства почвы при выращивании кабачка в качестве предшественника для фасоли спаржевой.

### Основная часть

Исследования проведены в 2022–2024 гг. на территории личного подсобного хозяйства в дер. Чухны Сморгонского района на легкосуглинистых почвах, развивающихся на лесовидных суглинках, подстилаемых моренным суглинком с глубины 75 см. Схема опыта представлена в табл. 1.

Таблица 1. Схема опыта

Вариант опыта	Сидеральная культура		
	Овес	Редька масличная	Горох
1 (контроль: без сидерата и компоста)	–	–	–
2	Без компоста	Без компоста	Без компоста
3	6 т/га под фасоль спаржевую,	6 т/га под фасоль спаржевую,	6 т/га под фасоль спаржевую,
4	250 г локально под кабачок	250 г локально под кабачок	250 г локально под кабачок

Агрохимические показатели почвы перед закладкой опыта: рН в КСl 5,11; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (по Кирсанову) 71, 5 мг/кг; K<sub>2</sub>O (по Кирсанову) 166,9 мг/кг; гумус (по Тюрину) 1,06–1,55 %; азот (метод Кьельдаля) 0,056 % от абс.сух.

Фасоль спаржевая сорта Зничка высевалась на выровненной поверхности почвы ленточным способом в пять строк 30x8 см. Для оптимизации физических свойств и борьбы с сорняками проводили обработку почвы между лентами. В лентах прополку выполняли вручную. Сбор урожая однократный.

Кабачок (сорт Бонус) выращивался рассадным способом. В открытый грунт высаживали стандартную рассаду в возрасте 20 дней.

Сидераты заделывали в почву фрезой без подвдвливания, их биомассу определяли в четырехкратной повторности методом контрольных делянок площадью 1 м<sup>2</sup>.

Сидеральные удобрения являются экологически безопасным источником, обеспечивающим пополнение органического вещества почв. При возделывании сидеральных культур активизируется микрофлора, происходит обогащение почвы элементами питания в форме органических соединений, что обеспечивает улучшение ее водно-физических свойств и структурного состояния. За счет активного наращивания биомассы сидераты хорошо конкурируют с сорняками, а корневые выделения некоторых из них подавляют патогенную микрофлору.

Нами проанализировано наращивание биомассы различными сидератами (табл. 2). Овёс в качестве сидеральной культуры характеризуется быстрым ростом, разнообразным минеральным составом биомассы, которая содержит фитонциды. [9].

При выращивании овса в качестве сидерата установлено, что по сравнению с другими изучаемыми сидератами эта культура сформировала наибольшее количество сырой биомассы (2,7 кг/м<sup>2</sup>), но сухого вещества только 0,35 кг/м<sup>2</sup>.

Таблица 2. Биомасса сидератов, кг/м<sup>2</sup>

Сидерат	Биомасса	
	Сырая	Сухая
Овес	0,35	2,7
Редька масличная	0,56	1,8
Горох	0,49	2,2

НСР 0,07

Редька масличная разрыхляет почву благодаря мощной корневой системе, высоко ценится как сидерат, так как за счет высокого содержания фитонцидов хорошо saniрует почву. При выращивании редьки масличной в качестве сидерата в почву поступило 1,8 кг/м<sup>2</sup> сырой биомассы и 0,56 кг/м<sup>2</sup> – сухой.

Биомасса гороха богата белками, удерживает влагу в верхнем слое почвы, хорошо гумифицируется. При использовании гороха в качестве сидерата в почву поступило 2,2 кг/м<sup>2</sup> сырой и 0,49 кг/м<sup>2</sup> сухой биомассы.

В качестве органического удобрения использовали компост, полученный путем термоаммиачного обеззараживания навоза КРС. Этот запатентованный в Республике Беларусь способ переработки навоза позволяет получить обеззараженный компост с потерей начальной массы не более 10–20 %.

Технологическая схема приготовления компоста с высокой удобрительной ценностью базируется на использовании термодинамических циклов, обеспечивающих повышение температуры до 60–65 °С в анаэробных условиях. Обеззараживание навоза во время компостирования происходит за счет формирования термической среды с повышенным содержанием аммиака, активизирует процесс карбамидо-аммиачная смесь (КАС) [8].

Внесение компоста в лунку при посадке рассады кабачка позволяет локализовать элементы питания и активизировать микрофлору вокруг корневой системы. При выращивании спаржевой фасоли компост вносили вразброс осенью по предварительно скошенному сидерату и заделывали фрезой.

Содержание органического вещества – важнейший качественный показатель при оценке плодородия почв. Наряду с генезисом, на него оказывает влияние поступление в почву органических веществ в виде растительной биомассы и органических удобрений, севооборот, биологические особенности возделываемых культур.

Содержание органического вещества в почве опытного участка было типичным для дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы: 2,1% (табл. 3). За счет сидерации содержание органического вещества увеличилось до 2,9–3,4 %. Очевидно, что значительная часть его находится в почве в виде промежуточных продуктов разложения и за такой незначительный отрезок времени не образует устойчивый комплекс с минеральной частью почвы, но за счет увеличения общего содержания органических веществ в почве условия произрастания растений существенно улучшаются.

Таблица 3. Содержание органического вещества (%) в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве

Вариант опыта	Сидеральная культура					
	Овес		Редька масличная		Горох	
	2,1		2,1		2,1	
1 (контроль: без сидерата и компоста)	%	+ к контролю	%	+ к контролю	%	+ к контролю
2	3,2	1,1	3,4	1,3	2,9	0,8
3	3,2	1,1	3,3	1,2	3,1	1,0
4	3,6	1,5	3,6	1,5	3,3	1,2

Внесение компоста по скошенному сидерату вразброс обеспечило увеличение содержания органического вещества в почве с 2,9 до 3,1 % при сидерации горохом. При использовании в качестве сидерата овса содержание органического вещества не изменилось, а при сидерации редькой масличной отмечена тенденция к снижению его содержания в почве. Очевидно, что при внесении компоста вразброс активизируется минерализация биомассы сидеральных овса и редьки масличной.

При внесении обеззараженного компоста при посадке рассады кабачка в сочетании с сидерацией содержание органического вещества в зоне локализации в конце вегетации растений достигало 3,3–3,6 %.

Изучаемые технологические приемы оказали существенное влияние на урожайность кабачка (табл. 4). Так, на контроле было получено всего 32 т/га. При использовании сидератов урожайность кабачка значительно увеличилась: 113,4–114,0 т/га при сидерации овсом, 75,3–75,7 т/га редькой масличной, 60,1–60,3 – горохом.

Наибольшая урожайность кабачка была получена при использовании сидератов в сочетании с локальным внесением компоста: 122 т/га при сидерации овсом, 84,4 и 85,3 т/га при сидерации редькой масличной и горохом соответственно.

Таблица 4. Урожайность кабачка, т/га и ее прибавка к контролю за счет сидерации и внесения компоста, (средняя за 2022–2024 гг.)

Вариант опыта	Сидеральная культура					
	Овес		Редька масличная		Горох	
	т/га	+ к контролю	+ к контролю		+ к контролю	
2	113,4	81,4	75,3	43,3	60,1	28,1
3	114,0	82	75,7	40,7	60,3	28,3
4	122	90	84,4	52,4	85,3	53,3

НСР<sub>05</sub> 6,2

Урожайность фасоли спаржевой в контрольном варианте (табл. 5) составила 2,3 т/га. При использовании сидератов отмечено значительное увеличение урожайности: до 4,2 т/га при сидерации овсом; 3,8 и 2,8 т/га – редькой масличной и горохом.

Таблица 5. Урожайность спаржевой фасоли, т/га и ее прибавка к контролю за счет сидерации и внесения компоста, (средняя за 2022–2024 гг.)

Вариант опыта	Сидеральная культура					
	Овес		Редька масличная		Горох	
	т/га	+ к контролю	т/га	+ к контролю	т/га	+ к контролю
2	4,2	1,9	3,8	1,5	2,8	0,5
3	4,3	2,0	4,2	1,9	3,3	1,0
4	4,3	2,0	4,3	2,0	3,5	1,2

НСР<sub>05</sub> 0,1

При внесении компоста вразброс по сидератам овес и редька масличная прибавка урожая в сравнении с сидерацией без компоста незначительна, при сидерации горохом 1,0–1,2 т/га. Если учесть, что урожайность фасоли спаржевой в этом варианте опыта оказалась значительно ниже, такой технологический прием нецелесообразен.

### Заключение

При выращивании овощных культур на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в звене кабачок → фасоль спаржевая с использованием сидератов при заделке биомассы в почву фрезой отмечается увеличение содержания органического вещества до 3,2 % при сидерации овсом; 3,4 % при сидерации редькой масличной и до 2,9 % – горохом.

Внесение обеззараженного компоста при высадке рассады кабачка обеспечивает увеличение содержания органического вещества в зоне локализации до 3,3–3,6 %.

Внесение обеззараженного термоаммиачным способом компоста вразброс обеспечило увеличение содержания органического вещества в почве с 2,9 до 3,1% только при сидерации горохом.

Технологические приемы (сидерация и применение обеззараженного компоста) в звене кабачок → фасоль спаржевая обеспечили получение 114,0–122 т/га кабачка и 1,9–2,0 т/га фасоли спаржевой при использовании в качестве сидерата овса. При сидерации редькой масличной и горохом по сравнению с контролем получена прибавка, но по сидератам редька масличная и горох урожайность этих культур ниже: 84,4–75,3 т/га при выращивании по сидерату редька масличная и 85,3–60,1 т/га по сидерату горох.

Целесообразно локальное внесение обеззараженного компоста при выращивании кабачка. В сочетании с сидерацией получена прибавка урожая при выращивании по сидератам: овес– 8,6 т/га; редька масличная 9,1 т/га; горох –25,2 т/га.

Таким образом, при выращивании в органическом севообороте для поддержания почвенного плодородия и получения высоких урожаев овощных культур на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах в звене кабачок → фасоль спаржевая в качестве сидерата рекомендуется овес, при посадке рассады кабачка – локальное внесение обеззараженного термоаммиачным способом компоста.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Овощи: какие и сколько? // [Электронный ресурс] / URL: <https://www.sb.by/articles/ovoshchi-kakie-i-skolko.html>
2. Закон Республики Беларусь № 144-З (Закон Республики Беларусь от 9 ноября 2018 г. №144-З «О производстве и обращении органической продукции») // [Электронный ресурс] / URL: <https://etalonline.by/document/?regnum=h11800144>.
3. Кабачок: [Электронный ресурс]. – URL: <https://edaplus.info/produce/marrow.html>: (дата обращения: 16.02.2024).
4. Жабровская, Н. Ю. Химический состав и удельный вынос элементов питания урожаем овощных культур / Н. Ю. Жабровская, Г. В. Пироговская // Почвоведение и агрохимия. – № 2(65). – 2020. – С. 170–174.
5. Аутко, А. А. Овощи в жизни человека и экологизированные технологии их производства / А. А. Аутко, Ан. А. Аутко – Гродно, ООО «ЮрСаПринт». – 2022. – 588 с.
6. Бельза, В. А. Свойства и использование спаржевой фасоли / В. А. Бельза, Н. И. Стручаев // Материалы III Международной научно-практической конференции 10-11 декабря 2024 г. – Мелитополь, 2024. – С. 377–385.
7. Технология выращивания спаржевой фасоли // [Электронный ресурс] / URL: <https://profsemena.by/blogs/blog/tehnologiya-vyraschivaniya-sparzhevoy-fasoli>.
8. Способ приготовления компоста многоцелевого назначения: пат. 18125 Респ. Беларусь, C05F3/00, C05F17/00 / Н. Н. Гринчик, И. П. Козловская [и др.] // Заявитель и патентообладатель ИТМО НАН Беларуси. – 2014.

## ВЛИЯНИЕ ФОРМ ИЗВЕСТКОВЫХ УДОБРЕНИЙ НА КИСЛОТНОСТЬ ПОЧВЫ, СОДЕРЖАНИЕ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ И ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВЕ И ЗЕРНЕ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ

**О. И. МИШУРА, М. Л. РАДКЕВИЧ**

*УО «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции  
и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия»,  
г. Горки, Республика Беларусь, 213407, e-mail: agrohim\_bgsha@mail.ru*

*(Поступила в редакцию 21.01.2026)*

*В статье представлены результаты исследования по влиянию доломитовой муки и отходов цементного производства «Белорусский цементный завод» (байпасная пыль и пыль электрофильтра ЦПИ) на кислотность почвенной среды, содержание в почве подвижных соединений меди, цинка, марганца, свинца и кадмия, валовое содержание меди, цинка, марганца, свинца, кадмия в зерне ярового ячменя. В 2022 году известкование доломитовой мукой снижало обменную кислотность пахотного горизонта на 1,06 единицы (с  $pH_{kcl} = 5,48$  до  $pH_{kcl} = 6,54$ ), байпасной пылью и пылью электрофильтра ЦПИ до  $pH_{kcl} = 6,72$  и  $pH_{kcl} = 6,75$  соответственно. В 2025 году применение доломитовой муки, снизило обменную кислотность пахотного горизонта на 0,23 единицы (с  $pH_{kcl} = 5,58$  до  $pH_{kcl} = 5,81$ ), байпасной пыли и пыли электрофильтра ЦПИ на 0,27 и 0,65 единиц (с  $pH_{kcl} = 5,58$  до  $pH_{kcl} = 5,85$  и  $pH_{kcl} = 6,23$  соответственно). Известковые материалы не оказывали влияния на содержание в почве и зерне ярового ячменя меди, цинка, свинца и кадмия, но снижали содержание марганца в почве. Их содержание в зерне находилось в пределах гигиенических нормативов, а в почве ниже ОДК. По действию байпасная пыль и пыль электрофильтра ЦПИ при возделывании ярового ячменя в 2022 году были равнозначными и повышали урожайность зерна ячменя на 7,52 и 8,53 ц/га, но они несколько по эффекту уступали активности доломитовой муке. В 2025 году известкование почвы байпасной пылью и пылью электрофильтра ЦПИ оказало практически такое же влияние на урожайность зерна ярового ячменя, как и общепринятое известкование доломитовой мукой.*

**Ключевые слова:** ячмень, кислотность почвы, известковые удобрения, микроэлементы, тяжелые металлы.

*This article presents the results of a study on the influence of dolomite flour and cement production waste from the Belarusian Cement Plant (bypass dust and CPP electrostatic precipitator dust) on soil acidity, the content of mobile copper, zinc, manganese, lead, and cadmium compounds in the soil, and the total content of copper, zinc, manganese, lead, and cadmium in spring barley grain. In 2022, liming with dolomite flour reduced the exchangeable acidity of the arable horizon by 1.06 units (from  $pH_{kcl} = 5.48$  to  $pH_{kcl} = 6.54$ ), bypass dust and dust of the CPI electrostatic precipitator to  $pH_{kcl} = 6.72$  and  $pH_{kcl} = 6.75$ , respectively. In 2025, the use of dolomite flour reduced the exchangeable acidity of the arable horizon by 0.23 units (from  $pH_{kcl} = 5.58$  to  $pH_{kcl} = 5.81$ ), bypass dust and dust of the CPI electrostatic precipitator by 0.27 and 0.65 units (from  $pH_{kcl} = 5.58$  to  $pH_{kcl} = 5.85$  and  $pH_{kcl} = 6.23$ , respectively). Lime-based materials had no effect on the copper, zinc, lead, and cadmium content of spring barley soil and grain, but they reduced manganese content in the soil. Grain manganese content was within hygienic standards, while in the soil it was below the maximum permissible concentration. Bypass dust and CPI electrostatic precipitator dust were equivalent in their effects during spring barley cultivation in 2022, increasing barley grain yield by 0.752 and 0.853 t/ha, respectively, but were slightly less effective than dolomite flour. In 2025, soil liming with bypass dust and CPI electrostatic precipitator dust had virtually the same effect on spring barley grain yield as conventional liming with dolomite flour.*

**Key words:** barley, soil acidity, lime fertilizers, microelements, heavy metals.

### **Введение**

Избыточная кислотность часто является фактором, лимитирующим нормальный рост и развитие растений, и единственным кардинальным путем оптимизации кислотности является известкование. Оно улучшает питательный режим, снижает действие токсичных и радиоактивных элементов, активизирует микробиологическую деятельность, а в ряде случаев улучшает физические свойства почв.

При производстве цемента накапливается большое количество таких пылевидных отходов, как байпасная пыль и пыль электрофильтров ЦПИ. Эти отходы содержат большое количество  $CaCO_3$  и их можно использовать как известковые удобрения. Однако отходы промышленности могут содержать тяжелые металлы и следует, наряду с изучением действия их на урожайность зерновых и других культур, исследовать их применение на накопление в почве и растениеводческой продукции тяжелых металлов. Не только дозы, но и формы известковых удобрений неодинаково влияют на динамику кислотности, на содержание подвижных форм макро- и микроэлементов в почве [1].

Цель исследований – установить влияние доломитовой муки и отходов цементного производства «Белорусский цементный завод» (байпасная пыль и пыль электрофильтра ЦПИ) на кислотность почвы, содержание в почве подвижных соединений меди, цинка, марганца, свинца и кадмия, валовое содержание меди, цинка, марганца, свинца, кадмия в зерне ярового ячменя.

Известкование кислых почв – важнейший агрохимический прием повышения эффективного и потенциального плодородия почв. Повышенная кислотность почв создает неблагоприятные условия для роста и развития культурных растений [2].

Негативное влияние повышенной кислотности обусловлено рядом причин, основные из которых: недостаток  $\text{Ca}^{2+}$ , повышенная концентрация токсичных  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{4+}$ ,  $\text{H}^+$ , пониженная доступность для растений элементов питания, неблагоприятные физические свойства почв.

Единственным радикальным путем устранения избыточной кислотности является известкование почв, которое способствует устранению токсичности ионов  $\text{Al}$  и  $\text{Mn}$ , улучшению условий гумусообразования и деятельности микроорганизмов; формированию структуры и более благоприятных физико-механических свойств почв; снижению поступления радионуклидов и тяжелых металлов; повышению качества урожая. Известь – превентивная мера от разрушения наиболее важной части – почвенного поглощающего комплекса. По дешевизне, эффективности и ресурсообеспеченности известкованию нет альтернативы [2, 3, 4].

Большинство сельскохозяйственных культур положительно реагируют на известкование сильно- и среднекислых дерново-подзолистых почв и дают высокие прибавки урожая. Из зерновых культур наиболее отзывчивы на известкование озимая и яровая пшеница, ячмень.

Известкование улучшает также качество растениеводческой продукции. Под влиянием известкования повышается содержание сахаров в корнеплодах, белка и жира в семенах, больше накапливается каротина и аскорбиновой кислоты в травах и корнеплодах. Известкование кислых почв положительно влияет на посевные качества семян. В последующем такие семена дают более высокие урожаи [4, 5, 6].

Известкование представляет собой мощный фактор мобилизации питательных веществ почвы. С одной стороны, это объясняется интенсивной деятельностью различных групп микробов, с другой – переходом труднодоступных соединений в легкодоступные под влиянием изменения реакции среды. Под влиянием извести значительно увеличиваются подвижность фосфатов почвы и коэффициент использования их растениями. Поэтому при известковании почвы дозы внесения фосфорных удобрений можно несколько уменьшить.

В связи с интенсификацией микробиологической деятельности увеличивается содержание нитратов в почве. В растениях при этом накапливается большее количество азота.

При известковании улучшается и калийное питание растений в связи с мобилизацией труднорастворимых соединений калия. Содержание калия в растениях под влиянием известкования увеличивается незначительно, а иногда даже уменьшается. Объясняется это тем, что мобилизация калия в почве при внесении извести идет не так интенсивно, как мобилизация азота и фосфора. В тоже время под влиянием известкования может снизиться доступность для растений бора, меди, цинка и других микроэлементов [5, 6, 7].

В связи с изменением реакции среды известкование кислых дерново-подзолистых почв по-разному проявляется на урожае сельскохозяйственных культур.

Известкование оказывает большое влияние и на эффективность удобрений. По данным РУП «Институт почвоведения и агрохимии» НАН Беларуси, на дерново-подзолистых почвах с  $\text{pH}_{\text{KCl}} < 5,5$  1 кг азота давал прибавку 7,6 кг зерна ячменя, 39 кг – клубней картофеля, 31 кг – корнеплодов сахарной свеклы, а на почвах с  $\text{pH}_{\text{KCl}} 5,6-6$  – соответственно 20,2, 53 и 107 кг.

Таким образом, известкование кислых почв в сочетании с применением удобрений является не только непременным условием получения высоких урожаев на кислых почвах, но и мероприятием, способствующим рациональному, более экономному использованию минеральных и органических удобрений.

#### **Основная часть**

Исследования проводили на территории УНЦ «Опытные поля БГСХА» с яровым ячменем в 2022 г. с сортом Ладный и в 2025 г. с сортом Колдун. Почва опытного участка дерново-подзолистая легкосуглинистая, развивающаяся на лессовидном суглинке, подстилаемом моренным суглинком с глубины около 1 м. Перед закладкой опыта в 2022 году имела кислую реакцию среды ( $\text{pH}_{\text{KCl}}=5,48$ ), низкое содержание гумуса (1,2 %), высокое содержание подвижных соединений фосфора (302,3 мг/кг) и калия (324,3 мг/кг). В 2025 году перед закладкой опыта пахотный горизонт имел слабокислую реакцию среды ( $\text{pH}_{\text{KCl}}=5,6$ ), характеризовался низким содержанием гумуса (1,46 %), повышенным содержанием фосфора (174,2 мг/кг) и высоким содержанием обменного калия (343,5 мг/кг).

В этом опыте на удобренном ( $\text{N}_{70}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$ ) фоне изучалась эффективность известкования дерново-подзолистой почвы доломитовой мукой, байпасной пылью и пылью электрофильтра ЦПИ. Контролем служил вариант без известкования. Осенью под зяблевую вспашку применяли аммофос и хлористый калий, весной под предпосевную культивацию – карбамид. Азотные подкормки вегетирую-

щих посевов не проводились. Почва перед проведением предпосевной культивации была известкована. С учетом содержания в известковых материалах  $\text{CaCO}_3$  и их плотности сложения в 2022 году было внесено 5,3 т/га физической массы доломитовой муки, 4,4 т/га байпасной пыли и 5,6 т/га пыли электрофильтра ЦПИ. В 2025 году с учетом содержания в известковых материалах  $\text{CaCO}_3$  было внесено 4,7 т/га физической массы доломитовой муки, 4,2 т/га байпасной пыли и 7,7 т/га пыли электрофильтра ЦПИ.

Посев ячменя в 2022 и 2025 гг. был проведен в третьей декаде апреля. Агротехника возделывания общепринятая для Беларуси. Норма высева 5 млн всхожих семян на гектар. Исследования проводились в трехкратной повторности. Площадь делянок – 21 м<sup>2</sup>, учетная – 16,5 м<sup>2</sup>. Учет урожая зерна и соломы проводился сплошным обмолотом в фазу полного созревания. Образцы почвы для анализа на агрохимические показатели отбирали после уборки. В почвенных и растительных образцах определяли содержание подвижных соединений меди, цинка, марганца, кадмия, свинца. Результаты исследований подвергнуты дисперсионному анализу по Б. А. Доспехову.

Изучение реакции пахотного горизонта в образцах почвы, отобранных после уборки ярового ячменя в 2022 г., показало, что известкование, проведенное доломитовой мукой, снизило обменную кислотность пахотного горизонта на 1,06 единицы (с  $\text{pH}_{\text{kcl}} = 5,48$  до  $\text{pH}_{\text{kcl}} = 6,54$ ) (табл. 1). На фоне известкования байпасной пылью и пылью электрофильтра ЦПИ обменная кислотность почвы снизилась соответственно до  $\text{pH}_{\text{kcl}} = 6,72$  и  $\text{pH}_{\text{kcl}} = 6,75$ . При этом различия в значении данного показателя, полученными при применении в качестве известкового материала доломитовой муки, байпасной пыли и пыли электрофильтра ЦПИ оказались несущественными.

Таблица 1. Реакция среды пахотного горизонта после уборки ярового ячменя, возделываемого на фоне известкования почвы доломитовой мукой и отходами цементного производства

Варианты опыта	Реакция почвенной среды после уборки			
	2022 г.		2025 г.	
	$\text{pH}_{\text{kcl}}$	$\pm$ фон	$\text{pH}_{\text{kcl}}$	$\pm$ фон
Без известкования (фон)	5,48		5,58	–
Доломитовая мука	6,54	1,06	5,81	0,23
Байпасная пыль	6,72	1,24	5,85	0,27
Пыль электрофильтра ЦПИ	6,75	1,27	6,23	0,65
НСР <sub>05</sub>	0,289		0,18	

В 2025 г. известкование, проведенное доломитовой мукой, снизило обменную кислотность пахотного горизонта на 0,23 единицы (с  $\text{pH}_{\text{kcl}} = 5,58$  до  $\text{pH}_{\text{kcl}} = 5,81$ ) (табл. 1). На фоне известкования байпасной пылью и пылью электрофильтра ЦПИ обменная кислотность почвы снизилась соответственно до  $\text{pH}_{\text{kcl}} = 5,85$  и  $\text{pH}_{\text{kcl}} = 6,23$ . Различия кислотности почвы, полученные при применении в качестве известкового материала доломитовой муки, байпасной пыли находились в пределах ошибки опыта.

Под влиянием известкования доломитовой мукой, байпасной пыли и пыли электрофильтра ЦПИ содержание в зерне меди и цинка также, как и марганца, не изменялось (табл. 2). Не обнаружено при применении пыли электрофильтра ЦПИ увеличения содержания в зерне тяжелых металлов (свинца и кадмия).

Таблица 2. Содержание микроэлементов и тяжелых металлов в зерне ярового ячменя, возделываемого на фоне известкования почвы доломитовой мукой и отходами цементного производства (2022 г.)

Варианты опыта	Микроэлементы, мг/кг			Тяжелые металлы, мг/кг	
	Cu	Zn	Mn	Pb	Cd
Без известкования (фон)	2,20	15,05	10,50	0,00	0,00
Доломитовая мука	1,80	11,45	9,50	0,12	0,00
Байпасная пыль	2,15	12,10	8,50	0,00	0,00
Пыль электрофильтра ЦПИ	2,55	15,60	9,50	0,00	0,00
НСР <sub>05</sub>	0,727	4,169	3,779		

Под влиянием известкования почвы доломитовой мукой в 2025 году содержание меди, цинка и марганца в зерне ярового ячменя снижалось относительно фонового варианта – на 0,4 мг/кг, 2,4 мг/кг и 2 мг/кг соответственно (табл. 3).

Наибольшее содержание меди было при применении байпасной пыли и составило 2,85 мг/кг. При применении пыли электрофильтра ЦПИ в зерне ярового ячменя было наибольшее содержание цинка (16,5 мг/кг). Содержание марганца в зерне колебалось от 12,5 мг/кг в варианте с применением доломитовой муки до 17,5 мг/кг в варианте с применением пыли электрофильтра ЦПИ.

При применении различных известковых материалов содержание свинца в зерне ярового ячменя находилось в пределах 0,18–0,43 мг/кг, содержание кадмия отмечено только в варианте с приме-

нием электрофилтра ЦПИ, которое составило 0,04 мг/кг. Таким образом, содержание меди, цинка, свинца и кадмия при применении всех известковых материалов было ниже установленных гигиенических нормативов.

Таблица 3. Содержание микроэлементов и тяжелых металлов в зерне ярового ячменя, возделываемого на фоне известкования почвы доломитовой мукой и отходами цементного производства (2025 г.)

Варианты опыта	Микроэлементы, мг/кг			Тяжелые металлы, мг/кг	
	Cu	Zn	Mn	Pb	Cd
Без известкования (фон)	2,45	15,10	14,50	0,42	0,00
Доломитовая мука	2,05	12,70	12,50	0,18	0,00
Байпасная пыль	2,85	14,95	16,00	0,00	0,00
Пыль электрофилтра ЦПИ	2,30	16,50	17,50	0,43	0,04
НСР <sub>05</sub>	0,84	1,43	1,99		

Содержание подвижной меди в почве по всем вариантам опыта в 2022 и 2025 гг. было средним (табл. 4, 5), а подвижного цинка высоким. Под влиянием известкования доломитовой мукой, байпасной пылью и пылью электрофилтра ЦПИ содержание подвижной меди и цинка не изменялось. В тоже время в 2022 г. под влиянием известкования доломитовой мукой, байпасной пылью и пылью электрофилтра ЦПИ содержание марганца снизилось от среднего до низкого по сравнению с вариантом опыта без известкования (таб. 4).

Содержание подвижного кадмия по вариантам опыта было в пределах от 5,02 до 5,72 мг/кг (табл. 4). Под влиянием известкования доломитовой мукой, байпасной пылью и пылью электрофилтра ЦПИ содержание свинца в почве по сравнению с не известкованной почвой существенно не изменялось. Под влиянием всех выше названных известковых материалов в почве не увеличивалось содержание кадмия (табл. 4). Содержание в почве при применении доломитовой муки, байпасной пыли и пыли электрофилтра ЦПИ свинца и кадмия было значительно ниже ОДК [6].

Таблица 4. Содержание микроэлементов и подвижных соединений тяжелых металлов в почве при возделывании ярового ячменя на фоне известкования почвы доломитовой мукой и отходами цементного производства (2022 г.)

Варианты опыта	Микроэлементы, мг/кг			Тяжелые металлы, мг/кг	
	Cu	Zn	Mn	Pb	Cd
Без известкования (фон)	1,96	6,78	34,0	5,72	0,00
Доломитовая мука	1,93	6,55	16,0	5,11	0,00
Байпасная пыль	1,92	6,68	13,0	5,02	0,00
Пыль электрофилтра ЦПИ	1,93	6,74	11,6	5,61	0,00
НСР <sub>05</sub>	0,134	0,270	2,977	0,72	

Внесение в 2025 году доломитовой муки, байпасной пыли и пыли электрофилтра ЦПИ при проведении исследований с яровым ячменем снижало в почве содержание подвижной меди, цинка и марганца по сравнению с вариантом без внесения известковых материалов (табл. 5).

Различия по содержанию микроэлементов, полученные при применении в качестве известкового материала доломитовой муки, байпасной пыли и пыли электрофилтра ЦПИ находились в пределах ошибки опыта.

Содержание в почве свинца в опыте с яровым ячменем колебалось в пределах от 4,47 до 4,85 мг/кг и наибольшим было с применением байпасной пыли. Содержание кадмия находилось в пределах 0,04–0,05 мг/кг. Содержание тяжелых металлов во всех вариантах опыта соответствовало нормативам ОДК. Таким образом, байпасная пыль и пыль электрофилтра ЦПИ с точки зрения загрязнения тяжелыми металлами не представляют опасности.

Урожайность зерна ярового ячменя в 2022 году варьировала в опыте в пределах от 19,3 ц/га в варианте без известкования до 32,01 ц/га при известковании доломитовой мукой. Наименьшее значение данного показателя было отмечено на не известкованных делянках. Применение доломитовой муки увеличило урожайность зерна на 12,71 ц/га.

Несколько меньшую прибавку обеспечили байпасная пыль (7,52 ц/га) и пыль электрофилтра ЦПИ (8,53 ц/га). И если различия в урожайности зерна ярового ячменя на фоне известкования байпасной пылью и пылью электрофилтра ЦПИ оказались не существенными, то по сравнению с вариантом с применением доломитовой муки они оказались меньше на 5,19 и 4,14 ц/га при НСР<sub>05</sub> = 2,34 ц/га. В данном случае можно сказать, что применение доломитовой муки оказало более высокое влияние на урожайность зерна ячменя.

Таблица 5. Содержание микроэлементов и подвижных соединений тяжелых металлов в почве при возделывании ярового ячменя на фоне известкования почвы доломитовой мукой и отходами цементного производства (2025 г.)

Варианты опыта	Микроэлементы, мг/кг			Тяжелые металлы, мг/кг	
	Cu	Zn	Mn	Pb	Cd
Без известкования (фон)	2,32	5,31	16,3	4,72	0,05
Доломитовая мука	2,30	5,26	14	4,64	0,04
Байпасная пыль	2,26	5,30	12	4,85	0,05
Пыль электрофильтра ЦПИ	2,22	5,08	11	4,47	0,05
НСР <sub>05</sub>	0,54	0,33	3,91	0,24	0,03

В 2025 году урожайность зерна ярового ячменя находилась в пределах от 41,4 до 49,7 ц/га. Как и в 2022 году, наименьшее значение данного показателя было отмечено в варианте без известкования. Применение доломитовой муки увеличило урожайность зерна на 6,70 ц/га, байпасная пыль – на 7,50 ц/га и пыль электрофильтра ЦПИ на – 8,30 ц/га. Различия в урожайности зерна ярового ячменя между вариантами с применением доломитовой муки и отходов цементного производства оказались в пределах наименьшей существенной разницы (НСР<sub>05</sub> = 2,62 ц/га). Таким образом, известкование почвы в 2025 году байпасной пылью и пылью электрофильтра ЦПИ оказало практически такое же влияние на урожайность зерна ярового ячменя, как и общепринятое известкование доломитовой мукой.

### Заключение

В опыте с яровым ячменем известкование почвы доломитовой мукой в 2022 году снизило обменную кислотность пахотного горизонта на 1,06 единицы (с рН<sub>kcl</sub> = 5,48 до рН<sub>kcl</sub> = 6,54), байпасной пылью и пылью электрофильтра ЦПИ обменная кислотность почвы снизилась соответственно до рН<sub>kcl</sub> = 6,72 и рН<sub>kcl</sub> = 6,75. В 2025 году применение доломитовой муки, снизило обменную кислотность пахотного горизонта на 0,23 единицы (с рН<sub>kcl</sub> = 5,58 до рН<sub>kcl</sub> = 5,81), байпасной пыли и пыли электрофильтра ЦПИ на 0,27 и 0,65 единиц (с рН<sub>kcl</sub> = 5,58 до рН<sub>kcl</sub> = 5,85 и рН<sub>kcl</sub> = 6,23 соответственно). При этом различия в значении данных показателей, полученных на фоне изучаемых вариантов, были несущественными.

Применение байпасной пыли и пыли электрофильтра ЦПИ в качестве известкового материала не способствует накоплению в зерне ячменя меди, цинка, марганца, свинца, кадмия и содержание меди, цинка свинца и кадмия было значительно ниже гигиенических нормативов.

Под влиянием доломитовой муки, байпасной пыли и пыли электрофильтра ЦПИ в почве не изменялось содержание меди, цинка, марганца, свинца, кадмия, но в 2022 году существенно уменьшилось содержание марганца.

Урожайность зерна ярового ячменя в 2022 при известковании доломитовой мукой увеличилась по сравнению с вариантом без известкования на 12,71 при известковании байпасной пылью и пылью электрофильтра ЦПИ соответственно на 7,52 и 8,53 ц/га. По действию байпасная пыль и пыль электрофильтра ЦПИ при возделывании ярового ячменя в 2022 году были равнозначными, но они несколько по эффекту уступали активности доломитовой муке. В 2025 году известкование почвы байпасной пылью и пылью электрофильтра ЦПИ оказало практически такое же влияние на урожайность зерна ярового ячменя, как и общепринятое известкование доломитовой мукой.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Агрохимия: учебник / Б. А. Ягодин [и др.]; под ред. Б. А. Ягодина. – М.: Колос, 2002. – 584 с.
2. Агрохимия. Удобрения и их применение в современном земледелии: учебно-методическое пособие / И. Р. Вильдфлуш [и др.]; под ред. И. Р. Вильдфлуша. – Горки: БГСХА, 2019. – 405 с.
3. Минеев, В. Г. Агрохимия: учебник / В. Г. Минеев, В. Г. Сычев. – М: Изд-во ВНИИА им Д. Н. Прянишникова, 2017. – 854 с.
4. Справочник агрохимика / В. В. Лапа [и др.]; под ред В. В. Лапа. – Минск: ИВЦ Минина, 2021. – 260 с.
5. Эффективность применения микроудобрений и регуляторов роста при возделывании сельскохозяйственных культур / И. Р. Вильдфлуш [и др.]. – Минск: Беларуская навука, 2011. – 293 с.
6. Агрохимия: учебник / И. Р. Вильдфлуш [и др.]; под ред. И. Р. Вильдфлуша. – Минск: ИВЦ Минфина, 2023. – 600 с.
7. Клебанович, Н. В. Известкование почв Беларуси / Н. В. Клебанович, Г. В. Васюк. – Минск: БГУ, 2003. – 322 с.

## ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ЭФИРНЫХ МАСЕЛ РАСТЕНИЯМИ ДУШИЦЫ ОБЫКНОВЕННОЙ И ЛАВАНДЫ УЗКОЛИСТНОЙ

А. А. БЛОХИН

УО «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции  
и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия»,  
г. Горки, Республика Беларусь, 213407

Т. В. САЧИВКО

ГУ «Государственная инспекция по испытанию и охране сортов растений»,  
г. Минск, Республика Беларусь, 220108, e-mail: sachyuka@rambler.ru

(Поступила в редакцию 26.01.2026)

Душица обыкновенная (*Origanum vulgare* L.) и лаванда узколистная (*Lavandula angustifolia* Mill.) относятся к перспективным пряно-ароматическим и эфирно-масличным культурам в Республике Беларусь, которые рекомендуются к применению в различных отраслях экономики нашей страны: пищевой промышленности, кулинарии, традиционной и народной медицине, ароматерапии и фармацевтике, парфюмерии и косметологии, в различных отраслях сельского хозяйства (медоносные растения, фитонциды), эстетотерапии, декоративном садоводстве, садово-парковом строительстве и ландшафтном проектировании и т. д. Содержание и сбор эфирных масел в товарной продукции относится к важнейшим качественным показателям душицы обыкновенной и лаванды узколистной.

В результате проведения полевых и лабораторных исследований в Белорусской государственной сельскохозяйственной академии установлено, что максимальное накопление эфирных масел в надземной части душицы обыкновенной и лаванды узколистной отмечено в фазе массового цветения растений. У душицы обыкновенной содержание эфирных масел в зеленой массе в среднем за годы исследований составило 0,34 %, у лаванды узколистной – 0,63 % при максимальном сборе эфирных масел на третий год возделывания растений – соответственно 14,5 и 38,4 кг/га.

Способ размножения практически не оказал влияния на содержание эфирных масел в зеленой массе душицы обыкновенной и лаванды узколистной в фазу массового цветения (второй год возделывания), а сбор эфирных масел в большей мере зависел от урожайности зеленой массы, наибольшие показатели которой отмечены у душицы обыкновенной при размножении делением куста и рассадой (108,5–110,8 ц/га) и размножении рассадой у лаванды узколистной (120,2 ц/га).

Максимальное содержание эфирных масел отмечено в соцветиях: у лаванды узколистной – 0,73–0,77 %, у душицы обыкновенной – 0,45–0,48 % при содержании в листьях соответственно 0,15–0,17 % и 0,13–0,14 %, в стеблях – 0,08 % (лаванда узколистная) и 0,04 % (душица обыкновенная).

**Ключевые слова:** душица обыкновенная, лаванда узколистная, зеленая масса, качество, эфирные масла.

*Origanum vulgare* L. and lavender (*Lavandula angustifolia* Mill.) are promising spice-aromatic and essential oil crops in the Republic of Belarus, recommended for use in various sectors of the national economy: the food industry, cooking, traditional and folk medicine, aromatherapy and pharmaceuticals, perfumery and cosmetology, various branches of agriculture (melliferous plants, phytoncides), aesthetic therapy, ornamental gardening, landscape design, and more. The content and yield of essential oils in commercial products are among the most important quality indicators of oregano and lavender. Field and laboratory studies at the Belarusian State Agricultural Academy revealed that the maximum accumulation of essential oils in the aboveground parts of oregano and lavender occurs during the full flowering phase of the plants. For oregano, the essential oil content in the green mass averaged 0.34 % over the years of study, while for lavender, it was 0.63 %, with the maximum essential oil yield in the third year of cultivation—14.5 and 38.4 kg/ha, respectively. The propagation method had virtually no effect on the content of essential oils in the green mass of common oregano and narrow-leaved lavender during the mass flowering phase (the second year of cultivation), and the collection of essential oils depended largely on the yield of green mass, the highest indicators of which were noted for common oregano when propagated by dividing the bush and seedlings (10.85–11.08 t/ha) and propagated by seedlings for narrow-leaved lavender (12.02 t/ha).

The highest essential oil content is found in the inflorescences: 0.73–0.77 % in *angustifolia* lavender and 0.45–0.48 % in common oregano, with the leaves containing 0.15–0.17 % and 0.13–0.14 %, respectively, and 0.08 % (*angustifolia* lavender) and 0.04 % (common oregano) in the stems.

**Key words:** common oregano, *angustifolia* lavender, green mass, quality, essential oils.

### Введение

Пряно-ароматические и эфирно-масличные культуры, в т.ч. душица обыкновенная (*Origanum vulgare* L.) и лаванда узколистная (*Lavandula angustifolia* Mill.), относятся к перспективным видам растений, которые широко используются в различных отраслях экономики: пищевой промышленности, кулинарии, традиционной и народной медицине, фармацевтике, парфюмерии и косметологии, в различных отраслях сельского хозяйства, декоративном садоводстве и ландшафтном проектировании и т. д. [1–19].

Наряду с урожайностью товарной продукции эфирно-масличных и пряно-ароматических культур, немаловажное значение имеет ее качество, и в первую очередь содержание эфирных масел, ко-

торое и определяет перспективные направления их использования в различных отраслях экономики [20–33].

Эфирные масла, которые образуются под действием многих факторов в различных частях растений, представляют многокомпонентную смесь органических соединений и относятся к перспективным видам натуральной продукции [24, 29, 33].

Большой практический интерес представляет изучение характера накопления эфирных масел в различные фазы развития растений, а также в отдельных компонентах растений, что позволяет собирать их максимальный урожай.

Целью данной статьи является изучение особенностей накопления эфирных масел в растениях душицы обыкновенной и лаванды узколистной.

### Основная часть

Исследования по изучению накопления эфирных масел в надземной части душицы обыкновенной сорта Завіруха и лаванды узколистной сорта Лазурная проводили в Белорусской государственной сельскохозяйственной академии в 2023–2025 гг.

Полевые исследования выполняли на опытном поле в условиях дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы, пахотный горизонт которой характеризовался следующими агрохимическими показателями: рН<sub>KCl</sub> 6,1–6,2, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0,2 М HCl) – 173–182 мг/кг, K<sub>2</sub>O (0,2 М HCl) – 205–212 мг/кг, гумус (0,4 н K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) – 2,5–2,7 % (индекс агрохимической окультуренности 0,85) [34–39].

Наступление основных фенологических фаз определяли по методике И. Н. Бейдеман: 1) бутонизация (набухание цветочных почек); 2) начало цветения (вступление в фазу цветения 10 % растений); 3) массовое цветение (вступление в фазу цветения 75 % растений); 4) плодоношение [40].

Выделение эфирных масел из измельченного свежего растительного сырья (зеленая масса и органы растений (стебли, листья, соцветия), заготовленные в фазу массового цветения) проводили по ГОСТ ISO 6571-2016 «Пряности, приправы и травы. Определение содержания эфирных масел (метод гидродистилляции)».

Эфирные масла лаванды узколистной и душицы обыкновенной соответствовали ГОСТ ISO 3515-2017 «Масло эфирное лавандовое (*Lavandula angustifolia* Mill.). Технические условия» и NF ISO 13171-2016 «Масло эфирное душицы обыкновенной *Origanum vulgare* L.

Как показали результаты исследований, содержание и сбор эфирных масел существенно изменялись в зависимости от фазы развития растений душицы обыкновенной и лаванды узколистной (табл. 1–2).

Таблица 1. Содержание эфирных масел в зеленой массе душицы обыкновенной в зависимости от фазы развития

Год	Зеленая масса, ц/га	Сухое вещество, ц/га	Содержание эфирных масел, %	Сбор эфирных масел, кг/га (сумма / среднее)
Фаза бутонизации				
2023	40,5	9,3	0,09	0,8
2024	92,7	21,2	0,09	1,9
2025	176,1	40,1	0,10	4,0
Среднее	103,1	23,5	0,09	6,7 / 2,2
Фаза начала цветения				
2023	45,2	10,5	0,18	1,9
2024	99,6	23,0	0,21	4,8
2025	180,7	41,0	0,23	9,4
Среднее	108,5	24,8	0,21	16,1 / 5,4
Фаза массового цветения				
2023	86,3	19,9	0,32	6,4
2024	110,8	25,1	0,34	8,5
2025	183,0	41,4	0,35	14,5
Среднее	126,2	28,8	0,34	29,4 / 9,8
Фаза плодоношения				
2023	89,2	20,9	0,17	3,6
2024	118,1	27,1	0,17	4,6
2025	185,3	42,1	0,18	7,6
Среднее	130,8	30,1	0,17	15,8 / 5,3

Максимальное содержание эфирных масел в зеленой массе лаванды узколистной и душицы обыкновенной отмечено в фазу массового цветения – соответственно 0,61–0,65 % и 0,32–0,35 %.

В фазу «начало цветения» содержание эфирных масел в зеленой массе душицы обыкновенной составило 0,18–0,21 %, лаванды узколистной – 0,40–0,46 %, в фазу плодоношения – соответственно

0,17–0,18 % и 0,42–0,53 %, в фазу бутонизации – 0,09 % (душица обыкновенная) и 0,11–0,13 % (лаванда узколистная).

Сбор эфирных масел, наряду с их содержанием в товарной продукции, зависит также об общей урожайности зеленой массы и сбора сухого вещества в различные фазы развития растений [31].

В наших исследованиях максимальный сбор эфирных масел отмечен на третий год возделывания, который в фазу массового цветения у лаванды узколистной оказался 38,4 кг/га (урожайность зеленой массы – 280,0 ц/га), у душицы обыкновенной – 14,5 кг/га (урожайность зеленой массы – 183,0 ц/га).

В фазу плодоношения, несмотря на некоторое увеличение урожайности зеленой массы, сбор эфирных масел был ниже в связи с более низким их содержанием: у лаванды узколистной на третий год возделывания сбор эфирных масел составил 31,6 ц/га (урожайность зеленой массы 282,7 ц/га), у душицы обыкновенной – 7,6 ц/га (урожайность зеленой массы – 185,3 ц/га).

Таблица 2. Содержание эфирных масел в зеленой массе лаванды узколистной в зависимости от фазы развития

Год	Зеленая масса, ц/га	Сухое вещество, ц/га	Содержание эфирных масел, %	Сбор эфирных масел, кг/га (сумма / среднее)
<b>Фаза бутонизации</b>				
2023	74,1	16,4	0,13	2,1
2024	100,8	21,9	0,11	2,4
2025	265,3	57,4	0,13	7,5
Среднее	146,7	31,9	0,12	12,0 / 4,0
<b>Фаза начала цветения</b>				
2023	80,5	18,1	0,40	7,2
2024	106,6	22,6	0,45	10,2
2025	273,4	57,8	0,46	26,6
Среднее	153,5	32,8	0,44	44,0 / 14,7
<b>Фаза массового цветения</b>				
2023	81,7	18,4	0,61	11,2
2024	120,2	25,7	0,62	15,9
2025	280,0	59,0	0,65	38,4
Среднее	160,6	34,4	0,63	65,5 / 21,8
<b>Фаза плодоношения</b>				
2023	92,7	19,8	0,42	8,3
2024	122,4	25,9	0,51	13,2
2025	282,7	59,6	0,53	31,6
Среднее	165,9	35,0	0,49	53,1 / 17,7

В первый год развития растений из-за невысоких показателей урожайности сбор эфирных масел у растений лаванды узколистной в фазу бутонизации составил 2,1 кг/га, в фазу «начало цветения» – 7,2 кг/га, в фазу плодоношения – 8,3 кг/га, в фазу массового цветения – 11,2 кг/га, во второй год развития растений лаванды узколистной – соответственно 2,4, 10,2, 13,2 и 15,9 кг/га при сумме за три года возделывания 12,0 (фаза бутонизации), 44,0 (фаза «начало цветения»), 53,1 (фаза плодоношения) и 65,5 кг/га (фаза массового цветения).

У душицы обыкновенной в первый год развития растений в фазу бутонизации сбор эфирных масел оказался 0,8 кг/га, в фазу «начало цветения» – 1,9 кг/га, в фазу плодоношения – 3,6 кг/га, в фазу массового цветения – 6,4 кг/га, во второй год развития растений душицы обыкновенной – соответственно 1,9, 4,8, 4,6 и 8,5 кг/га при сумме за три года возделывания 6,7 (фаза бутонизации), 16,1 (фаза «начало цветения»), 15,8 (фаза плодоношения) и 29,4 кг/га (фаза массового цветения).

Способ размножения практически не сказался на содержании эфирных масел в зеленой массе лаванды узколистной и душицы обыкновенной (табл. 3).

Таблица 3. Содержание эфирных масел в зеленой массе душицы обыкновенной и лаванды узколистной в зависимости от способа размножения (фаза массового цветения, 2 год возделывания)

Способ размножения	Зеленая масса, ц/га	Сухое вещество, ц/га	Содержание эфирных масел, %	Сбор эфирных масел, кг/га
<b>Душица обыкновенная</b>				
Семенами в открытый грунт	59,5	13,5	0,32	4,3
Рассадой	108,5	24,5	0,34	8,3
Делением куста	110,8	25,1	0,34	8,5
НСР <sub>05</sub>	4,5	1,1	0,02	
<b>Лаванда узколистная</b>				
Рассадой	120,2	25,7	0,62	15,9
Черенками	88,7	19,0	0,61	11,6
НСР <sub>05</sub>	5,1	1,1	0,03	

В зависимости от способа размножения содержание эфирных масел в фазу массового цветения у лаванды узколистной составило 0,61–0,62 %, у душицы обыкновенной – 0,32–0,34 %. В то же время

наибольший сбор эфирных масел, который зависел также от урожайности зеленой массы и сбора сухого вещества, у душицы обыкновенной отмечен при размножении рассадой и делением куста: 8,3–8,5 ц/га при урожайности зеленой массы 108,5–110,8 ц/га, у лаванды узколистной – при размножении рассадой: 15,9 ц/га при урожайности зеленой массы 120,2 ц/га.

Большой практический интерес представляет характер накопления эфирных масел по органам растений, что позволяет оптимизировать их сбор и переработку [24].

В наших исследованиях максимальное содержание эфирных масел отмечено в соцветиях: у лаванды узколистной – 0,73–0,77 %, у душицы обыкновенной – 0,45–0,48 % при содержании в листьях соответственно 0,15–0,17 % и 0,13–0,14 %, в стеблях – 0,08 % (лаванда узколистная) и 0,04 % (душица обыкновенная) (табл. 4).

Таблица 4. Содержание эфирных масел в органах растений душицы обыкновенной и лаванды узколистной (фаза массового цветения), % в сухом веществе

Год	Душица обыкновенная			Лаванда узколистная		
	стебли	листья	соцветия	стебли	листья	соцветия
2023	0,04	0,13	0,45	0,08	0,15	0,73
2024	0,04	0,14	0,47	0,08	0,17	0,74
2025	0,04	0,14	0,48	0,08	0,17	0,77
Среднее	0,04	0,14	0,47	0,08	0,16	0,75

### Заключение

Растения лаванды узколистной в среднем по годам возделывания и в зависимости от фазы развития растений содержат большее количество эфирных масел в зеленой массе в сравнении с растениями душицы обыкновенной: фаза бутонизации – соответственно 0,12 и 0,09 %, фаза «начало цветения» – 0,44 и 0,21 %, фаза массового цветения – 0,63 и 0,34 %, фаза созревания семян – 0,49 (лаванда узколистная) и 0,17 % (душица обыкновенная) при максимальном их содержании и сборе в фазу массового цветения у обоих видов растений на третий год возделывания (лаванда узколистная – содержание 0,65 %, сбор – 38,4 кг/га; душица обыкновенная – 0,35 % и 14,5 кг/га).

В зависимости от способа размножения содержание эфирных масел в фазу массового цветения у лаванды узколистной составило 0,61–0,62 %, у душицы обыкновенной – 0,32–0,34 % при наибольшем сборе эфирных масел у душицы обыкновенной при размножении рассадой и делением куста (8,3–8,5 ц/га при урожайности зеленой массы 108,5–110,8 ц/га), у лаванды узколистной – при размножении рассадой (15,9 ц/га при урожайности зеленой массы 120,2 ц/га).

Максимальное содержание эфирных масел отмечено в соцветиях как лаванды узколистной (0,73–0,77 %), так и душицы обыкновенной (0,45–0,48 %) при содержании в листьях соответственно 0,15–0,17 % и 0,13–0,14 %, в стеблях – 0,08 % (лаванда узколистная) и 0,04 % (душица обыкновенная).

### ЛИТЕРАТУРА

1. Антиоксидантная активность новых сортов пряно-ароматических и эфирно-масличных культур / Т. В. Сачивко, Н. А. Коваленко, Г. Н. Супиченко, В. Н. Босак // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. – 2023. – Т. 61, № 4. – С. 282–290.
2. Блохин, А. А. Способы размножения душицы обыкновенной / А. А. Блохин, Т. В. Сачивко // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2025. – № 3. – С. 66–70.
3. Блохин, А. А. Эффективность способов размножения лаванды узколистной / А. А. Блохин, Т. В. Сачивко // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2025. – № 4. – С. 25–30.
4. Ваш богатый огород / А. П. Шкляр, С. А. Банадысов, В. Н. Босак [и др.]. – Минск: УниверсалПресс, 2005. – 320 с.
5. Генетические ресурсы растений. Пряно-ароматические и эфирно-масличные культуры / Т. В. Сачивко, Н. А. Дуктова, О. В. Порхунцова [и др.]. – Горки: БГСХА, 2021. – 22 с.
6. Маланкина, Е. Л. Лекарственные и эфирномасличные культуры / Е. Л. Маланкина, А. Н. Цицилин. – Москва: Инфра-М, 2024. – 368 с.
7. Оценка душицы обыкновенной по хозяйственно полезным признакам / Т. В. Сачивко, В. Н. Босак, А. А. Блохин [и др.] // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2023. – № 4. – С. 44–51.
8. Оценка новых сортов *Origanum vulgare* L. по хозяйственно-полезным признакам / Т. В. Сачивко, В. Н. Босак, Г. С. Егорова [и др.] // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2023. – № 4 (72). – С. 151–159.
9. Пряно-ароматические и эфирно-масличные культуры: урожайность и жирнокислотный состав семян / Т. В. Сачивко, Е. В. Феськова, Н. А. Коваленко [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2022. – Т. 52, № 4. – С. 675–684.
10. Сачивко, Т. В. Аллелопатические свойства пряно-ароматических и эфирно-масличных растений / Т. В. Сачивко, А. А. Блохин, В. Н. Босак // Овощеводство. – 2021. – Т. 29. – С. 171–179.
11. Сачивко, Т. В. Особенности коллекции пряно-ароматических растений в ботаническом саду / Т. В. Сачивко, В. Н. Босак // Труды БГТУ: Лесное хозяйство. – 2016. – № 1. – С. 206–210.
12. Сачивко, Т. В. Оценка сортов душицы обыкновенной (*Origanum vulgare* L.) по основным хозяйственно полезным признакам / Т. В. Сачивко, В. Н. Босак, М. В. Наумов // Овощеводство. – 2019. – Т. 27. – С. 189–194.

13. Сачивко, Т. В. Применение душицы обыкновенной в традиционной и народной медицине / Т. В. Сачивко, В. Н. Босак, М. В. Наумов // Лекарственное растениеводство: от опыта прошлого к современным технологиям. – Полтава, 2020. – С. 205–206.
14. Сачивко, Т. В. Сортовое обеспечение пряно-ароматических и эфирно-масличных культур в Беларуси / Т. В. Сачивко, В. Н. Босак // Лесное хозяйство. – Минск: БГТУ, 2026.
15. Сачивко, Т. В. Состояние и перспективы производства пряно-ароматических культур в Республике Беларусь / Т. В. Сачивко, В. Н. Босак // Вестник технофермерской безопасности и сельского развития. – 2026. – № 1.
16. Сачивко, Т. В. Сухоцветы ботанического сада / Т. В. Сачивко, В. П. Моисеев, О. П. Суринович. – Горки: БГСХА, 2020. – 25 с.
17. Сачивко, Т. В. Экономическая эффективность возделывания новых сортов пряно-ароматических и эфирно-масличных растений / Т. В. Сачивко // Актуальные проблемы инновационного развития агропромышленного комплекса Беларуси. – Горки, 2025. – С. 270–274.
18. Сачивко, Т. В. Экономические аспекты возделывания пряно-ароматических и эфирно-масличных культур / Т. В. Сачивко, В. Н. Босак // Ресурсосберегающие технологии в агропромышленном комплексе России. – Красноярск, 2025. – С. 194–196.
19. Сачыўка, Т. У. Роля вострасмакавых і эфірна-алеіных культур у забеспячэнні харчовай бяспекі / Т. У. Сачыўка, В. М. Босак, І. І. Сяргеева // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства. – Горки: БГСХА, 2025. – Вып. 10. – С. 61–63.
20. Антимикробные свойства эфирных масел новых сортов душицы обыкновенной / Т. В. Сачивко, Т. И. Ахрамович, Н. А. Коваленко [и др.] // Химия растительного сырья. – 2023. – № 4. – С. 343–351.
21. Биохимический состав новых сортов пряно-ароматических и эфирно-масличных культур / В. Н. Босак, Т. В. Сачивко, Н. В. Барбасов [и др.] // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2024. – № 1. – С. 64–68.
22. Блохин, А. А. Особенности накопления эфирных масел растениями душицы обыкновенной и лаванды узколистной / А. А. Блохин, Т. В. Сачивко // Наука и инновационные технологии в решении проблем продовольственной безопасности. – Горки: БГСХА, 2025. – Ч. 1. – С. 47–48.
23. Бочко, Т. Н. Определение компонентного состава эфирных масел лаванды *Lavandula* SPP. / Т. Н. Бочко, Ю. П. Дубовик, Ю. А. Савельева // Весті НАН Беларусі. Серыя хімічных навук. – 2023. – Т. 59, № 4. – С. 295–301.
24. Гуринович, Л. К. Эфирные масла: химия, анализ и применение / Л. К. Гуринович, Т. В. Пучкова. – Москва: Школа косметических химиков, 2005. – 192 с.
25. Использование показателей компонентного состава эфирных масел для идентификации сорта / Т. В. Сачивко, Н. А. Коваленко, Г. Н. Супиченко, В. Н. Босак // Овощи России. – 2019. – № 3. – С. 68–73.
26. Компонентный и энантиомерный состав эфирных масел душицы обыкновенной / Т. В. Сачивко, Н. А. Коваленко, Г. Н. Супиченко [и др.] // Сельское хозяйство – проблемы и перспективы. – 2020. – Т. 51. – С. 133–140.
27. Компонентный состав и антимикробные свойства эфирного масла растений *Origanum vulgare* L. / Н. А. Коваленко, Г. Н. Супиченко, Т. И. Ахрамович [и др.] // Лекарственное растениеводство: от опыта прошлого к современным технологиям. – Полтава, 2021. – С. 115–116.
28. Особенности компонентного состава эфирного масла травы *Origanum vulgare* L., произрастающей в Республике Беларусь / Н. А. Коваленко, Г. Н. Супиченко, Т. В. Сачивко, В. Н. Босак // Переработка и управление качеством сельскохозяйственной продукции. – Минск: БГАТУ, 2021. – С. 226–228.
29. Перспективы использования и особенности эфирных масел растений Республики Беларусь / Н. А. Коваленко, Г. Н. Супиченко, Т. В. Сачивко, В. Н. Босак // Инновационные решения проблем экономики знаний Беларуси и Казахстана. – Минск: БНТУ, 2016. – С. 236–237.
30. Работягов, В. Д. Компонентный состав и содержание эфирных масел двух видов *Lavandula* (*Lamiaceae*), выращиваемых в условиях Крыма / В. Д. Работягов, А. Е. Палий // Химия растительного сырья. – 2017. – № 1. – С. 59–64.
31. Сачивко, Т. В. Особенности накопления эфирных масел малораспространенными видами пряно-ароматических культур / Т. В. Сачивко, В. Н. Босак // Развитие и внедрение современных наукоемких технологий для модернизации агропромышленного комплекса. – Курган: КГСХА, 2020. – С. 317–321.
32. Сачивко, Т. В. Содержание эфирных масел в различных видах пряно-ароматических и зеленных культур / Т. В. Сачивко, В. Н. Босак // Переработка и управление качеством сельскохозяйственной продукции. – Минск: БГАТУ, 2019. – С. 341–343.
33. Antimicrobial properties of the Essential Oils of New Varieties of *Origanum Vulgare* L. / Т. В. Sachivko, Т. И. Akhramovich, N. А. Kovalenko [et al.] // Russian Journal of Bioorganic Chemistry. – 2024. – Т. 50, No. 7. – P. 2859–2865.
34. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. – Москва: Альянс, 2011. – 352 с.
35. Козловская, И. П. Производственные технологии в агрономии / И. П. Козловская, В. Н. Босак. – М.: Инфра-М, 2016. – 336 с.
36. Литвинов, С. С. Методика полевого опыта в овощеводстве / С. С. Литвинов. – Москва: ВНИИО, 2011. – 650 с.
37. Почвенная характеристика опытного участка «Полигон» / В. Н. Босак, Е. Ф. Валеиша, Т. В. Сачивко [и др.] // Технологические аспекты возделывания сельскохозяйственных культур. – Горки: БГСХА, 2024. – С. 28–30.
38. Технология возделывания овощных, бахчевых культур, картофеля, пряно-ароматических и лекарственных растений / А. А. Аутко, В. К. Пестис, В. В. Гракун [и др.]. – Минск: Беларуская навука, 2022. – 614 с.
39. Характеристика и особенности агротехники новых сортов пряно-ароматических культур / Т. В. Сачивко, В. Н. Босак, А. П. Гордеева, М. В. Наумов. – Горки: БГСХА, 2019. – 20 с.
40. Бейдеман, И. Н. Методика изучения фенологии растений и растительных сообществ / И. Н. Бейдеман. – Новосибирск: Наука, 1974. – 153 с.

## МЕХАНИЗАЦИЯ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 631.22.018-52

### КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РОБОТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ НАВОЗООДАЛЕНИЯ

А. В. КИТУН

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,  
г. Минск, Республика Беларусь, 220023, e-mail: ktmg@batu.edu.by

Ю. А. КРУПЕНИН, П. Ю. КРУПЕНИН

УО «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции  
и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия»,  
г. Горки, Республика Беларусь, 213407, e-mail: pavel@krupenin.com

(Поступила в редакцию 27.10.2025)

*Регулярная и полная уборка навоза в животноводческих помещениях является необходимым условием получения высококачественной продукции животноводства, обеспечения требуемого микроклимата и санитарного состояния ферм, сохранения здоровья животных и обслуживающего персонала. Но удаление навоза из животноводческих помещений – один из наиболее трудоемких процессов на ферме. В связи с этим для сокращения затрат труда и обеспечения качественной и своевременной уборки навоза в животноводческих помещениях за рубежом были разработаны автоматизированные системы навозоудаления.*

*Конструктивное исполнение навозоуборочного оборудования зависит, главным образом, от его целевого назначения, т. е. для уборки каких навозных проходов они предназначены: со сплошными или щелевыми полами.*

*Для очистки навозных проходов со сплошными полами используются скреперные роботизированные установки, обеспечивающие сбор навоза с поверхности пола и транспортировку навозной массы к поперечному навозному каналу.*

*При уборке навоза в проходах животноводческих помещений, оборудованных щелевыми полами, основной функцией используемых технических средств является проталкивание навозной массы через щели в подпольное пространство. Это обусловило разработку для очистки щелевых полов мобильными роботами, работающими в автономном режиме. Такие машины имеют компактную конструкцию и оснащены электроприводом с питанием от аккумуляторных батарей, программируемой системой управления и рабочим органом в виде фронтального скребка.*

*Автоматизация и роботизация операций по уборке навоза в животноводческих помещениях позволяют добиться максимальной эффективности работы технических средств, улучшения санитарно-гигиенического состояния животноводческих помещений, снижения затрат и улучшения условий труда обслуживающего персонала.*

**Ключевые слова:** навозоудаление, роботизация, автоматизация, животноводческое помещение, трудоемкость, энергозатраты.

*Regular and complete manure removal in livestock buildings is essential for producing high-quality livestock products, ensuring the required microclimate and sanitary conditions on farms, and preserving the health of animals and maintenance personnel. However, manure removal from livestock buildings is one of the most labor-intensive processes on a farm. Therefore, automated manure removal systems have been developed abroad to reduce labor costs and ensure high-quality and timely manure removal in livestock buildings.*

*The design of manure removal equipment depends primarily on its intended purpose, i.e., whether it is intended for cleaning manure passages with solid or slatted floors. Robotic scraper systems are used to clean manure alleys with solid floors. They collect manure from the floor surface and transport it to a transverse manure channel.*

*When cleaning manure in the alleys of livestock buildings equipped with slatted floors, the primary function of the equipment used is to push the manure through the slats into the subfloor. This has led to the development of mobile robots operating autonomously for cleaning slatted floors. These machines have a compact design and are equipped with a battery-powered electric drive, a programmable control system, and a frontal scraper.*

*Automation and robotization of manure removal operations in livestock buildings allow for maximum equipment efficiency, improved sanitary and hygienic conditions, reduced costs, and improved working conditions for maintenance personnel.*

**Key words:** manure removal, robotization, automation, livestock building, labor intensity, energy consumption.

## Введение

Регулярная и полная уборка навоза в животноводческих помещениях является необходимым условием получения высококачественной продукции животноводства, обеспечения требуемого микроклимата и санитарного состояния ферм, сохранения здоровья животных и обслуживающего персонала. Но удаление навоза из животноводческих помещений – один из наиболее трудоемких процессов на ферме. В связи с этим для сокращения затрат труда и обеспечения качественной и своевременной уборки навоза в животноводческих помещениях ведется активная разработка автоматизированных систем навозоудаления [1–4].

Цель исследования: анализ конструктивно-технологических особенностей современных технических систем для уборки навоза в животноводческих помещениях с разработкой классификации роботизированного навозоуборочного оборудования.

Конструктивное исполнение навозоуборочного оборудования зависит, главным образом, от его целевого назначения, т. е. для уборки каких навозных проходов они предназначены: со сплошными или щелевыми полами.

Для очистки навозных проходов со сплошными полами используются скреперные роботизированные установки, обеспечивающие сбор навоза с поверхности пола и транспортировку навозной массы к поперечному навозному каналу. Автоматизированные навозоуборочные системы такой конструкции выпускает ряд ведущих производителей [5].

## Основная часть

Французская фирма Sermap Sas (торговая марка «MIRO») для уборки подстилочного и бесподстилочного навоза из навозных проходов со сплошными полами разработала автономную скреперную установку Scarabeo, основными частями которой являются комбискрепер, блок управления, зарядное устройство и направляющий профиль (рис. 1).



Рис. 1. Автономная скреперная установка Scarabeo

Корпус скрепера установлен на колесах, приводимых в движение от мотор-редуктора с двумя аккумуляторными батареями. При возврате в исходное положение скребки автоматически переводятся в холостое положение. На конечной станции аккумуляторы заряжаются от зарядного устройства.

Задание направления перемещения установки осуществляется за счет взаимодействия направляющего профиля скрепера с желобом, выполненным в навозном проходе помещения. Это позволяет перемещать установку по дуге радиусом до 4 м. Кроме того, при разветвлении навозных проходов предусмотрена возможность использования системы «стрелок» (по аналогии с железнодорожными путями) и уборки навоза поочередно в каждом из них.

Блок управления обеспечивает работу установки в полностью автоматическом режиме по установленной программе с возможностью дистанционного управления рабочим процессом. Безопасная эксплуатация робота обеспечивается за счет функции остановки робота при столкновении его с препятствием. Одна установка может выполнять уборку навоза из нескольких навозных проходов длиной до 100 м (табл. 1).

Таблица 1. Размеры скреперных установок Scarabeo и навозных проходов

Размеры установки, мм		Ширина навозного прохода, м	Максимальная длина навозного прохода при уборке, м	
корпус скрепера	длина внешних скребков		бесподстилочного навоза	подстилочного навоза
1600 × 550 × 280	400	1,70...2,49	60	30
2200 × 500 × 280	650	2,50...2,75	80	45
2200 × 500 × 280	1050	2,76...3,00	80	45
2200 × 500 × 280	1450	3,01...3,50	80	45
2700 × 500 × 280	1450	3,51...4,00	100	60
2700 × 500 × 280	2350	4,01...5,00	100	60

Программное обеспечение систем управления позволяет настроить временные интервалы между рабочими циклами и другие параметры.

Безопасная эксплуатация скрепера обеспечивается благодаря наличию функции его остановки при столкновении с препятствием. При этом могут быть запрограммированы следующие этапы поведения оборудования в этой ситуации:

- приостановка работы на 15...30 с;
- попытка возобновления работы;
- в случае невозможности возобновить движение, подача сигнала об аварийной ситуации (светового, звукового, по мобильной связи и др.).

При уборке навоза в проходах животноводческих помещений, оборудованных щелевыми полами, основной функцией используемых технических средств является проталкивание навозной массы через щели в подпольное пространство. Это обусловило разработку для очистки щелевых полов мобильных роботов, работающих в автономном режиме. Такие машины имеют компактную конструкцию и оснащены электроприводом с питанием от аккумуляторных батарей, программируемой системой управления и рабочим органом в виде фронтального скребка [6, 7].

Мобильный навозоуборочный робот Stone разработан канадским подразделением «Houle» компании GEA Farm Technologies (рис. 2). Основные элементы робота размещены на шасси с двумя большими приводными колесами и одним маленьким управляющим колесом.



Рис. 2. Навозоуборочный робот Stone фирмы GEA Farm Technologies

Энергоснабжение робота осуществляется от аккумуляторных батарей, емкость которых обеспечивает работу робота в течение 19,5 ч в сутки. При такой продолжительности работы и рабочей скорости передвижения 4 м/мин робот может очищать от навоза поверхность решетчатых полов в животноводческих помещениях до 8 раз в сутки на площади 6000...8600 м<sup>2</sup>. Зарядная станция, входящая в комплект оборудования, за счет наличия функции быстрой зарядки позволяет всего за 4,5 ч (обычно в ночное время) производить полную зарядку аккумуляторных батарей.

Высокое качество очистки проходов обеспечивается за счет оснащения скребка боковыми створками с роликами, а также очень высокой маневренностью робота (для полного его разворота требуется расстояние в 2 м). Предотвращение буксования приводных колес и создание необходимого усилия для сдвигания навозной массы (до 100 кг) обеспечивается балластом, увеличивающим общую массу робота до 400 кг, и приводными колесами с шинами с глубоким протектором.

Контакт боковых створок скребка с бортиком навозного канала в сочетании с сенсорами расстояния дает возможность роботу автономно следовать по заданному маршруту. При потере контакта боковых створок с бортиком навозного канала система управления поворачивает робот в сторону бортика вплоть до соприкосновения с ним.

Безопасная эксплуатация Stone обеспечивается наличием функции остановки робота, когда сопротивление его движению превышает допустимое значение. Спустя определенное время после остановки робот возобновляет движение по запланированному маршруту.

Навозоуборочный робот RS250 аналогичной конструкции разработала фирма DeLaval (Швеция). На его шасси размещены электропривод с аккумуляторными батареями, фронтальный скребок и автоматическая система управления с интегрированной функцией безопасной эксплуатации робота. Программируется маршрут передвижения RS250 вручную с использованием портативного контроллера (рис. 3).



Рис. 3. Навозоуборочный робот RS250 фирмы DeLaval

Емкость аккумуляторных батарей робота RS250 позволяет в коровнике на 250 гол. очищать щелевые полы от навоза до 5 раз в сутки без подзарядки.

Фирма JOZ (Нидерланды) разработала робот JOZ-Tech для удаления навоза со щелевых полов. Он, как и предыдущие аналоги, состоит из шасси, электропривода, аккумуляторных батарей, автоматической системы управления и скребка (рис. 4).



Рис. 4. Навозоуборочный робот JOZ-Tech фирмы JOZ

Программное обеспечение системы управления робота JOZ-Tech позволяет ему в автоматическом режиме перемещаться по установленному маршруту (за счет установленных в полу проходов датчиков), обеспечивая необходимую периодичность уборки, остановку в аварийных ситуациях и др.

Система безопасной эксплуатации дает возможность при необходимости самостоятельно находить альтернативные пути движения робота, если какие-либо препятствия делают невозможным его следование по запрограммированному маршруту.

Робот поддерживает беспроводную связь с центральным пультом управления фермы, благодаря чему информация о сбоях и аварийных ситуациях сразу поступает в диспетчерскую. При перемещении со скоростью 4 м/мин, продолжительности непрерывной работы 18 ч и максимальной ширине захвата скребка в пределах 130...190 см, робот способен за сутки очистить до 8000 м<sup>2</sup> поверхности щелевых полов.

Используя свои многочисленные наработки в области создания роботизированных систем для животноводства, фирма Lely разработала мобильный робот Discovery (рис. 5) для уборки навоза со щелевых и коротких (до 5 м) сплошных полов коровников.

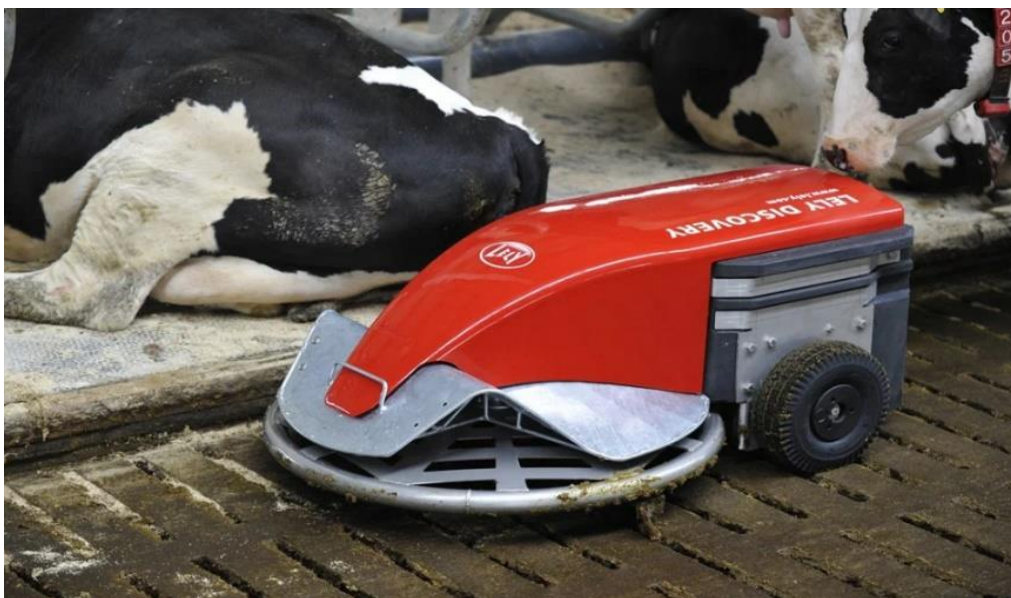


Рис. 5. Навозоуборочный робот Discovery

Робот Discovery работает от аккумуляторной батареи и оснащен рабочим органом в виде скребка. Маршрут движения робота программируется с дистанционного пульта управления по электронным каналам связи E-link. С целью более интенсивной очистки наиболее загрязненных участков оператор имеет возможность внести соответствующие изменения в уже введенное задание. Заранее программируется и расстояние робота от внешних конструктивных ограждений коровника, которое поддерживается при всех его перемещениях с помощью ультразвукового датчика. Отправным пунктом для выполнения каждого запрограммированного маршрута уборки служит зарядная станция.

Оригинальным элементом конструкции навозоуборочного робота Discovery является расположенная в его передней части вращающаяся дуга безопасности, предназначенная для предотвращения блокирования движения робота при его столкновении с препятствиями.

Для уборки навоза на сплошных бетонных полах или полах с резиновым покрытием фирмой Lely разработан робот Discovery 120 Collector (рис. 6). В отличие от вышерассмотренных технических средств этот робот не толкает навоз перед собой или проталкивает его через щелевой пол, а собирает его в собственный резервуар. В результате пол остается чистым, а заболевания копыт значительно снижаются.



Рис. 6. Навозоуборочный робот Discovery 120 Collector

Робот Discovery 120 Collector оснащен двумя форсунками для смачивания пола водой: впереди для размягчения прилипшего навоза и, как следствие, более качественной очистки; сзади – для создания на поверхности пола водяной пленки и предотвращения быстрого прилипания к нему новых порций экскрементов. Обе форсунки можно включать и выключать в зависимости от физико-механических свойств навоза и состояния поверхности пола в животноводческом помещении.

Скрепки робота направляют навоз к всасывающему отверстию в его корпусе и навозные массы поступают внутрь за счет разрежения, создаваемого вакуумным насосом. По достижении роботом зоны выгрузки вакуумный насос отключается и навоз сливается в приемное отверстие. Одновременно с выгрузкой навоза происходит автоматическое наполнение резервуаров для воды.

Навозоуборочный робот Lely Discovery Collector обладает следующими техническими характеристиками: сухая масса – 370 кг; объем резервуара для навоза – 340 л; объем резервуаров для воды – 70 л; обслуживаемое поголовье коров – до 100 гол.; очищаемая площадь пола – до 500 м<sup>2</sup>; суточное энергопотребление – 3,0 кВт·ч; суточное потребление воды – 700 л.

При очистке станочного оборудования для содержания свиней от загрязнений (в основном от навоза) в последнее время достаточно часто используют моечно-дезинфекционные машины высокого давления. Такое оборудование обеспечивает высокое качество очистки и в значительной степени механизмирует процесс уборки технологического оборудования. В то же время мойка станков сопровождается выделением в воздух помещения большого количества соединений аммиака, бактерий, грибковой микрофлоры, в результате чего у обслуживающего персонала возникают проблемы со здоровьем (насморк, воспаление глаз, повышение температуры и др.).

Для исключения негативных последствий использования моечных машин высокого давления на здоровье работников специалисты фирмы Ramsta Robotics (Швеция) разработали моечный робот Clever Cleaner (рис. 7).



Рис. 7. Моющий робот Clever Cleaner фирмы Ramsta Robotics

Робот представляет собой шасси с электроприводом, на котором смонтированы рука-манипулятор и барабан для наматывания до 50 м шланга подачи моющего раствора. Для эффективной работы робота необходима моечно-дезинфекционная установка производительностью 0,96...1,08 м<sup>3</sup>/ч и давлением моющего раствора 18...20 МПа, которая размещается в животноводческом помещении отдельно.

Максимальный радиус зоны досягаемости руки-манипулятора 4 м, на ее конце установлены гидравлическая фреза для очищения станочного оборудования от прочных загрязнений и сопло для формирования струи моющего раствора (эффективная дальность действия струи до 5,5 м).

Программирование робота осуществляется путем его обучения выполнению требуемой последовательности технологических операций. Так, при первой мойке первого станка оператор управляет движениями руки-манипулятора вручную джойстиком, а все выполняемые им операции автоматически заносятся в память системы управления.

Для мойки технологического оборудования во всем проходе по обе его стороны наносятся маркеры (RFID-метки) в местах остановки робота. Так формируется алгоритм мойки технологического оборудования всего помещения. После программирования системы управления робота для запуска его в работу необходимо лишь ввести номер соответствующей схемы, после чего робот выполнит автоматическую мойку секции путем воспроизведения всех предусмотренных схемой операций.

При возникновении нештатной ситуации (например, блокирование манипулятора) система управления прерывает выполнение текущей операции и выдает аварийный сигнал, для обработки которого робот оснащен интеллектуальной системой самодиагностики. Она контролирует работу всех приводных механизмов и выводит на пульт оператора сведения о сбоях. Аварийный сигнал может передаваться по сотовой связи сразу на несколько номеров мобильных телефонов (до четырех).

Опыт эксплуатации подтверждает, что Clever Cleaner выполняет 80...85 % от общего объема работ по мойке технологического оборудования для содержания свиней. Специалисты фирмы подсчитали, что для обеспечения рентабельности установка должна работать не менее 300 ч в год.

## Заключение

Системы навозоудаления являются необходимым элементом животноводческих ферм и комплексов. С их помощью поддерживается достаточный уровень чистоты, обеспечивается соблюдение санитарно-гигиенических требований.

Роботизированное навозоуборочное оборудование можно классифицировать следующим образом:

- технические средства для уборки навоза на щелевых полах;
- технические средства для уборки навоза на сплошных бетонных полах или полах с резиновым покрытием;
- технические средства для очистки станочного оборудования.

Автоматизация и роботизация операций по уборке навоза в животноводческих помещениях позволяют добиться максимальной эффективности работы технических средств, снижения затрат труда, улучшения санитарно-гигиенического состояния животноводческих помещений и улучшения условий труда обслуживающего персонала.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Энергоанализ процесса навозоудаления при производстве молока и говядины / М. П. Пучка [и др.] // Теория и практика современной аграрной науки: сб. VIII национальной (всероссийской) научн. конф. с междунар. участием, Новосибирск, 24 февраля 2025 года. – Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой колос», 2025. – С. 1357–1360.
2. Цой, Ю. А. Перспективные направления автоматизации систем навозоудаления при беспривязном содержании скота / Ю. А. Цой, В. В. Челноков, Р. А. Мамедова, А. С. Панфилов // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве: тр. междунар. научно-техн. конф. – 2010. – Т. 3. – С. 136–140.
3. Крупенин, П. Ю. Математическая модель процесса механического транспортирования полужидкого навоза по каналу круглого поперечного сечения / П. Ю. Крупенин, А. К. Рендов // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2020. – № 3. – С. 176–181.
4. Крупенин, Ю. А. Теоретическое исследование рабочего процесса скреперного навозоуборочного оборудования в проходах с подпольным каналом / Ю. А. Крупенин, П. Ю. Крупенин // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства: сб. науч. тр. / редкол.: В. Р. Петровец (гл. ред.) [и др.]. – Вып. 6. – Горки: БГСХА, 2021. – С. 80–85.
5. Крупенин, П. Ю. Технические системы точного животноводства: учебное пособие / П. Ю. Крупенин, Ю. А. Крупенин, А. В. Китун. – Горки: БГСХА, 2025. – 128 с.
6. Роботизированные системы в животноводстве: учебное пособие / А. А. Науменко [и др.]; Харьковский национальный технический ун-т сельского хозяйства имени Петра Василенко. – Харьков: ХНТУСХ им. Петра Василенка, 2015. – 171 с.
7. Смирнов, В. А. Роботизированные системы уборки навоза на ферме / В. А. Смирнов // Знания молодых – будущее России: материалы XXII Междунар. студенческой научн. конф.: в 5-и частях, Киров, 03–04 апреля 2024 года. – Киров: Вятский государственный агротехнологический университет, 2024. – С. 465–468.

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ГАЗО-ТВЕРДОТЕЛЬНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ И СТРАТЕГИИ УПРАВЛЕНИЯ ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ ТОЧНОГО ДОЗИРОВАНИЯ ПРИ ПОСЕВЕ КУКУРУЗЫ

КОНГ ЦЗЯЛИ, ЛЯН ЭНЬЦЯН, В. С. АСТАХОВ, Г. О. ИВАНЧИКОВ

УО «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции  
и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия»,  
г. Горки, Республика Беларусь, 213407

(Поступила в редакцию 27.11.2025)

В современном сельском хозяйстве точный посев кукурузы играет ключевую роль в повышении урожайности и эффективности производства. Однако традиционные механические системы распределения семян сталкиваются с серьезными техническими проблемами: высоким уровнем повреждения семян (зачастую превышающим 5–10 %) и низкой стабильностью газового поля, что приводит к неравномерному распределению, потерям ресурсов и снижению качества всходов. В ответ на эти вызовы настоящее исследование предлагает инновационное решение, основанное на патентной технологии горизонтального распределителя, разработанной в Украинской национальной сельскохозяйственной академии. Эта технология служит фундаментом для создания комплексной технической системы, интегрирующей три ключевых компонента: моделирование газо-твердотельного поля потока, интеллектуальное секционное управление и многокритериальную оптимизацию.

Полевые испытания, проведенные на экспериментальных участках в условиях реального земледелия, подтвердили эффективность усовершенствованной системы. Уровень одиночного семени (процент семян, высеваемых без дублей или пропусков) достиг 96,7 %, что значительно превосходит традиционные модели (обычно 85–90 %). Уровень повреждения семян снижен до минимального 1,1 %, благодаря мягкому газовому воздействию, а энергопотребление уменьшено на 33 % за счет оптимизированных циклов работы и снижения потерь воздуха. Эти результаты не только демонстрируют практическую ценность разработки, но и предоставляют теоретическую основу для дальнейшего масштабирования.

В целом, предложенная система обеспечивает интеллектуальное обновление оборудования для точного дозирования посева кукурузы, способствуя переходу к «умному» земледелию. Она открывает перспективы для интеграции с IoT-устройствами и автоматизированными тракторами, снижая экологический footprint и повышая экономическую эффективность ферм. Исследование подчеркивает важность междисциплинарного подхода, сочетающего механику, электронику и моделирование, для решения глобальных задач продовольственной безопасности.

**Ключевые слова:** газо-твердотельное поле потока, интеллектуальное секционное управление, многокритериальная оптимизация, оборудование для точного дозирования посева кукурузы, интеллектуальное управление.

*In modern agriculture, precision seeding of corn plays a key role in increasing yields and production efficiency. However, traditional mechanical seed distribution systems face significant technical challenges: high seed damage (often exceeding 5–10 %) and poor gas field stability, leading to uneven distribution, resource loss, and reduced seedling quality. In response to these challenges, this study proposes an innovative solution based on a patented horizontal distributor technology developed at the Ukrainian National Agricultural Academy. This technology serves as the foundation for the development of a comprehensive technical system integrating three key components: gas-solid flow field modeling, intelligent sectional control, and multi-criteria optimization.*

*Field trials conducted on experimental plots under real-world farming conditions confirmed the effectiveness of the improved system. The single-seed rate (the percentage of seeds sown without duplicates or omissions) reached 96.7 %, significantly exceeding traditional models (typically 85–90 %). Seed damage was reduced to a minimum of 1.1 % thanks to gentle gas action, and energy consumption was reduced by 33 % due to optimized operating cycles and reduced air loss. These results not only demonstrate the practical value of the development but also provide a theoretical basis for further scaling.*

*Overall, the proposed system provides an intelligent upgrade for precision corn seeding equipment, facilitating the transition to smart farming. It opens up prospects for integration with IoT devices and automated tractors, reducing the environmental footprint and increasing farm economic efficiency. The study highlights the importance of an interdisciplinary approach combining mechanics, electronics, and modeling to address global food security challenges.*

**Key words:** gas-solid flow field, intelligent sectional control, multi-criteria optimization, precision corn seeding equipment, intelligent control.

### Введение

Ключевой проблемой, с которой сталкиваются агротехнические системы при точном дозировании посева кукурузы, заключается в остром противоречии между двумя критическими требованиями: обеспечением «прецизионного распределения семян» (необходимого для равномерности всхожести и урожайности) и поддержанием «эффективной работы» (высокой скорости движения техники и широкого захвата орудия). Традиционный вертикальный дисковый распределитель семян, широко используемый в сельском хозяйстве, опирается на механический контакт между компонентами устройства для заполнения и транспортировки семян. Однако этот принцип имеет существенные недостатки: при увеличении ширины захвата орудия (для увеличения производительности на крупных полях) или скорости движения трактора неизбежно возникает два негативных эффекта – уровень повреждения семян превышает 2 % (что снижает их жизнеспособность) и заметное снижение показателя одиночного семени (коэффициента равномерного размещения по рядам) при высокой скорости работы до

отметки  $\leq 85\%$  [1]. Эти параметры уже не соответствуют современным требованиям к прецизионному земледелию. Хотя альтернативный пневматический механизм высева решает проблему механического повреждения за счет бесконтактного способа посева (семена транспортируются воздушным потоком), он не лишен своих недостатков: нестабильность переноса семян, обусловленная неравномерным распределением воздушного потока в каналах системы (приводит к неравномерности посева), а также высокое энергопотребление (увеличивает расход топлива и эксплуатационные издержки) – эти проблемы до сих пор не были эффективно решены в промышленных решениях [2].

Для улучшения общего качества высева в существующих устройствах точного дозирования посева кукурузы в рамках данной исследовательской работы авторы предложили инновационное решение. Основываясь на оригинальной концепции создания горизонтальных каналов в конструкции горизонтального распределителя, специалисты разработали детальную теоретическую модель газожидкостного двухфазного потока (моделирующую взаимодействие воздушного потока и семян), а также интегрировали в систему интеллектуальный алгоритм управления (способный адаптивно регулировать параметры потока в режиме реального времени). Эти меры позволили эффективно преодолеть традиционную проблему одновременно обеспечения высокой скорости и точности пневматического высева – противоречие, которое сдерживало развитие техники ранее. Помимо этого, в ходе работы была самостоятельно разработана полностью новая система точного дозирования, которая по своим техническим характеристикам пригодна для работы на широких захватах (до нескольких метров) и высоких скоростях движения техники, соответствуя современным требованиям агропромышленного комплекса к эффективности и точности.

### **Газо-твердотельное поле потока: моделирование и оптимизация конструкции**

#### **Математическая модель двухфазного газо-твердотельного потока в горизонтальном распределителе**

Уравнения управления полем потока внутри распределителя построены на основе модели напряжений Рейнольдса (RSM):

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_k} \left[ \mu \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_k} + \frac{\partial u_k}{\partial x_i} \right) - \overline{\rho u_i' u_k'} \right] + S_i$$

Уравнение движения семян описывается вторым законом Ньютона:

$$m_s \frac{du_s}{dt} = F_d(u_g - u_s) + F_l + F_b + F_v m$$

Коэффициент аэродинамического сопротивления  $C_d$  рассчитывается по формуле Шиллера-Наумана с учётом взаимодействия диаметра семян (3–8 мм) и скорости воздушного потока (10–25 м/с) [3].

#### **Ключевые параметры оптимизации поля потока**

Основные параметры, влияющие на однородность поля потока, определены методом ортогонального эксперимента (табл. 1):

Таблица 1. Основные параметры, влияющие на однородность поля потока

Фактор	Уровень 1	Уровень 2	Уровень 3	Оптимальная комбинация
Угол направляющей пластины $\theta$	20°	25°	30	25
Шаг лопастей L	15mm	20mm	25mm	20mm
Форма поперечного сечения канала	Круглая	Эллиптическая	Многоугольная	Эллиптическая

Значительное улучшение характеристик оптимизированного поля потока:

Интенсивность турбулентности снизилась с 18 % до 12,5 %, скорость столкновения семян уменьшилась с 2,8 м/с до 1,9 м/с;

Потери давления уменьшились на 18 %, однородность поля адсорбционных сил повысилась на 35 %, обеспечивая стабильную среду потока для точного захвата отдельных семян.

#### **Инновации в конструкции и выбор материалов**

Двухкамерная направляющая структура: передняя камера (зона всасывания семян) выполнена с расширяющимся дизайном (угол расширения 15°), задняя камера (зона распределения семян) имеет канал с постоянным сечением, реализуя функции управления различными градиентами давления от «сильного всасывания – стабильной транспортировки – точного высвобождения».

Технология поверхностной обработки: нанокерамическое покрытие толщиной 50  $\mu\text{m}$  и шероховатостью  $Ra \leq 0,8 \mu\text{m}$ , нанесённое на внутреннюю стенку распределителя, позволяет снизить коэффициент адсорбции соломы до менее 12 %, при этом износостойкость увеличивается более, чем вдвое [4].

## Интеллектуальное секционное управление и системная интеграция

### Разработка трёхступенчатого алгоритма пневматической регулировки

Динамическая модель регулирования давления на основе скорости работы ( $v$ ) и диаметра семян ( $d$ ):

$$P(t) = \begin{cases} 0.8 - 0.02d & \text{фаза всасывания семян } (0 \leq t < 50\text{ms}) \\ 0.6 + 0.05(v - 6) & \text{фаза транспортировки семян } (50\text{ms} \leq t < 200\text{ms}) \\ 0.3 + 0.01d & \text{фаза высева } (200\text{ms} \leq t < 300\text{ms}) \end{cases}$$

Данная модель обеспечивает точное соответствие давления различным рабочим условиям посредством обучения нейронной сети ВР (обучающая выборка 2000 наборов, среднеквадратичная ошибка  $< 0,01$ ).

### Аппаратная архитектура двойного контроллера

Построение гетерогенной платформы управления STM32+PLC:

**Ядро STM32:** выполнение аэродинамических расчетов и управление поэтапным давлением, частота выборки 1000 Гц, точность управления  $\pm 0,02$  МПа;

**Логический модуль PLC:** реализация диагностики неисправностей (время отклика  $< 50$  мс) и координация нескольких устройств (скорость передачи по шине CAN 1 Мбит/с);

**Конфигурация датчиков:** интеграция датчика давления (точность  $\pm 0,5$  % FS), визуального датчика (разрешение  $1280 \times 720$ ), мониторинг состояния посева в реальном времени.

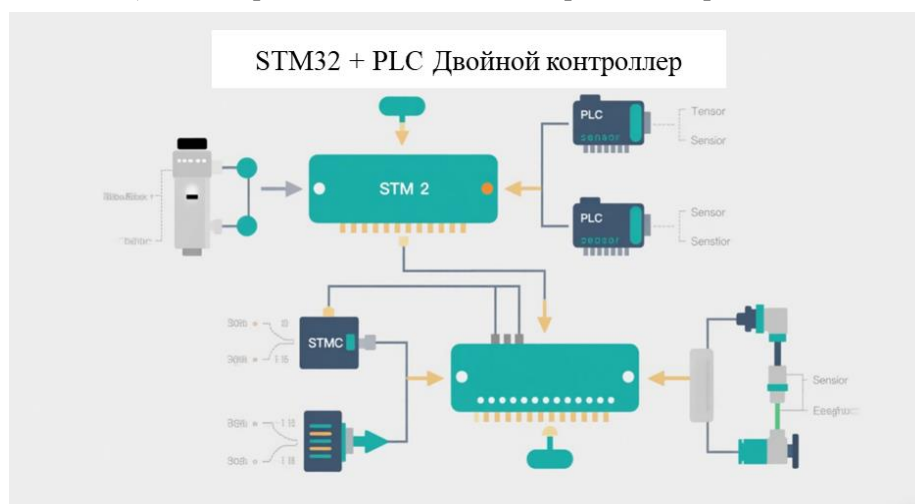


Рис. 1. Архитектура двойного контроллера STM32+PLC

### Оптимизация энергопотребления и надежный дизайн

Технология энергосбережения с регулированием частоты: при работе вентилятора на холостом ходу скорость вращения снижается до 60 % от номинальной, энергопотребление уменьшается с 0,5 кВт·ч/га до 0,35 кВт·ч/га.

Антизасорная самоочистка: после каждого часа работы автоматически запускается устройство обратной продувки (давление 1,0 МПа, время 10 с), коэффициент удаления соломы превышает 98 % [5].

### Полевая проверка и многокритериальная оптимизация

#### Проектирование эксперимента и сбор данных

Проведение сравнительных испытаний в Чжоукоу, провинция Хэнань (глинистая почва), и Тунляо, Внутренняя Монголия (песчаная почва); методы тестирования ключевых показателей:

**Доля одиночных семян:** метод ручного подсчёта (объём выборки  $\geq 1000$  зерен, погрешность  $\pm 1$  %).

**Уровень повреждения семян:** наблюдение с помощью электронного микроскопа (увеличение  $500\times$ , статистика доли повреждённой семенной оболочки).

**Энергопотребление:** расходомер топлива (точность  $\pm 1,5$  %) для оперативной записи расхода топлива при работе.

Таблица 2. Сравнение ключевых показателей эффективности

Показатель	Усовершенствованная система	Отечественный 2ВМФ-6	Импортный Monosem XE	Стандартные требования
Доля одиночных семян (%)	96.7	88.2	94.1	$\geq 95$
Уровень повреждения семян (%)	1.1	2.3	1.5	$\leq 1.5$
Пустотность (%)	4.2	9.8	5.5	$\leq 5$
Энергопотребление (л/га)	0.78	1.20	1.02	$\leq 0.9$
Уровень засорения соломой (%)	2.8	15.3	8.2	$\leq 5$

## Многоцелевое оптимизирование на основе NSGA-II

С учетом доли одиночных семян ( $f_1$ ), энергопотребления ( $f_2$ ) и скорости работы ( $f_3$ ) в качестве целей оптимизации сформирован набор решений Парето-оптимума. Оптимальные рабочие параметры следующие: скорость работы составляет 8,5 км/ч, давление – 0,55 МПа, доля одиночных семян – 96,2 %, энергопотребление – 0,75 л/га, что на 12 % выше по сравнению с традиционными методами оптимизации [6].

### Теоретический вклад и техническое развитие

#### Новые открытия в механизме газо-твердотельного взаимодействия

Впервые установлена количественная зависимость между углом направляющей пластины ( $\theta$ ) и смещением траектории движения семян ( $\Delta x$ ):

$$\Delta x = 0.03\theta^2 - 1.5\theta + 20 (R^2 = 0.94)$$

При  $\theta=25^\circ$  значение  $\Delta x$  составляет 6,25 мм, что соответствует агрономическим требованиям точности междурядья  $\pm 5$  мм и обеспечивает точную теоретическую основу для конструктивного проектирования [7].

#### Прорыв технологических границ интеллектуального посева

Повышение пороговой скорости: рабочая скорость увеличена с 8 км/ч, характерной для пневматической сеялки, до 10 км/ч при сохранении доли одиночных семян  $\geq 95$  %.

Расширение адаптивности к условиям окружающей среды: при влажности почвы 25 % и покрытии соломой 1000 кг/му, после посева кукурузы и обработки прикатывающей машиной процент посева, соответствующего требованиям, составляет  $\geq 92$  %, что значительно превышает отраслевой стандарт (75 %) [8].

### Дорожная карта промышленного применения

**Разработка стандартов:** участие в пересмотре «Технических условий на пневматические сеялки точного дозирования» (JB/T 9783), добавление новых показателей контроля, таких как «однородность газожидкостного поля» и «интеллектуальное секционное управление».

**Итерация оборудования:** в 2025 году выпущено второе поколение модели, интегрирующее высокоточное позиционирование Beidou (точность  $\pm 2$  см) и AI-визуальное досевание, реализующее замкнутый цикл «посев – обнаружение – досев».

**Сервисная сеть:** создание системы эксплуатации и обслуживания «облако – край – устройство» с использованием узлов краевых вычислений для оптимизации управляющих параметров в реальном времени, что, по прогнозам, сократит время ручной настройки на 70 % [9].

### Заключение

В данном исследовании посредством моделирования газо-твердотельного поля потока и интеллектуального секционного управления была решена проблема прецизионного распределения семян при высокоскоростной работе, что позволило усовершенствованной системе достичь международного лидирующего уровня по ключевым показателям, таким как доля одиночных семян, уровень повреждения семян и энергопотребление. Будущие исследования будут сосредоточены на: 1) моделировании полного жизненного цикла сеялки на основе цифрового двойника; 2) интеграция сети датчиков с низким энергопотреблением и технологии удалённого управления 5G; 3) разработка технологии эффективного посева при низком давлении, адаптированной к сухому земледелию.

Данное достижение не только предоставляет «китайское решение» для точного дозирования посева кукурузы, но и его теория газо-твердотельного управления и интеллектуальная алгоритмическая структура могут быть применены в оборудовании для посева засухоустойчивых культур, таких как соя и хлопок, обладая широким технологическим потенциалом.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Анализ влияния ориентации всасывания на производительность посева пневматической сеялки для кукурузы / Чжан Дунсин [и др.] // Труды по сельскохозяйственной технике. – 2021. – 7: 40–50.
2. Национальная академия аграрных наук Украины. Исследование характеристик газо-твёрдого потока в горизонтальном распределителе: отчёт. – Киев, 2021. – С. 45–52.
3. Оптимизация конструкции воздушного потока сеялки на основе CFD / Ли Ч. [и др.] // Журнал сельскохозяйственной механизации. – 2021. – Т. 52, № 12. – С. 85–93.
4. Voronin V. Aerodynamic Design of Seed Distributors for Precision Planting // Biosystems Engineering. – 2022. – Vol. 218. – P. 120–132. [Воронин В. Аэродинамическое проектирование распределителей семян для точного посева].
5. Национальный центр надзора за качеством сельскохозяйственной техники. Отчёт об испытаниях потребления энергии и выбросов сеялок. – Пекин, 2024. – С. 18–23.
6. Deb K. Multi-Objective Optimization of Precision Seeding Systems // Computers and Electronics in Agriculture. – 2023. – Vol. 208. – Art. 107568. [Деб К. Многокритериальная оптимизация систем точного высева].
7. Имитация и эксперимент по взаимодействию газ-твёрдое тело для траектории движения семян Ван Ч. [и др.] // Труды Китайского общества сельскохозяйственной инженерии. – 2023. – Т. 39, № 3. – С. 38–45.
8. GB/T 20861-2022. Методы испытаний сельскохозяйственных машин для посева: Национальный стандарт Китайской Народной Республики. – Пекин: Издательство стандартов Китая, 2022. – 12 с.
9. Министерство сельского хозяйства и сельских дел КНР. План развития сельскохозяйственной механизации на пятую пятилетку (2021–2025): директива. – Пекин, 2021. – С. 35–38.

## ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ КИНЕМАТИКИ ЭКСЦЕНТРИКОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СЕТЧАТУЮ ЛЕНТУ ТРАНСПОРТЕРА ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОРОХА ЛЬНОКОСТРЫ

**В. А. ШАРШУНОВ, С. В. КУРЗЕНКОВ, М. В. ЦАЙЦ, Н. С. СЕНТЮРОВ**

*УО «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия»,  
г. Горки, Республика Беларусь, 213407, e-mail: nikolay\_senturov@rambler.ru*

(Поступила в редакцию 05.01.2026)

*Посевные площади льна в Республике Беларусь варьируются в пределах от 41,9 до 52 тыс. га, что при урожайности 2,9...4,4 т/га льняной тресты обеспечивает от 70 до 110 тыс. т валового сбора льняной костры. Одним из направлений переработки вороха льняной костры является производство прессованного материала в виде пеллет, брикетов или плит. Наличие в ворохе льняной костры минеральных и механических примесей существенно увеличивает износ прессовального оборудования. Данное обстоятельство обуславливает выполнение предварительной очистки вороха перед прессованием.*

*Поскольку ворох льняной костры является многокомпонентным материалом, включающим разноразмерные элементы, в том числе волокнистые, то его можно отнести к малосыпучему и трудно разделимому материалу. Выделить из такой массы механические включения и обеспечить низкие потери полезного материала сельскохозяйственными машинами массового потребления не представляется возможным. Для достижения высокого качества сепарации авторами предложена конструкция сепаратора, обеспечивающего комбинированное воздействие, сочетающее колебательные воздействия с поступательным перемещением вороха льнокостры, сопровождающимся знакопеременными возмущениями в слое.*

*В работе рассмотрена кинематическая модель взаимодействия эксцентрикового привода с сетчатой лентой транспортера, предназначенного для очистки вороха льнокостры от минеральных примесей. Представлены зависимости амплитуды воздействия и угла вращения точки эксцентрика от времени и угла поворота, а также показано их применение для управления динамическим воздействием на слой материала. Выполнено теоретическое обоснование режима асимметричных колебаний рабочей поверхности транспортера как ключевого фактора повышения эффективности выделения примесей при сохранении волокнистой структуры материала. Сформулированы теоретические гипотезы, проверка которых должна быть включена в экспериментальные исследования.*

**Ключевые слова:** *льнокостра, очистка, эксцентриковый привод, колебательное воздействие, сетчатая лента транспортера, кинематическая модель, амплитуда колебаний.*

*Flax cultivation areas in the Republic of Belarus range from 41,900 to 52,000 hectares, which, with a yield of 2.9 to 4.4 t/ha of flax straw, provides 70,000 to 110,000 tons of gross flax shive harvest. One of the ways of flax shive processing is the production of pressed material in the form of pellets, briquettes, or slabs. The presence of mineral and mechanical impurities in flax shives significantly increases the wear of pressing equipment. This circumstance necessitates preliminary cleaning of the flax shive pile before pressing.*

*Since flax shive pile is a multi-component material containing elements of various sizes, including fibrous ones, it can be classified as a poorly flowing and difficult-to-separate material. It is impossible to separate mechanical impurities from such a mass and ensure low losses of useful material using mass-market agricultural machinery. To achieve high-quality separation, the authors proposed a separator design that provides a combined action combining oscillatory forces with the progressive movement of the flax shive pile, accompanied by alternating disturbances in the layer.*

*This paper examines a kinematic model of the interaction between an eccentric drive and a mesh conveyor belt designed to remove mineral impurities from flax shive pile. The dependences of the amplitude of the force and the rotation angle of the eccentric point on time and rotation angle are presented, and their application to controlling the dynamic action on the material layer is demonstrated. A theoretical justification for asymmetric oscillations of the conveyor's working surface has been developed as a key factor in increasing the efficiency of impurity removal while maintaining the material's fibrous structure. Theoretical hypotheses have been formulated, and their testing should be included in experimental studies.*

**Key words:** *flax shive, cleaning, eccentric drive, oscillatory action, mesh conveyor belt, kinematic model, oscillation amplitude.*

### **Введение**

На сегодняшний день в Беларуси около 50–60 % образующегося вороха льнокостры используется для отопления льнозаводов, а также на хозяйственные нужды населения. И все-таки значительная часть ее остается невостребованной, скапливается на территориях предприятий и является источником пожароопасности и экологического загрязнения. Переработка отходов позволяет не только получать различного рода материалы и изделия, но и повысить эффективность производства, а также решить возникающие на льнозаводах экологические проблемы [1]. За последние десять лет посевные площади льна в Республике Беларусь колебались в пределах от 41,9 до 52 тыс. га (рис. 1). При урожайности, примерно 2,9–4,4 т/га льняной тресты валовый сбор льняной костры составлял от 70 до 110 тыс. т.

Существует ряд направлений использования вороха льнокостры, одним из которых является производство пеллет [2]. Однако при производстве пеллет из вороха льнокостры существует проблема

наличия засоренности минеральными примесями, которые как абразив приводят к быстрому износу основных рабочих органов пресса, одних из самых дорогостоящих узлов агрегата прессования [3, 4].

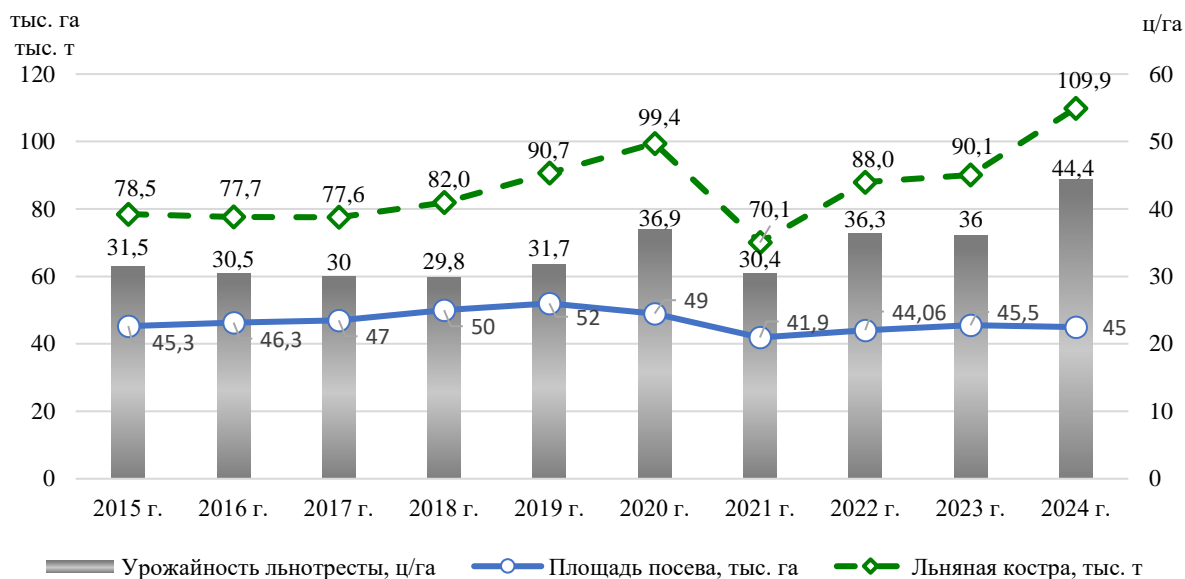


Рис. 1. Динамика изменения посевных площадей, урожайности льностресы и валовых сборов льняной костры в Республике Беларусь

Для повышения качества готовой продукции, снижения скорости изнашивания рабочих органов прессования в устройствах для производства пеллет и сокращения эксплуатационных издержек, необходимо сократить до минимума или исключить из состава вороха льнокостры, компоненты, обладающие абразивными свойствами [3, 5]. К таким компонентам относятся: минеральные примеси, металлические частицы и другие посторонние предметы, а их наличие в составе вороха льнокостры достигает до 30 % [6].

Одним из критических этапов переработки льнокостры является удаление минеральных примесей, нарушающих качество получаемой продукции и создающих дополнительные затраты при производстве. Эффективность процесса очистки во многом определяется характером механического воздействия на материал при его транспортировании. Наиболее перспективным является совмещение транспортирования и очистки, что позволяет снизить затраты энергии и площади оборудования.

Существующие конструкции очистных машин для льнокостры основаны на барабанных, вибрационных и аэродинамических принципах очистки. Несмотря на определенную эффективность, значительная часть устройств характеризуется высокой энергоемкостью, недостаточным разделением загрязнений различной фракционности и частичным разрушением волокнистой структуры. Применение транспортеров с сетчатой лентой позволяет совмещать транспортирование и очистку, однако эффективность таких систем зависит от характера создаваемых колебаний. Наиболее результативным представляется эксцентриковое воздействие, обеспечивающее комбинированный режим подъема, растяжения и резкого встряхивания материала [7, 8].

Исследованиями сепарации трудноразделимых, малосыпучих смесей занимались многие отечественные и зарубежные ученые. основоположниками данного исследования являются работы В. П. Горячкина [9], М. Н. Летошнева [10]. С. А. Маркарян исследовал влияние вибрации транспортной ленты на сепарацию по плотности подаваемого материала, им сделано заключение о том, что применение вибрации транспортной ленты для сепарации по плотности является эффективным и гибким методом разделения материалов [11]. Группа авторов [12] исследовали диапазон частот осуществляющие колебание ленты транспортера, в котором возможны резонансные явления. Влияние комбинированного воздействия сочетания колебательных воздействий с поступательным перемещением вороха льнокостры, сопровождающимся знакопеременными возмущениями в слое, на выделение минеральных и механических примесей из слоя не исследовалось.

Целью исследования является обоснование кинематических зависимостей, определяющих эффективное эксцентриковое воздействие на сетчатую ленту транспортера, обеспечивающее выделение минеральных включений из вороха льнокостры. Для достижения цели решены следующие задачи:

- анализ кинематики работы эксцентрика при противоположном взаимодействии с лентой;

- получение зависимостей амплитудного и углового воздействия от времени и положения эксцентрика;
- выявление закономерностей, обеспечивающих асимметричный характер динамического воздействия на материал;
- формирование рекомендаций по выбору конструктивно-режимных параметров.

### Основная часть

Одним из вариантов выделения минеральных и механических примесей из вороха льнокостры представляется сочетание колебательных воздействий с поступательным перемещением вороха льнокостры сопровождающимся знакопеременными возмущениями в слое. Такое воздействие может быть обеспечено предложенной авторами конструкцией в виде транспортера с волнообразной колеблющейся сетчатой лентой [13].

Устройство (рис. 2) состоит из приемного бункера 2, оснащенного дозирующим устройством 3 и ворошилками 1, сетчатого транспортера, состоящего из приводного 7 и натяжного 11 барабанов, сетчатой ленты транспортера 6, вращающихся прутков 5 и эксцентриковых валов 10. Над транспортером установлена система аспирации 4, а под транспортером – скатная доска 9. Нижняя ветвь транспортера оборудована чистиками 8.

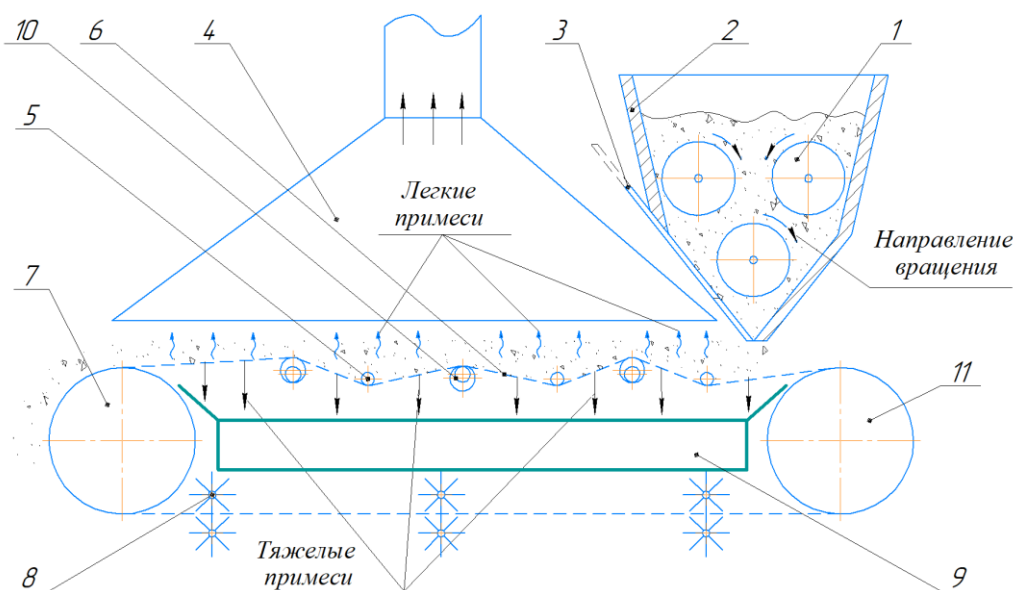


Рис. 2. Схема транспортера с волнообразной колеблющейся сетчатой лентой

В приемный бункер 2 подается ворох льнокостры, который перемешивается ворошилками 1 предотвращающими сводообразование. Дозирующей заслонкой 3 регулируется подача вороха льнокостры на сетчатую ленту транспортера 6. Сетчатая лента транспортера 6 приводится в движение с помощью приводного барабана транспортера 7. За счет эксцентриковых валов 10 сетчатая лента транспортера 6 с ворохом льнокостры приводится в колебательное движение, тем самым разделяя минеральные примеси на тяжелые и легкие. Тяжелые примеси просеиваются через сетчатую ленту транспортера 6, попадают на скатную доску 9 и выводятся из устройства. Легкие примеси выводятся из устройства системой аспирации 4. Очищенный ворох льнокостры, сходящий с сетчатой ленты транспортера 6, готов к дальнейшему использованию. Для предотвращения забивания ячеек сетчатой ленты транспортера 6 на его холостой ветви установлены чистики 8.

Характер воздействия рабочей поверхности сетчатого транспортера на ворох льнокостры по ходу движения материала в рабочей зоне различен и определяется кинематикой движения сетчатой ленты. Исследование выполнено на основе аналитического моделирования движения точки контакта эксцентрика и сетчатой ленты. Принята система координат  $xOy$  с началом в точке вращения эксцентрика (рис. 3). Вращение осуществляется с угловой скоростью  $\omega$ , противоположной направлению движения ленты, движущейся с линейной скоростью  $v_l$ . В расчетах принимались во внимание: радиус эксцентрика  $r$ , эксцентриситет  $e$ , и межосевое расстояние между вращающимися прутками  $2 \cdot l_p$ . На основе геометрии обкатки ленты по вращающимся пруткам и эксцентриковому профилю сформированы зависимости перемещения ленты, угла поворота эксцентрика и амплитуды воздействия на ленту.

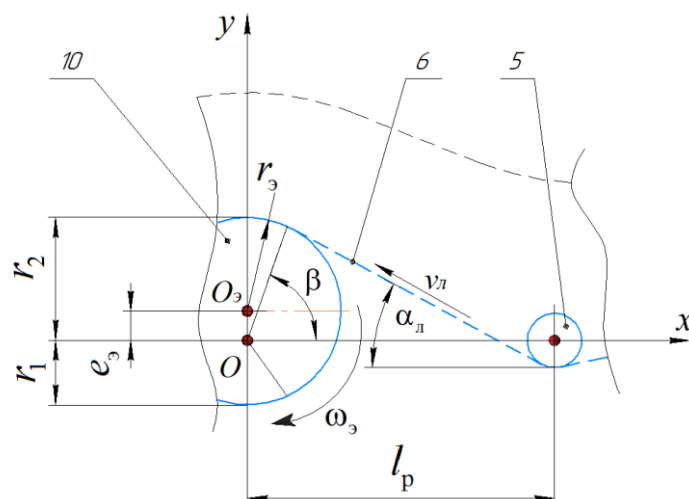


Рис. 3. Схема рабочей зоны эксцентрика

Воздействие эксцентрикового вала на сетчатую ленту, а через нее на слой вороха льнокостры, характеризуется преобразованием вращательного движения в возвратно-поступательное через эксцентричную шейку. Характер такого воздействия определяет скорость вращения вала и геометрия его поверхности, задающая амплитуду. Минимальную  $r_1$  и максимальную  $r_2$  амплитуды воздействия эксцентрикового вала на сетчатую ленту можно представить следующим образом:

$$r_1 = r_3 - e_3, \quad (1)$$

$$r_2 = r_3 + e_3. \quad (2)$$

где  $r_3$  – радиус эксцентрика, м;  $e_3$  – эксцентриситет, м.

Уравнение оснований цилиндрического эксцентрика с учетом его вертикального смещения может быть представлено следующим образом:

$$x^2 + (y - e_3)^2 = r_3^2. \quad (3)$$

Для того, чтобы иметь возможность моделировать процесс взаимодействия эксцентрикового вала с сетчатой лентой и через нее на слой вороха льнокостры, целесообразно проследить связь между кинематическими параметрами движения эксцентрикового вала: временем вращения, углом поворота ее периферийной точки и соответствующей амплитудой передаваемой этой точкой ленте.

При этом зависимости углов поворота периферийной точки эксцентрикового вала ( $\beta$  и  $\beta_1$ ) в верхней и нижней частях плоскости  $xOy$  от времени вращения можно представить в следующих видах соответственно:

$$\beta(t) = \arctg\left(\frac{Y_B(t)}{t}\right) \cdot \frac{180}{\pi}, \quad (4)$$

$$\beta_1(t) = \arctg\left(\frac{Y_H(t)}{t}\right) \cdot \frac{180}{\pi}. \quad (5)$$

где  $\beta(t)$  и  $\beta_1(t)$  – зависимости изменения угла поворота точки эксцентрикового вала, рад;

$Y_B(t) = \sqrt{r_3^2 - t^2} + e_3$  и  $Y_H(t) = -\sqrt{r_3^2 - t^2} + e_3$  – зависимости изменений ординаты точки на поверхности эксцентрикового вала, м;  $t$  – время, с.

Соответствующие связи амплитуды передаваемой этой точкой ленте со временем ее вращения запишем в виде:

$$\rho(t) = \sqrt{(Y_B(t))^2 + t^2}, \quad (6)$$

$$\rho_1(t) = \sqrt{(Y_H(t))^2 + t^2}, \quad (7)$$

где  $\rho$  и  $\rho_1$  – зависимости изменения передаваемых ленте амплитуд, м.

Проведем анализ зависимостей (4–5) и (6–7) при заданных параметрах  $r_3 = 0,035$  м,  $e_3 = 0,002$  м,  $r_1 = 0,033$  м,  $r_2 = 0,037$  м и изменяемом времени вращения эксцентрикового вала.

Полученные зависимости (рис. 3) демонстрируют асимметричный характер колебаний: плавный подъем поверхности ленты сменяется ускоренным спадом. В положительной области углового поворота формируется зона предварительного растяжения и рыхления слоя, обеспечивающая ослабление внутренних связей между волокном и минеральными частицами. В отрицательной области углов достигается ударно-встряивающий эффект, вызывающий просыпание примесей на основании разности инерции волокнистых и минеральных частиц. Нелинейная зависимость амплитуды воздействия от угла поворота эксцентрика подтверждает возможность управления интенсивностью очистки за счет конструктивных параметров.

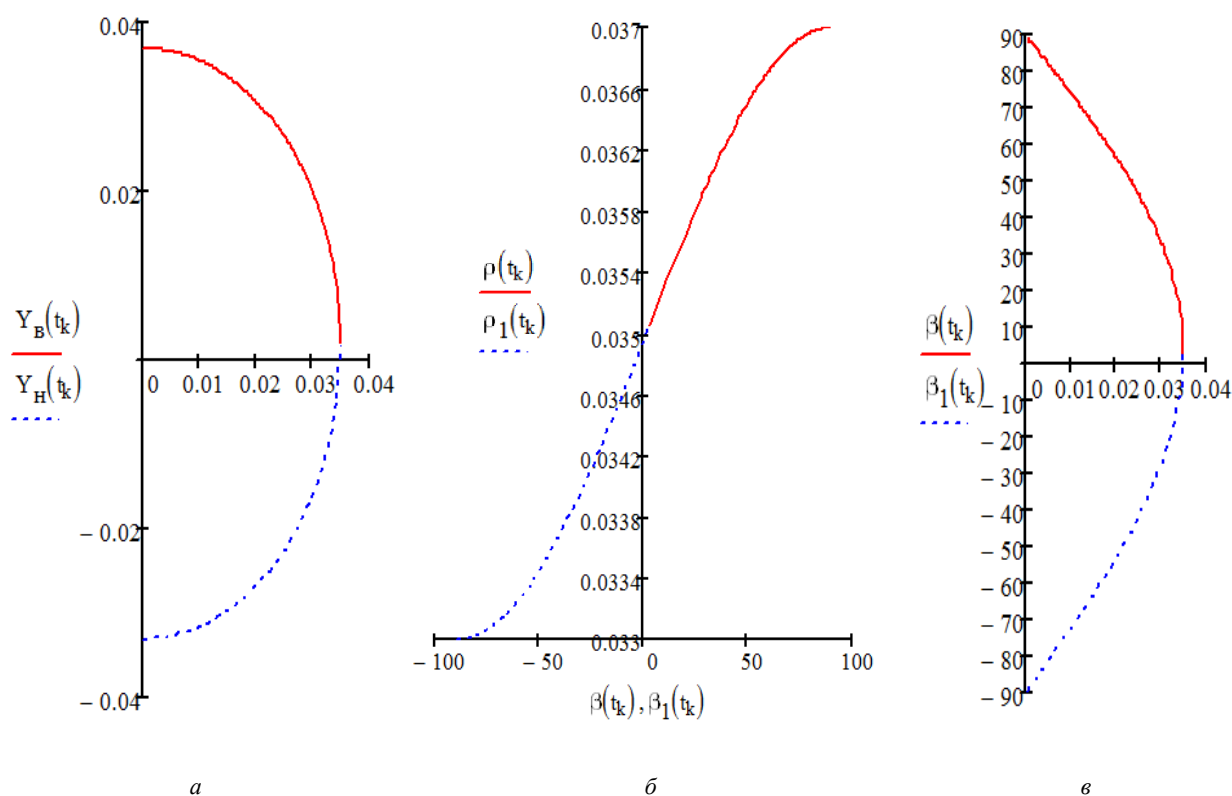


Рис. 4. Графическая интерпретация изменения амплитуды воздействия на ленту (а) в зависимости от времени движения, (б) в зависимости от угла поворота эксцентрика, (в) изменение угла вращения точки эксцентрика в зависимости от времени движения

Асимметричная форма колебаний, обусловленная кинематикой эксцентрика, является целесообразной и функционально необходимой. Равномерные синусоидальные колебания не обеспечивают достаточного выделения загрязнений, тогда как чередование «растяжение – ударное встряхивание» вызывает направленное внутреннее перемешивание слоя льнокостры, минимизируя механическую деструкцию волокон. Таким образом, кинематика эксцентрика выполняет роль селективного воздействия, направленного преимущественно на примеси.

#### Заключение

В результате выполненного теоретического исследования установлено, что эксцентриковый привод сетчатой ленты транспортера формирует асимметричное колебательное воздействие, функционально целесообразное для очистки вороха льнокостры от минеральных примесей. Чередование фаз разрыхления и ударного встряхивания обеспечивает избирательное воздействие преимущественно на примеси при минимальном нарушении волокнистой структуры материала. Максимальная эффективность процесса достигается при согласовании геометрических параметров эксцентрика, частоты его вращения и кинематики транспортирования.

Полученные результаты могут быть использованы при проектировании и модернизации очистных устройств для переработки льнокостры и аналогичных трудноразделимых волокнистых материалов. Теоретические выводы требуют дальнейшей экспериментальной проверки в производственных условиях.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Стош, Е. В. Эколого-экономическая эффективность организации производства топливных брикетов из льнокостры / Е. В. Стош, И. А. Басалай // Сборник трудов Международной научно-технической конференции «Промышленная экология» / под общ. ред. Басалай И. А.; БНТУ. – Минск, 2015. – С. 385–391.
2. Сентюров, Н. С. Стадии производства пеллет из растительных остатков / Н. С. Сентюров // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства: сборник научных трудов. – Горки: Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 2024. – С. 144–147.
3. Шаршунов, В. А. Определение засоренности льнокостры минеральными примесями и способы их выделения / В. А. Шаршунов, В. Е. Круглень, Н. С. Сентюров // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2013. – № 2. – С. 120–124.
4. Сентюров, Н. С. Выбор рационального способа выделения минеральных примесей из вороха льнокостры / Н. С. Сентюров // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства: Сборник научных трудов / Редколлегия: В. В. Гусаров (гл. ред.) [и др.]. Том Выпуск 7. – Горки: Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 2022. – С. 226–229.
5. Основы расчета рабочих органов машин и оборудования для производства семян льна / В. А. Шаршунов, В. Е. Круглень, А. Н. Кудрявцев [и др.]. – Горки: Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 2016. – 156 с.
6. Шаршунов, В. А. Определение размерных характеристик компонентов вороха льнокостры / В. А. Шаршунов, Н. С. Сентюров, М. В. Цайц // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2020. – № 3. – С. 169–175.
7. Машины и оборудование для переработки лубяных культур: монография / Под ред. А. И. Иванова. – М.: Агропромиздат, 2018. – 113 с.
8. Петров, Н. П. Динамика очистных машин для льнопроизводства / Н. П. Петров, С. В. Карпов // Техника АПК. – 2021. – №4. – С. 22–29.
9. Горячкин, В. П. Собрание сочинений: в 3 т. / В. П. Горячкин. – М.: Колос, 1965. – Т. 3. – 384 с.
10. Летошнев, М. Н. Сельскохозяйственные машины. Теория, расчет, проектирование и испытание / М. Н. Летошнев. – Изд. 3-е, перераб. и доп. – М.: Сельхозгиздат, 1955. – 764 с.
11. Маркарян, С. А. Применение вибрации транспортерной ленты для сепарации по плотности подаваемого материала / С. А. Маркарян // Стандартизация и управление качеством в агропромышленном комплексе: сборник научных статей Всероссийской научно-технической конференции, Курск, 27 октября 2023 года. – Курск: ЗАО «Университетская книга», 2023. – С. 167–169.
12. Юдаев, Ю. А. Математическое моделирование вибрации ленты транспортера / Ю. А. Юдаев, Ю. Н. Абрамов, Н. В. Цыганов, И. В. Холоден // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П. А. Костычева. – 2024. – Т.16, №4. – С. 183–191.
13. Патент № 2752475 С1 Российская Федерация, МПК В07В 4/08, В07В 9/00, D01В 1/10. Устройство для очистки льнокостры: № 2021100782: заявл. 15.01.2021: опубл. 28.07.2021 / М. В. Симонов, В. А. Шаршунов, Н. С. Сентюров, М. В. Цайц; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Вятский государственный университет».

## НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ МИКРОВОЛНОВОЙ ОБРАБОТКИ СЕМЯН

ЦЗЮНЬЯНЬ ЛУ (LYU JUNYAN), С. В. КУРЗЕНКОВ

УО «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции  
и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия»,  
г. Горки, Республика Беларусь, 213407, e-mail: sergkrz@yandex.by

(Поступила в редакцию 08.01.2026)

*В современных условиях развитие растениеводства во многом определяется совершенствованием предпосевной обработки семян, направленной на активацию их физиологической активности и повышение устойчивости к стрессовым воздействиям внешней среды. Среди инновационных физических методов особый интерес представляет микроволновая обработка, основанная на взаимодействии электромагнитного излучения с биологическим материалом. Эта технология характеризуется рядом преимуществ, включая высокую скорость воздействия, глубокое проникновение энергии в семенной материал, а также сочетание тепловых и нетепловых эффектов, что способствует ускорению процессов прорастания и последующему улучшению роста и развития сельскохозяйственных культур.*

*В представленной работе рассмотрена проблема неравномерного распределения энергии в микроволновых установках для предпосевной обработки семян, обусловленная образованием стоячих электромагнитных волн в резонаторных камерах. Проанализированы методы повышения однородности поля: применение многомодовых камер, использование динамических систем перемещения материала и микроволновых мешалок, а также технологии численного моделирования. Показано, что наибольший эффект достигается при комплексном сочетании данных подходов. Сделан вывод о необходимости их интеграции в промышленные установки для обеспечения равномерного, контролируемого и воспроизводимого воздействия на семенной материал. Приведен сравнительный анализ методов и даны практические рекомендации по их применению для разработки современного высокоэффективного оборудования.*

*Перспективы исследований связаны с развитием интеллектуальных систем адаптивного управления и использованием новых конструкционных материалов.*

*Полученные выводы могут быть полезны специалистам в области семеноводства, агроинженерии, технологий хранения и переработки сельскохозяйственной продукции, а также использоваться при разработке инновационных проектов в сфере продовольственной безопасности и устойчивого развития аграрного производства.*

**Ключевые слова:** микроволновая обработка семян, предпосевная подготовка, стоячие электромагнитные волны, резонансные камеры, многомодовые резонаторы, динамические системы выравнивания поля, численное моделирование.

*In modern conditions, the development of plant cultivation is largely determined by the improvement of pre-sowing seed treatment aimed at activating their physiological activity and increasing their resistance to environmental stress. Among innovative physical methods, microwave treatment, based on the interaction of electromagnetic radiation with biological material, is of particular interest. This technology is characterized by a number of advantages, including high speed of action, deep energy penetration into the seed, and a combination of thermal and non-thermal effects, which contributes to accelerated germination and subsequent improvement in the growth and development of agricultural crops.*

*This paper examines the problem of uneven energy distribution in microwave pre-sowing seed treatment units caused by the formation of standing electromagnetic waves in the resonator chambers. Methods for improving field uniformity are analyzed, including the use of multimode chambers, dynamic material handling systems, and microwave mixers, as well as numerical simulation technologies. It is demonstrated that the greatest effect is achieved with a comprehensive combination of these approaches. A conclusion is drawn regarding the need for their integration into industrial installations to ensure uniform, controlled, and reproducible effects on seed material. A comparative analysis of the methods is presented, and practical recommendations for their application in the development of modern, highly efficient equipment are provided.*

*Prospects for this research are related to the development of intelligent adaptive control systems and the use of new structural materials.*

*The findings may be useful to specialists in seed production, agricultural engineering, and agricultural storage and processing technologies, as well as for the development of innovative projects in food security and sustainable agricultural production.*

**Key words:** microwave seed treatment, pre-sowing preparation, standing electromagnetic waves, resonant chambers, multimode resonators, dynamic field leveling systems, numerical simulation.

### Введение

В современных условиях развитие растениеводства во многом определяется совершенствованием предпосевной обработки семян, направленной на активацию их физиологической активности и повышение устойчивости к стрессовым воздействиям внешней среды. Среди инновационных физических методов особый интерес представляет микроволновая обработка, основанная на взаимодействии электромагнитного излучения с биологическим материалом. Эта технология характеризуется рядом преимуществ, включая высокую скорость воздействия, глубокое проникновение энергии в семенной материал, а также сочетание тепловых и нетепловых эффектов, что способствует ускорению процессов прорастания и последующему улучшению роста и развития сельскохозяйственных культур [1].

Однако широкое внедрение этой технологии в агропромышленный комплекс сдерживается рядом технических проблем, ключевой из которых является недостаточная однородность распределения энергии в рабочем объеме обрабатываемого семенного материала. Неравномерность распределения электромагнитного поля приводит к формированию локальных зон с избыточной и недостаточной плотностью мощности, что, в свою очередь, вызывает перегрев и повреждение части семян при одно-временной недополучении необходимой дозы воздействия другой их частью [2]. Следствием этого становится нестабильность и непредсказуемость конечных результатов микроволновой обработки семян, что существенно снижает доверие к этой технологии со стороны производителей.

Целью представленных материалов и исследований является анализ и обоснование подходов к повышению однородности микроволнового поля в установках для обработки семян, выявление их преимуществ и ограничений, а также определение оптимальных стратегий и рекомендаций по проектированию оборудования, обеспечивающего равномерное и воспроизводимое воздействие на семенной материал.

### **Основная часть**

Физической основой проблемы неоднородности распределения энергии в рабочем объеме обрабатываемого материала является явление образования стоячих электромагнитных волн в замкнутых резонансных системах, характерное для стандартных микроволновых камер [3].

В связи с этим актуальной научно-технической задачей становится разработка и анализ эффективных методов и конструктивных решений, направленных на выравнивание пространственного распределения микроволновой энергии. К таким методам традиционно относят использование многомодовых резонаторов сложной геометрии, применение динамических систем, таких как мешалки поля и ротационные камеры, а также активное внедрение технологий моделирования для более точного прогнозирования и оптимизации параметров поля на этапе проектирования оборудования [4].

Образование стоячих электромагнитных волн в замкнутых металлических резонаторных камерах возникает при интерференции, падающей и отраженной от стенок камеры волн, имеющих одинаковую частоту амплитуду и фазу. В результате их сложения в объеме камеры формируется стационарная волновая картина с четко выраженными областями максимумов и минимумов амплитуды поля, известными как точки пучности (или «горячие точки») и узловые точки (или «холодные точки»). В точках пучности амплитуда колебаний вектора напряженности электрического поля достигает наибольшего значения, что соответствует зонам интенсивного поглощения энергии и локального перегрева, так называемым «горячим точкам». Напротив, в узловых точках амплитуда поля близка к нулю, и поглощение энергии материалом оказывается минимальным, образуя «холодные зоны» [5]. По факту данного эффекта наблюдается следующее явление, когда излучаемая амплитуда электромагнитной волны колеблется во времени, однако распределение «горячих» и «холодных» точек остается неизменным. Это и создает впечатление «стоячей» волны.

Данная пространственная неоднородность является принципиальной особенностью резонансных систем и особенно ярко выражена в простых одномодовых камерах, рассчитанных на возбуждение одной доминирующей моды [6]. Проблема усугубляется тем, что распределение этих узлов и пучностей жестко фиксировано геометрией камеры и частотой излучения, а наличие диэлектрического материала, коим являются семена, еще больше искажает исходную структуру поля вследствие отражений и преломлений на границах раздела сред.

Таким образом, неравномерность является не случайным фактором, а прямым следствием волновой природы микроволнового излучения и конструктивных особенностей стандартного оборудования, что требует целенаправленного вмешательства в процесс распространения волн для обеспечения равномерного воздействия на обрабатываемый семенной материал.

Одним из наиболее эффективных подходов преодоления такой неравномерности является использование многомодовых резонансных камер. В отличие от одномодовых, такие камеры проектируются таким образом, чтобы их размеры значительно превышали длину волны, что позволяет одновременно возбуждать большое количество различных резонансных мод – независимых конфигураций электрического и магнитного полей. При суперпозиции этих мод происходит статистическое усреднение поля, в результате чего пиковые значения напряженности в пучностях одних мод компенсируются минимумами других, что в целом приводит к значительному выравниванию распределения энергии по объему камеры [7]. Для дальнейшего усиления этого эффекта применяются камеры со специальной геометрией, например, эллиптической или неправильной формы, которые препятствуют формированию упорядоченных стоячих волн.

Другим широко распространенным методом является динамическое изменение конфигурации поля в процессе обработки. Это достигается за счет механических систем, таких как вращающийся стол или платформа для размещения семян, которые обеспечивают их перемещение через различные зоны камеры, или с помощью микроволновых мешалок – отражающих лопастей, вращающихся внутри волновода и постоянно изменяющих режим распространения энергии в камере [8]. Принцип действия этих систем заключается в том, чтобы со временем усреднить воздействие на каждый элемент обрабатываемого материала, подвергая его воздействию как интенсивных, так и слабых зон поля. Существенную роль в современном проектировании играют технологии численного моделирования, которые позволяют априорно, на этапе компьютерного проектирования, рассчитать распределение поля для конкретной геометрии камеры и свойств материала, оптимизировать расположение источников излучения и внести необходимые конструктивные изменения до создания физического прототипа [9].

Комбинирование этих методов (а именно многомодового подхода, динамического перемешивания и предварительного математического моделирования) представляет собой наиболее перспективный путь для создания промышленного оборудования, обеспечивающего стабильно высокое качество и однородность микроволновой обработки семян.

Сравнительная оценка рассмотренных методов повышения однородности поля позволяет выделить их ключевые преимущества, ограничения и области наиболее эффективного применения. Использование многомодовых камер является фундаментальным конструктивным решением, позволяющим за счет суперпозиции большого числа резонансных мод статистически выровнять распределение энергии [10]. Этот метод отличается высокой надежностью и долговечностью, так как не содержит подвижных элементов, но требует тщательного проектирования и точного изготовления, что может повысить первоначальную стоимость оборудования. Его эффективность наиболее высока для обработки значительных объемов сыпучих материалов, где требуется создание усредненного поля в большом объеме.

Динамические методы, такие как вращающиеся столы и микроволновые мешалки, обеспечивают высокую степень выравнивания за счет принудительного изменения конфигурации поля или положения продукта во времени [11]. Они особенно эффективны для обработки штучных изделий или небольших партий семян, где необходимо гарантировать, что каждая единица продукта получит идентичную дозу воздействия.

К недостаткам этих систем можно отнести наличие движущихся частей, что потенциально снижает надежность и требует дополнительных мер по обслуживанию, а также приводит к усложнению конструкции камеры [12].

Технология численного моделирования не является самостоятельным методом выравнивания, но служит мощным инструментом для оптимизации резонаторных камер и механических систем динамического изменения конфигурации поля в процессе обработки [13]. Она позволяет точно рассчитывать и оптимизировать распределение напряженности поля внутри камеры, что способствует более точному пониманию распределения энергии оборудования для микроволновой обработки при стимуляции семян. С помощью технологии численного моделирования можно прогнозировать и оптимизировать однородность распределения энергии оборудования в различных условиях, обеспечивая тем самым надежную теоретическую поддержку и техническое руководство для практического применения. Это позволит значительно сократить время и стоимость разработки, обеспечивая предсказуемость результатов, однако требует значительных вычислительных ресурсов и высокой квалификации инженеров.

### **Заключение**

Таким образом, выбор оптимальной стратегии совершенствования оборудования для микроволновой обработки семян сельскохозяйственных культур зависит от конкретно поставленных задач. Для лабораторных исследований, подразумевающих обработку малых партий семенного материала целесообразно комбинировать компактную многомодовую камеру с системой вращения его порции. Для создания промышленных установок непрерывного или полунепрерывного действия рекомендуется применять многомодовые камеры больших размеров, оснащенные мешалками и системами перемещения материала, при этом проект должен в обязательном порядке включать этап компьютерного моделирования для верификации распределения поля и минимизации рисков при создании опытного образца [14].

Следовательно, проведенный анализ позволяет заключить, что проблема неравномерности распределения микроволновой энергии в установках для обработки семян имеет системное решение,

основанное на комбинации конструктивных и технологических подходов. Наиболее эффективным путем является не поиск единственного универсального метода, а их синергетическое сочетание, при котором многомодовый дизайн резонаторной камеры создает базовую предпосылку для выравнивания поля, а динамические системы доводят этот показатель до требуемого уровня за счет временного усреднения. Критически важным элементом современного проектирования становится использование численного моделирования, которое переводит процесс создания оборудования из области эмпирических поисков в плоскость целенаправленной инженерной оптимизации. Реализация таких комплексных решений позволяет создавать оборудование, обеспечивающее контролируемое, воспроизводимое и равномерное воздействие на семенной материал, что является ключевым условием для широкого внедрения микроволновой технологии в сельскохозяйственную практику.

Перспективы дальнейших исследований видятся в развитии интеллектуальных систем адаптивного управления, способных в реальном времени отслеживать состояние обрабатываемого материала, например, с помощью спектрального анализа или диэлектрической спектроскопии, и динамически подстраивать параметры излучения для компенсации возникающих неоднородностей. Кроме того, актуальной задачей является интеграция модулей мониторинга нетепловых эффектов, что позволит оптимизировать процесс не только по тепловому, но и по биостимулирующему воздействию. Исследование новых материалов для покрытий внутренних поверхностей камер, способных рассеивать энергию, также открывает дополнительные возможности для улучшения однородности поля. Развитие в этих направлениях будет способствовать созданию следующего поколения энергоэффективного и высокоточного агротехнического оборудования.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Технология предпосевной обработки семян рапса на основе использования микроволновой энергии / Войнов Г. М. [и др.] // Научные принципы регулирования развития АПК: предложения и механизмы реализации. – 2022. – С. 255–262.
2. Будников, Д. А. Исследование характера распределения и электромагнитного поля в поле действия экспериментальной свч-вентиляционной установки для построения систем тепловой обработки зерна / Д. А. Будников // Агротехника и энергообеспечение. – 2021. – №. 1 (30). – С. 44–51.
3. Обработка семян в электромагнитном поле сверхвысокой частоты / С. Н. Борычев [и др.] // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2022. – №. 2 (66). – С. 339–347.
4. Курзенков, С. В. Анализ физико-технических основ микроволновой активации семенного материала сельскохозяйственных культур / С. В. Курзенков, Л. Цзюньянь // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2025. – №. 3. – С. 80–84.
5. Li C. et al. Microwave traveling-standing wave method for density-independent detection of grain moisture content // Measurement. – 2022. – Т. 198. – С. 111373.
6. Suzuki N. et al. Microwave pre-stimulation methodology for plant growth promotion // Scientific Reports. – 2025. – Т. 15. – №. 1. – С. 13903.
7. Boshkova I. et al. Testing a microwave device for the treatment of plant materials by various technologies // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2020. – Т. 2. – №. 5. – С. 104.
8. Курзенков, С. В. Направления научного сотрудничества Беларуси и Китая в области развития и совершенствования национальных аграрных отраслей / С. В. Курзенков, Ч. Сяньлэй, Л. Цзюньянь // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства. – 2025. – С. 134–138.
9. Wu J. et al. Compact Microwave Continuous-Flow Heater // Processes. – 2024. – Т. 12. – №. 9. – С. 1895.
10. Современные физические методы и технологии в сельском хозяйстве / С. В. Гудков [и др.] // Успехи физических наук. – 2024. – Т. 194. – №. 2. – С. 208–226.
11. Fu H. et al. Rotational energy harvesting for self-powered sensing // Joule. – 2021. – Т. 5. – №. 5. – С. 1074–1118.
12. Richter A., Fišer P. Reliability Analysis of Rotary Table Over // Advances in Mechanism Design III: Proceedings of TMM 2020. – 2021. – Т. 85. – С. 269.
13. Qin J. X. et al. Numerical evaluation of acoustic characteristics of a thrust chamber with quarter-wave resonators // Science China Technological Sciences. – 2021. – Т. 64. – №. 2. – С. 375–386.
14. Putra P. H. M. et al. A review of microwave pyrolysis as a sustainable plastic waste management technique // Journal of environmental management. – 2022. – Т. 303. – С. 114240.

## ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ОПРЫСКИВАНИЯ САДОВ: СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ, ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССОВ И НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ СИСТЕМ ВНЕСЕНИЯ ПЕСТИЦИДОВ

**И. И. ГАВРИЛОВ, В. И. КЛИМЕНКО, С. В. КУРЗЕНКОВ**

*УО «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия»,  
г. Горки, Республика Беларусь, 213407, e-mail: DivaName@mail.ru*

(Поступила в редакцию 08.01.2026)

*Статья представляет системное исследование технологий опрыскивания в садоводстве с акцентом на повышение качества покрытия, снижение расхода препаратов, минимизацию сноса и повышение экологической безопасности. Актуальность работы обусловлена необходимостью одновременного решения задач по повышению биологической эффективности обработок, снижению экономических затрат и минимизации негативного воздействия на окружающую среду.*

*Проведен сравнительный анализ традиционных и инновационных методов распыления, рассмотрены физические основы образования аэрозоля, роль турбулентных потоков в проникновении распыла в крону. Особое внимание уделено анализу средств механизации и распылителей. Рассмотрены конструктивные особенности и принципы работы основных типов распылителей: щелевых, инжекторных и наиболее перспективных дисковых (дисково-вентиляторных). Подчеркивается, что качество обработки в конечном итоге определяется дисперсностью капель и плотностью их покрытия, которая должна составлять 30–80 капель/см<sup>2</sup> для фунгицидов.*

*В статье детально исследуются физические основы процесса распыления, включая влияние сил поверхностного натяжения, инерции и аэродинамики на формирование, движение и осаждение капель. Анализируются такие ключевые параметры, как скорость оседания по Стоксу, расстояние сноса и число Вебера. Отмечена важная роль структуры и энергии турбулентного воздушного потока, создаваемого вентиляторной системой, для транспорта капель вглубь кроны.*

*На основе проведенного анализа сформулированы основные направления оптимизации технологии: 1) дальнейший переход к малообъемному и ультрамалообъемному опрыскиванию; 2) совершенствование рабочих органов (разработка дисково-вентиляторных распылителей с многоступенчатым дроблением); 3) цифровизация и автоматизация контроля параметров в реальном времени; 4) интеграция метеорологических данных в системы управления. В качестве примера инновационного решения описан запатентованный дисковый узел. Перспектива развития видится в создании интеллектуальных опрыскивающих комплексов, сочетающих высокоэффективные распылители, прецизионное дозирование и технологии точного земледелия.*

**Ключевые слова:** защита садов, опрыскивание, малообъемная технология, дисково-вентиляторный распылитель, дисперсность капель, турбулентный поток, оптимизация, экологизация.

*This article presents a systematic study of spraying technologies in horticulture, focusing on improving coverage quality, reducing pesticide consumption, minimizing drift, and enhancing environmental safety. The relevance of this work stems from the need to simultaneously improve the biological effectiveness of treatments, reduce economic costs, and minimize negative environmental impacts.*

*A comparative analysis of traditional and innovative spraying methods is provided, examining the physical principles of aerosol formation and the role of turbulent flows in spray penetration into the canopy. Particular attention is paid to the analysis of mechanization equipment and sprayers. The design features and operating principles of the main types of sprayers are examined: slot, injector, and the most promising disk (disk-fan) sprayers. It is emphasized that the quality of spraying is ultimately determined by the droplet dispersion and coating density, which should be 30–80 drops/cm<sup>2</sup> for fungicides.*

*The article examines in detail the physical principles of the spraying process, including the influence of surface tension, inertia, and aerodynamics on droplet formation, movement, and deposition. Key parameters such as Stokes settling velocity, drift distance, and Weber number are analyzed. The important role of the structure and energy of the turbulent air flow created by the fan system in transporting droplets deep into the canopy is noted.*

*Based on the analysis, the following key areas for technology optimization are formulated: 1) further transition to low-volume and ultra-low-volume spraying; 2) improvement of working elements (development of disk-fan sprayers with multi-stage fragmentation); 3) digitalization and automation of real-time parameter control; 4) integration of meteorological data into control systems. A patented disk unit is described as an example of an innovative solution. The development potential lies in the creation of intelligent spraying systems combining highly efficient atomizers, precision dosing, and precision farming technologies.*

**Key words:** orchard protection, spraying, low-volume technology, disk-fan atomizer, droplet dispersion, turbulent flow, optimization, greening.

### **Введение**

Интенсивное садоводство предъявляет высокие требования к эффективности защиты растений, поскольку патогенез плодовых культур отличается высокой динамичностью, а пространственная структура кроны усложняет задачу обеспечения равномерного покрытия. В современных условиях важной становится не только эффективность фунгицидов и инсектицидов, но и точность их доставки к биологическим объектам.

Ключевым фактором успешности химической защиты является технология опрыскивания как комплексный процесс, включающий образование капель, их транспорт воздушным потоком, проникновение в крону, осаждение, удержание и перераспределение на поверхности листьев. Каждое из этих звеньев имеет существенное влияние на биологическую результативность обработки и экологические риски.

Анализ отечественных и зарубежных исследований показывает устойчивый интерес научного сообщества к проблемам оптимизации технологий опрыскивания в садоводстве. В работах таких авторов, как Лазутко С. Н., Шершабов И. В., Фирсенков А. И., основное внимание уделяется методам оценки ключевых параметров процесса – дисперсности капель и полноты покрытия листовой поверхности, которые напрямую влияют на биологическую эффективность обработок [1, 2]. Исследования в этой области позволили установить количественные критерии качества, например, необходимую плотность покрытия для фунгицидов и инсектицидов, что стало основой для нормирования технологических режимов.

Второе значимое направление, отраженное в трудах Ластовцева А. М., Куликова И. М., Макарова А. С., связано с конструированием и совершенствованием рабочих органов опрыскивателей, в частности дисковых и инжекторных распылителей [4, 6, 9]. Особый интерес представляют разработки, направленные на управление турбулентными потоками для улучшения проникновения аэрозоля в крону и снижения сноса. Современные исследования также активно используют методы компьютерного моделирования CFD, Lagrangian Particle Tracking для прогнозирования распределения капель и оптимизации конструкции распылителей, что открывает новые возможности для создания высокоточных и экологичных систем опрыскивания.

Целью данной работы является комплексный анализ существующих методов и технических средств опрыскивания садов, выявление основных факторов, влияющих на качество покрытия и потери рабочей жидкости, а также обоснование перспективных конструктивно-технологических решений, направленных на повышение эффективности и экологической безопасности процесса.

#### Основная часть

Современная система защиты садов базируется на интегрированном подходе, сочетающем агротехнические, биологические, физико-механические и химические методы. Химический метод, основанный на применении пестицидов, обеспечивает быстрое подавление очагов поражения, но требует строгого соблюдения агротехнических и экологических требований.

К основным агротехническим требованиям при опрыскивании относятся:

- фенофазная привязка (зеленый конус, цветение, после цветения);
- метеорологические условия (скорость ветра <math>< 3 - 4 \text{ м/с}</math>, относительная влажность > 55 %, соблюдение оптимального температурного режима +12...+25 °С);
- равномерность покрытия листовой поверхности, включая нижнюю сторону листьев;
- размер капель, определяющий удержание их на листьях и скорость испарения;
- скорость воздушного потока, обеспечивающая проникновение капель в центральную часть кроны;
- соблюдение сроков ожидания и чередование препаратов для предотвращения резистентности.

Несоблюдение требований приводит к снижению эффективности препаратов и росту экологической нагрузки.

В практике садоводства применяются три основных вида опрыскивания, различающихся нормой расхода рабочей жидкости и дисперсностью капель (табл. 1).

Таблица 1. Сравнительная характеристика технологий опрыскивания

Вид опрыскивания	Норма расхода, л/га	Диапазон размеров капель, мкм	Основные характеристики
Полнообъемное (ПО)	700–1000	150–600	Широкий дисперсный состав, высокие потери от стекания, низкая равномерность покрытия (20–70 %)
Малообъемное (МО)	75–300 (100–500*)	50–250	Более однородный распыл, лучшее проникновение в крону, снижение потерь и экологической нагрузки
Ультрамалообъемное (УМО)	1–20 (5–40*)	60–150	Использование готовых препаративных форм, высокая экономическая и экологическая эффективность при локальном внесении

\* – для вентиляторных опрыскивателей в садах.

Данные показывают, что малообъемное и ультрамалообъемное опрыскивание являются наиболее перспективными с точки зрения ресурсосбережения [7].

Качество нанесения при опрыскивании определяется в первую очередь типом распылителя и характеристиками воздушного потока.

Парк садовых опрыскивателей представлен навесными, прицепными и самоходными машинами различной производительности и конструктивного исполнения. Сравнение белорусских и зарубежных моделей показывает, что последние часто обладают более точными системами дозирования, автоматизации и интеграции с системами навигации [6, 8].

Ключевым элементом, определяющим качество обработки, является распылитель. В зависимости от принципа действия выделяют гидравлические, пневматические, дисковые (дисково-вентиляторные), электрические и ультразвуковые распылители. Наибольший интерес для ресурсосберегающих технологий представляют дисковые (дисково-вентиляторные) и инжекторные распылители, способные создавать однородный мелкодисперсный аэрозоль [9].

Таблица 2. Характеристики основных типов распылителей

Тип распылителя	Принцип действия	Достоинства	Недостатки
Щелевые (LU, ST)	Формирование плоского факела	Простота, низкое рабочее давление	Высокая чувствительность к ветру
Инжекторные (ID, IDK)	Смешивание жидкости с воздухом	Устойчивость к сносу, хорошее покрытие	Требуют повышенного давления
Дисковые (дисково-вентиляторные)	Диспергирование центробежными силами	Высокая однородность капель, низкий расход	Склонность мелких капель к сносу

Процесс распыления жидкости является сложным физическим явлением, на которое влияют конструктивные параметры распылителя, свойства жидкости вязкость, поверхностное натяжение и режимные параметры давление, скорость. Эффективность обработки количественно оценивается через степень покрытия поверхности каплями, которая зависит от их размера и плотности распыла [1, 3].

Образование и движение капель определяется рядом параметров:

- степень покрытия  $P$ , %: для фунгицидов – 30–80 капель/см<sup>2</sup>, для инсектицидов – до 120 капель/см<sup>2</sup>;

- скорость осаждения капли по Стоксу  $V_s$ : крупные капли быстро осаждаются, мелкие – склонны к сносу и испарению;

- расстояние сноса капли  $L$ ;

- число Вебера  $We$ , характеризующее соотношение кинетической энергии и энергии поверхностного натяжения при ударе капли о поверхность.

Анализ физических процессов, определяющих формирование капель и их дальнейшее движение в воздушном потоке, показал, что эффективность опрыскивания садов напрямую связана с комплексным взаимодействием факторов: конструктивных параметров распылителя, свойств рабочей жидкости и аэродинамических характеристик воздушной струи [4]. Процесс диспергирования определяется балансом сил поверхностного натяжения и инерционных нагрузок, что количественно описывается числом Вебера; именно это соотношение определяет устойчивость и возможность вторичного дробления капель. Размер капель оказывает ключевое влияние на их траекторию, скорость осаждения и вероятность сноса: слишком крупные капли склонны к ускоренному стеканию с листовой поверхности, тогда как слишком мелкие – к сносу и испарению.

Движение капель в воздушном потоке во многом зависит от структуры и энергии турбулентной струи, создаваемой вентиляторной системой опрыскивателя. Недостаточно развитый поток приводит к неполному проникновению аэрозоля вглубь кроны, тогда как чрезмерная турбулентность вызывает рост потерь за счет сноса. Оптимальный режим воздушного потока обеспечивает транспорт частиц через листовый барьер и их равномерное осаждение на целевых поверхностях с достижением необходимой плотности покрытия [3, 8].

Таким образом, физические закономерности формирования и поведения капель определяют критические требования к конструкциям распылителей и режимам опрыскивания. Управление дисперсностью, скоростью воздушного потока и параметрами аэрозоля является основой повышения точности нанесения препаратов, снижения потерь рабочей жидкости и повышения экологической эффективности процесса. Эти выводы служат фундаментом для разработки инновационных дисково-вентиляторных систем, адаптивных режимов опрыскивания и цифровых технологий, обеспечивающих устойчивое и ресурсосберегающее функционирование современных опрыскивателей [5, 9].

Современные исследования моделирования процессов опрыскивания показывают важность:

- численного моделирования процессов движения жидкостей и газов, основанное на решении уравнений гидродинамики и тепломассопереноса с использованием компьютерных методов CFD-моделирования воздушных потоков [4];
- моделей движения капель Lagrangian Particle Tracking;
- оптимизации формы сопел и дисков для получения устойчивого факела;
- расчета сноса капель в зависимости от ветра, высоты кроны, угла атаки факела.

Моделирование позволяет уже на этапе проектирования определить зоны недопокрытия и перерасхода за счет оптимизации: конструкции распылителей и вентиляторных систем, формы струи, ее скорости и турбулентности, зоны охвата и проникновения в крону дерева, траектории капель разного диаметра, их сноса при ветре, их осаждения или распределение по поверхности листьев, зон неравномерного покрытия [4, 8].

На основе анализа литературных данных можно выделить следующие тенденции и направления оптимизации технологии опрыскивания:

1. Интенсификация и экологизация: Переход к малообъемному и ультрамалообъемному опрыскиванию для снижения норм расхода и химической нагрузки [7].

2. Совершенствование рабочих органов: Активная разработка и внедрение дисково-вентиляторных распылителей, создающих турбулентные потоки для улучшения проникновения в крону и снижения сноса капель. Примером является запатентованный дисковый узел с многоступенчатым дроблением жидкости [5, 9].

3. Цифровизация и автоматизация: Внедрение систем контроля параметров в реальном времени, использование автономной техники и карт применения [8].

4. Комплексный учет факторов: интеграция метеорологических данных ветер, влажность, температура в систему управления процессом опрыскивания [8].

#### **Заключение**

Проведенный анализ современных подходов и технических средств защиты садов методом опрыскивания позволяет сформулировать ряд ключевых выводов. Установлено, что эффективность химической защиты в значительной степени определяется технологией внесения препаратов, где критически важными параметрами являются дисперсность капель, равномерность покрытия и точность нанесения рабочей жидкости на целевые поверхности [1, 2].

Несмотря на широкое распространение, традиционные методы полнообъемного опрыскивания демонстрируют низкую эффективность, характеризуясь высоким расходом препаратов, значительными потерями от стекания и сноса, а также неоднородным покрытием растительного покрова, что не превышает 20–70 %. Это обуславливает неоправданные экономические затраты и повышает экологическую нагрузку на агроценозы.

Переход к ресурсосберегающим технологиям малообъемного и ультрамалообъемного опрыскивания, основанным на использовании мелкодисперсных аэрозолей с размером капель 50–250 мкм и 60–150 мкм соответственно, представляет собой научно обоснованное направление повышения эффективности и экологической безопасности обработок [7]. Данные технологии позволяют сократить нормы расхода рабочей жидкости в 10–100 раз, минимизировать потери препаратов и улучшить проникновение в густую крону деревьев.

Важнейшим элементом совершенствования технологии является оптимизация конструкции рабочих органов опрыскивателей. Наиболее перспективными признаны дисковые и инжекторные распылители, особенно в комбинации с вентиляторными системами, создающими управляемые турбулентные потоки [9]. Такие решения, подобные представленному дисковому узлу с многоступенчатым дроблением, позволяют повысить однородность распыла, увеличить плотность покрытия до требуемых 30–80 капель/см<sup>2</sup> и существенно снизить риск сноса капель за пределы обрабатываемой зоны [5].

Дальнейшее развитие технологий опрыскивания видится в синергии нескольких направлений: интенсификация процессов диспергирования, широкое внедрение цифровых систем мониторинга и автоматического управления параметрами работы в реальном времени, а также интеграция метеорологических данных для адаптивного планирования обработок [8]. Создание интеллектуальных опрыскивающих комплексов, сочетающих высокоэффективные распылители, прецизионное дозирование и элементы точного земледелия, станет ключевым фактором обеспечения конкурентоспособности и экологической устойчивости современного садоводства [6, 8].

Таким образом, оптимизация технологии опрыскивания садов находится на пути создания интеллектуальных технических средств, сочетающих высокоэффективные распылители, системы точного

контроля и автоматизации, что позволит достичь максимальной агротехнической и экономической эффективности при строгом соблюдении экологических норм.

*ЛИТЕРАТУРА*

1. Лазутько, С. Н. Методы оценки дисперсности и покрытия при опрыскивании растений / С. Н. Лазутько, И. В. Шершабов // Тракторы и сельхозмашины. – 2010. – № 7. – С. 34–37.
2. Фирсенков, А. И. Оценка качества обработки растений по полноте покрытия / А. И. Фирсенков, А. С. Воловик // Вестник сельскохозяйственной науки. – 2012. – № 5. – С. 45–49.
3. Шершабов, И. В. Оптимизация параметров распыла для малообъемных технологий / И. В. Шершабов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2015. – № 3. – С. 22–25.
4. Ластовцев, А. М. Моделирование распределения капель в факеле дискового распылителя / А. М. Ластовцев, Н. И. Дерябин // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2006. – № 4. – С. 12–15.
5. Пат. 13550 Республика Беларусь, МПК А01М 7/00. Дисковый узел для распыления жидкого вещества / Клименко В. И. и др.; заявитель и патентообладатель УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия». – № u20240057; заявл. 13.03.2013; опубл. 05.09.2014. – 4 с.
6. Куликов, И. М. Современные технологии защиты садовых культур / И. М. Куликов, В. Д. Гончаров // Современные технологии защиты садовых культур. – М.: Колос, 2015. – 320 с.
7. Петров, А. Н. Малообъемное и ультрамалообъемное опрыскивание в садоводстве / А. Н. Петров, О. В. Сидоров // Вестник сельскохозяйственной науки. – 2018. – № 4. – С. 45–52.
8. Таранович, Н. К. Технологии точного опрыскивания в интенсивном садоводстве / Н. К. Таранович, В. И. Метревели. – Минск: Белорусская наука, 2020. – 256 с.
9. Макаров, А. С. Дисковые распылители нового поколения для ресурсосберегающих технологий / А. С. Макаров, А. Д. Волков // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2021. – № 3. – С. 28–34.

## ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ СОВМЕЩЕНИЯ СТИМУЛЯЦИИ И СНИЖЕНИЯ ОБСЕМЕНЕННОСТИ СЕМЯН ПРИ СВЧ ОБРАБОТКЕ

ЦЮНЬЯНЬ ЛУ (LYU JUNYAN), С. В. КУРЗЕНКОВ

УО «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции  
и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия»,  
г. Горки, Республика Беларусь, 213407, e-mail: sergkrz@yandex.by

(Поступила в редакцию 08.01.2026)

*Работа посвящена предпосевной микроволновой обработке семян зерновых и бобовых культур, как альтернативе химическим и биологическим способам обработки. Цель исследования состоит в систематизации параметров микроволновой обработки и в уточнении диапазонов, в которых одновременно улучшаются посевные качества и снижается микробная обсемененность.*

*Проведен структурированный обзор публикаций за период с 2018 по 2025 год с обработкой на частоте 2,45 ГГц. Режимы обработки приведены к единому описанию по удельной мощности, времени воздействия, исходной влажности семян, толщине слоя и максимальной температуре.*

*Результаты обзора показывают, что при исходной влажности от 12 до 18 % и толщине слоя не более 15 мм наилучшие эффекты чаще всего достигаются при удельной мощности от 0,2 до 0,5 Вт/г и времени обработки от 30 до 60 с при ограничении максимальной температуры до 50 °С. При более высокой влажности и увеличении энергопередачи возрастает риск снижения всхожести при сохранении выраженного обеззараживающего эффекта.*

*Использование тонкого или псевдооживленного слоя, перемешивания и онлайн контроля температуры и влажности повышает воспроизводимость результатов и облегчает переход к обработке больших партий.*

**Ключевые слова:** микроволновая обработка семян, предпосевная обработка, всхожесть, микробная обсемененность, влажность семян, зерновые культуры, бобовые культуры.

*This study examines pre-sowing microwave treatment of grain and legume seeds as an alternative to chemical and biological methods. The objective of the study is to systematize microwave treatment parameters and clarify the ranges that simultaneously improve seed quality and reduce microbial contamination.*

*A structured review of publications covering the period from 2018 to 2025, using treatment at a frequency of 2.45 GHz, was conducted. Treatment modes are standardized for specific power, exposure time, initial seed moisture, layer thickness, and maximum temperature. The review results show that, with an initial moisture content of 12 to 18% and a layer thickness of no more than 15 mm, the best results are most often achieved with a specific power of 0.2 to 0.5 W/g and a treatment time of 30 to 60 s, while limiting the maximum temperature to 50°C. At higher moisture content and increased energy transfer, the risk of reduced germination increases while maintaining a pronounced disinfectant effect.*

*The use of a thin or fluidized bed, mixing, and online temperature and humidity control improves the reproducibility of results and facilitates the transition to processing large batches.*

**Key words:** microwave seed treatment, pre-sowing treatment, germination, microbial contamination, seed moisture, grain crops, legumes.

### Введение

Предпосевная обработка семян является ключевым звеном технологической цепочки, обеспечивающим выравнивание полевой всхожести и повышение ранней жизнеспособности проростков зерновых и бобовых культур. В современных условиях особое внимание уделяется физическим безреагентным методам предпосевного воздействия, исключающим применение химических веществ.

Одним из наиболее перспективных направлений является микроволновая обработка, которая при корректном подборе режимных параметров сочетает стимулирующее воздействие с санитарным эффектом. Так, при обработке семян сои контроль удельной мощности и процессной температуры обеспечивал стабильное повышение лабораторной всхожести и индекса жизнеспособности [1]. Для кукурузы установлено, что кратковременные щадящие режимы микроволнового нагрева способствуют оптимизации микроструктуры зародыша и сокращению среднего времени прорастания, что указывает на стимулирующий механизм при слабом или субтермическом нагреве [2]. Для ячменя показано, что при оптимальном сочетании скорости нагрева и длительности СВЧ-обработки (порядка 30 с при умеренной скорости нагрева) удастся одновременно снизить грибную контаминацию зерна и повысить его жизнеспособность на 10–15 % по сравнению с контролем, тогда как при дальнейшем усилении тепловой нагрузки жизнеспособность резко снижается [3].

Экспериментальные исследования на семенах сои показывают, что микроволновая обработка в псевдооживленном слое с подводом горячего воздуха через перфорированное дно обеспечивает более равномерный прогрев по толщине слоя и позволяет поддерживать высокую лабораторную всхожесть при ограниченном уровне механических повреждений оболочки, что делает такую компоновку перспективной для совмещения стабилизации влажности и предварительной санитарной обработки посевного материала [4].

На примере сорго показано, что микроволновая тепловая обработка одновременно влияет на санитарное состояние и биохимический профиль сырья: при умеренных режимах повышается содержание фенольных соединений и антиоксидантная активность без существенного ухудшения функциональных свойств, тогда как усиление мощности и времени нагрева обеспечивает более глубокое подавление роста плесневых грибов, но сопровождается снижением растворимости белка, разлагаемости его составляющих [5]. Это подтверждает возможность целевой настройки режима обработки в сторону преимущественной стимуляции и/или обеззараживания.

Для обеспечения воспроизводимости результатов необходим онлайн-мониторинг и единообразная отчетность технологических параметров. В обязательный перечень следует включать удельную мощность, длительность воздействия, исходную массовую влажность, толщину слоя и максимальную процессную температуру ( $T_{\max}$ ). Диэлектрические измерения устанавливают количественную связь между влагосодержанием и долей поглощаемой мощности, что делает включение  $T_{\max}$  и влажности в отчет обоснованным с методической точки зрения [6].

Сопоставление экспериментальных данных по обработке в псевдоожиженном слое с аналитическими обзорами оборудования позволяет наметить практический маршрут масштабирования от лабораторных установок к опытно-промышленному уровню. К числу ключевых аппаратных решений относятся: многоточечный ввод микроволновой энергии; механическое перемешивание или периодическое переворачивание слоя; непрерывный контроль температуры и влажности [7].

Цель работы заключается в систематизации параметров микроволновой предпосевной обработки и уточнении условий, при которых стимулирующее воздействие сочетается с эффективным снижением микробной обсемененности. В работе формулируются правила перехода от лабораторных режимов к прикладным установкам, под которыми понимается увеличение массы обрабатываемой партии – от десятков и сотен граммов до килограммов и десятков килограммов при сохранении контролируемой максимальной процессной температуры ( $T_{\max}$ ).

#### **Основная часть**

Проведен структурированный обзор с качественным синтезом данных. Для обеспечения прозрачности и воспроизводимости процедуры использованы ключевые положения международных методологических руководств по подготовке и публикации систематических обзоров и метаанализов – PRISMA 2020 (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) [9] и принципы структурированного и прозрачного описания научных процессов в контексте систематических обзоров – SWIM (Scientific Workflow Integration Model) [10].

Отбор публикаций проводился поэтапно. Первоначально изучались название и аннотация публикации, а затем подвергался анализу ее полный текст. Извлечение данных осуществлялось по следующим технологическим параметрам: удельная мощность (Вт/г); длительность воздействия (с); исходная массовая влажность семян (%); толщина обрабатываемого слоя (м); максимальная температура процесса (°С). Если в публикации указывались только номинальная мощность установки (Вт) и масса навески (г), удельная мощность рассчитывалась как отношение параметров. По каждому исходу фиксировались средние значения, стандартные отклонения, или доли и абсолютные значения с указанием размера выборок. Исходные единицы измерения сохранялись. При необходимости данные приводились к сопоставимой размерности, например, к логарифму десятичному от количества колониеобразующих единиц на грамм  $\log_{10}(\text{CFU}/\text{г})$ , или к процентному изменению относительно контроля. Качество извлеченной информации оценивалось по шестипунктной схеме MQA-6 (Methodological Quality Assessment – 6 criteria) [11], включающей описание объекта, режима обработки, контрольной группы, единиц измерения. Такое приведение к единому формату обеспечило сопоставимость режимов обработки между различными культурами и типами установок.

Информационный поиск осуществлялся в базах данных Web of Science, Scopus и Google Scholar за период с 1 января 2018 г. по 2 ноября 2025 г. Поиск проводился на русском и английском языках с использованием комбинаций терминов, сгруппированных по трем тематическим направлениям:

1. Технологические параметры микроволновой обработки – «микроволновая обработка», «СВЧ».
2. Объект исследования – «семена», «пшеница», «ячмень», «кукуруза», «рис», «соя», «горох».
3. Показатели исходов – «всхожесть», «жизнеспособность», «обсемененность», «колониеобразующие единицы», contamination, CFU.

В дополнение к автоматизированному поиску выполнялись ручной анализ списков литературы включенных публикаций и обратный поиск по цитированиям. Полнотекстовый просмотр использовался для проверки наличия количественных данных и контрольных групп, необходимых для сопоставительного анализа результатов [9].

Объектом анализа являлись семена зерновых и бобовых культур, предназначенные для посева. Рассматривалась предпосевная микроволновая обработка семенного материала, осуществляемая на промышленной частоте 2,45 гигагерца (ГГц) в непрерывном, импульсном и флюидизационном режимах. Режим горячевоздушной флюидизации определялся созданием псевдооживленного слоя семян за счет восходящего потока нагретого воздуха, подаваемого через перфорированное дно установки. Тем самым обеспечивалось кратковременное взвешивание частиц и рассматривались вопросы улучшения равномерности распределения теплового потока и возможности выравнивания тепло- и массообмена по толщине слоя.

Контрольная группа определялась как партия семян, не подвергавшихся микроволновому воздействию. При наличии в публикациях дополнительных контрольных вариантов – например, семян, обработанных традиционными методами протравливания или термической обработки – их результаты также использовались для сравнительного анализа с микроволновыми режимами. В качестве показателей исхода анализировались: лабораторная всхожесть семян (%); среднее время прорастания семян (с); микробная обсемененность семян, выраженная в количестве колониеобразующих единиц на грамм семян (КОЕ – colony forming units), отдельно для бактериальной и грибной микрофлоры. В обзор включались лабораторные и полевые исследования семенного материала сельскохозяйственных культур, содержащие количественные данные и обеспечивающие возможность прямого сравнения с контрольной группой [9].

Всхожесть оценивалась относительно контрольной группы. Улучшение всхожести фиксировалось при увеличении ее не менее чем на 5 процентных пунктов, ухудшение – при соответствующем снижении этого показателя. Промежуточные изменения относились к отсутствию существенной разницы.

Для времени прорастания применялась относительная шкала, в которой улучшение отмечалось при изменении показателя не менее чем на 10 %.

Микробная обсемененность выражалась в колониеобразующих единицах на грамм. Улучшение фиксировалось при снижении показателя не менее чем на 30 процентов по отношению к контролю. Результаты излагались в виде качественного описания в соответствии с рекомендациями по представлению качественного синтеза [10].

В приведенных исследованиях режимы воздействия на семенной материал группировались по трем уровням передачи энергии семенам и их влажности. При этом фиксировались условия обработки семян: в тонком слое, при перемешивании, в псевдооживленном слое, при многоточечном вводе энергии, ее вводе в непрерывном или импульсном режиме. Для каждой комбинации отмечались направления изменений по посевным качествам и обсемененности семян, а также соблюдение температурного ограничения процесса. При этом выделялись рабочие настройки, при которых улучшались посевные качества и снижалась обсемененность без признаков перегрева семенного материала.

В табл. 1 зафиксированы результаты априорной информации по влиянию влажности семенного материала и сочетаний удельной мощности и времени воздействия на посевные его качества, обсемененность и соблюдение температурного ограничения ( $T_{max} < 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

Таблица 1. Влияние влажности семенного материала и сочетаний удельной мощности и времени воздействия на посевные его качества, обсемененность и соблюдение температурного ограничения

Режим (Вт/г × с)	Посевные качества	Обсемененность (КОЕ)	Статус $T_{max}$	Источники
1	2	3	4	5
Влажность семян 10–12%				
0 – 0,2 × 10 – 30	Без изменений или слабое улучшение	Без изменений	Соблюден	[14], [13], [17]
0,2 – 0,5 × 30 – 60	Положительный эффект	Положительный эффект	Соблюден	[13], [16], [18]
> 0,5 и > 60	Без изменений или отрицательный эффект	Выраженный положительный эффект	Превышен	[13]
Влажность семян 12 – 18 %				
0,0–0,2 × 10–30	Положительный эффект	Без изменений или положительный эффект	Соблюден	[14], [13], [17]
0,2–0,5 × 30–60	Выраженный положительный эффект	Положительный эффект	Соблюден	[13], [16], [18]
>0,5 и >60	Отрицательный эффект	Выраженный положительный эффект	Превышен	[13]
Влажность семян > 18 %				
0,0–0,2 × 10–30	Без изменений	Без изменений	Соблюден	[14], [13], [17]
0,2–0,5 × 30–60	Без изменений или отрицательный эффект	Без изменений или положительный эффект	Соблюден	[13], [16], [18]
>0,5 и >60	Выраженный отрицательный эффект	Выраженный положительный эффект	Превышен	[13]

Как видно из табл. 1, характер ответа семян на микроволновое воздействие определяется сочетанием исходной влажности и уровня удельной мощности/времени. При влажности 10–12 % низкие нагрузки (0–0,2 Вт/г, 10–30 с) в большинстве случаев не изменяют посевные качества и микробную обсемененность при соблюдении ограничения  $T_{\max} < 50$  °С. Такие режимы методически безопасны, но малопродуктивны с точки зрения стимуляции и деконтаминации. Переход к средним нагрузкам (0,2–0,5 Вт/г, 30–60 с) обеспечивает более устойчивый положительный эффект: улучшается всхожесть при одновременном снижении КОЕ и сохранении  $T_{\max}$  в допустимых пределах, то есть реализуется целевая комбинация стимуляции и обеззараживания. При дальнейшем росте мощности и/или времени температура семенного слоя выходит за пределы  $T_{\max}$ , посевные показатели начинают ухудшаться, хотя обеззараживающий эффект остается выраженным; такие режимы следует относить к преимущественно дезинфицирующим и ограничивать их применение в предпосевной практике.

При повышении исходной влажности до 12–18 % «рабочее окно» по мощности и времени сужается. Даже при низких нагрузках (0–0,2 Вт/г, 10–30 с) чаще фиксируется положительное влияние на всхожесть при нейтральном или положительном влиянии на обсемененность, что указывает на большую чувствительность семян к мягкому прогреву. Средние настройки (0,2 – 0,5 Вт/г, 30 – 60 с) дают наиболее выраженное совмещение: посевные качества улучшаются, микробная нагрузка снижается, а температурное ограничение сохраняется. Выход за эти пределы приводит к заметному ухудшению посевных показателей при сохранении сильного обеззараживающего эффекта, то есть допустимый уровень нагрева для более влажных партий оказывается ниже, чем для более сухих.

При влажности семян свыше 18 % баланс смещается в сторону температурных рисков. Таблица показывает, что даже в диапазоне средних режимов (0,2 – 0,5 Вт/г, 30 – 60 с) исходы по всхожести становятся нестабильными – от отсутствия изменений до отрицательного эффекта, тогда как снижение КОЕ сохраняется. При высоких нагрузках практически во всех случаях отмечается выраженное ухудшение посевных показателей при сильной деконтаминации и превышении  $T_{\max}$ . Это позволяет рекомендовать для партий с повышенной влажностью либо предварительное выравнивание влагосодержания, либо более радикальное ограничение мощности и времени, если приоритетом остается сохранение посевных качеств.

Таблица 2. Влияние технологических приемов микроволновой обработки на посевные качества материала, обсемененность и соблюдение температурного ограничения

Условия обработки	10–12 %, посевные качества	10–12 % КОЕ	12–18 %, посевные качества	12–18 % КОЕ	> 18 %, посевные качества	> 18 % КОЕ	Статус $T_{\max}$	Источники
Импульсный ввод	Положительный эффект	Без изменений	Положительный эффект	Без изменений	Без изменений	Без изменений	Соблюден	[15]
Псевдооживленный слой или тонкий слой	Положительный эффект	Положительный эффект	Положительный эффект	Положительный эффект	Без изменений	Положительный эффект	Соблюден	[16], [18]

Данные табл. 2 демонстрируют, что выбор технологического приема при прочих равных существенно изменяет соотношение между стимуляцией и деконтаминацией. При импульсном вводе энергии во всех диапазонах влажности достигается устойчивый положительный эффект по посевным качествам, тогда как по КОЕ преобладают нейтральные изменения. Это означает, что импульсные режимы целесообразно рассматривать как «щадящий» инструмент преимущественно для стимуляции: они позволяют ограничить суммарный тепловой подъем, удерживать  $T_{\max}$  на безопасном уровне и повышать жизнеспособность, но обеспечивают лишь умеренное санитарное действие.

В условиях псевдооживленного или просто тонкого слоя (толщина порядка 10–15 мм) ситуация иная: при влажности 10–18 % положительный эффект одновременно по всхожести и по снижению КОЕ наблюдается значительно чаще, причем при соблюдении температурного ограничения. Это подтверждает, что организация процесса в виде тонкого или псевдооживленного слоя является базовым условием для совмещения стимуляции и обеззараживания. При влажности >18 % положительное влияние на посевные качества уже менее выражено (чаще отсутствует), тогда как снижение обсемененности сохраняется, что еще раз подчеркивает необходимость контроля и ограничения исходной влажности перед СВЧ-обработкой.

С инженерной точки зрения табл. 2 указывает, что при переходе к обработке более крупных партий семян приоритет следует отдавать именно псевдооживленному или тонкому слою, а импульсный

ввод использовать как дополнительный инструмент тонкой настройки тепловой нагрузки. Такое сочетание технологических решений расширяет область, в которой возможно устойчивое совмещение повышения посевных качеств и снижения обсемененности без выхода за температурный предел  $T_{\max}$ .

Под воспроизводимостью понимается получение сходных посевных показателей и уровня микробной обсемененности при одинаковых настройках режима в разных партиях семян и на установках различного объема. Для оценки таких условий выделены элементы процесса, которые определяют распределение электромагнитного поля и температурный профиль: толщина слоя, периодическое перемешивание, управляемый воздушный поток и псевдооживленный слой, многоточечный ввод микроволновой энергии, а также онлайн-контроль температуры и влажности, прерывистые и импульсные режимы. Для каждого элемента указаны назначение, влияние на  $T_{\max}$  и равномерность прогрева, ожидаемая направленность по посевным показателям и по КОЕ, а также область применения в лабораторных и прикладных условиях. Подробное сопоставление представлено в таблице 3 [15, 16, 18, 19].

Таблица 3. Условия обработки и мониторинга: назначение, уменьшает риска локальных перегревов, условия применения

Условия обработки и мониторинга	Назначение	Влияние на $T_{\max}$ и равномерность	Посевные качества	Обсемененность (КОЕ)	Условия применения	Источники
Тонкий слой $\leq 10\text{--}15$ мм	Выравнивание поля, уменьшение температурных градиентов	Снижает $T_{\max}$ , уменьшает риск локальных перегревов	Положительный эффект	Положительный эффект	Исходная влажность 12–18 %, обязательный контроль температуры	[16], [18]
Перемешивание с интервалами 30–90 с	Снятие краевых эффектов, выравнивание нагрева по толщине	Стабилизирует температурное поле	Положительный эффект	Положительный эффект	Слой толще 10 мм, нестабильный прогрев, переход к большим партиям	[16]
Псевдооживление слоя	Принудительная конвекция и вынос влаги	Снижает градиенты, помогает удерживать $T_{\max}$	Положительный эффект	Положительный эффект	Настройка поверхностной скорости, устойчивый режим псевдооживления	[16], [18]
Многоточечный ввод энергии	Выравнивание распределения мощности	Снижает пиковые температуры, уменьшает локальные максимумы	Положительный эффект	Положительный эффект	Разные объемы и геометрии, переход к большим партиям	[19]
Прерывистый режим 1:1 или 2:1	Паузы для отвода тепла и влаги	Уменьшает средний тепловой подъем	Положительный или нейтральный эффект	Нейтральный до положительного эффекта	Совмещать с тонким слоем и перемешиванием	[13]
Импульсный ввод энергии	Короткие импульсы при малом суммарном прогреве	Минимизирует локальные перегревы	Положительный или нейтральный эффект	Нейтральный эффект	Требуется контроль исходной влажности и толщины слоя	[15]
Онлайн контроль температуры	Наблюдение в нескольких точках слоя	Помогает удерживать $T_{\max}$ на целевом уровне	Положительный эффект	Положительный эффект	Все режимы, ИК-датчики и термпары	[13], [16]
Онлайн контроль влажности	Стабилизация диэлектрических свойств материала	Сглаживает вариабельность энерговода	Положительный или нейтральный эффект	Нейтральный до положительного эффекта	Требуется калибровка под культуру и сорт	[17]

Согласно табл. 3, ключевые элементы организации процесса толщина слоя, перемешивание, псевдооживление, многоточечный ввод энергии и режимы подачи мощности в совокупности задают распределение электромагнитного поля и температурный профиль, а через них исходы по посевным показателям и КОЕ. Тонкий слой ( $\leq 10\text{--}15$  мм) и перемешивание с интервалами 30–90 с выравнивают поле и стабилизируют температуру по толщине, что при исходной влажности 12–18 % обычно приводит к одновременному улучшению всхожести и снижению обсемененности при уменьшении риска локальных перегревов. Псевдооживленный слой дополняет эти эффекты за счет принудительной кон-

векции и выноса влаги, поэтому во всех соответствующих строках отмечены положительные изменения как по посевным качествам, так и по КОЕ при корректной настройке режима псевдооживления.

Многоточечный ввод энергии и прерывистые режимы (1:1, 2:1) работают как средства ограничения пиковых температур. Первый распределяет мощность в объеме, снижая локальные максимумы, второй за счет пауз уменьшает средний тепловой подъем и дает время для отвода тепла и влаги. Это отражается в таблице преобладанием положительного или нейтрального влияния на всхожесть и микробную нагрузку даже при увеличении толщины слоя и переходе к большим партиям. Импульсный ввод энергии, напротив, характеризуется как прием, который надежно сохраняет или умеренно улучшает посевные качества при преимущественно нейтральном влиянии на КОЕ, то есть служит дополнительной защитой от перегрева для чувствительных культур.

Онлайн-контроль температуры и влажности, хотя сам по себе не изменяет физику нагрева, замыкает контур управления режимом. Наблюдение  $T_{\max}$  в нескольких точках слоя и стабилизация влагосодержания позволяют компенсировать вариабельность диэлектрических свойств материала между партиями и установками. Поэтому применение этих средств в таблице ассоциируется с положительным или нейтральным эффектом по обоим целевым показателям во всех рассмотренных сценариях. В совокупности табл. 3 показывает, что достижение совмещенного эффекта стимуляции и деконтаминации опирается не только на выбор мощности и времени (табл. 1), но и на обязательный набор инженерных решений по управлению полем и тепло-массообменом.

В табл. 4 обобщим настройки, при которых удастся повысить посевные качества и снизить обсемененность злаковых и бобовых культур при соблюдении температурного ограничения процесса. Правила корректировки даны по исходной влажности и по толщине слоя.

Таблица 4. Рабочие диапазоны и правила корректировки

Семена	Режим (Вт/г × с)	Коррекция по влажности	Коррекция по слою	Мониторинг контроля	Источники
Злаков	0,2–0,5 × 30–60	При +2 п.п. влажности уменьшать мощность на 10–15% или соответственно сокращать время	При >10 мм включать перемешивание	Онлайн контроль температуры ( $\leq 50$ °С) и влажности	[13], [16], [17], [18]
Бобовых	0,2–0,4 × 30–60	При +2 п.п. влажности уменьшать мощность на 15–20% или сокращать время примерно на 15%	Предпочтительно $\leq 10$ мм	Предварительное выравнивание влажности партии семян и более жесткий контроль температуры ( $\leq 50$ °С)	[13], [16], [17], [18]

В табл. 4 сведены результаты обзора к двум типовым рабочим диапазонам для злаковых и для бобовых культур и дополнены простыми правилами их корректировки. Для злаков оптимальные режимы сосредоточены в интервале 0,2–0,5 Вт/г и 30–60 с при исходной влажности около 12–18 %: при толщине слоя до 10 мм и при контроле  $T_{\max} \leq 50$  °С в этих условиях чаще всего удастся одновременно повысить посевные качества и снизить микробную обсемененность. При увеличении влажности на 2 процентных пункта рекомендуется заранее уменьшать удельную мощность на 10–15 % или эквивалентно сокращать время воздействия, а при утолщении слоя более 10 мм включать перемешивание. Тем самым компенсируется рост доли поглощаемой мощности и сохраняется безопасный температурный режим.

Для бобовых культур «окно» режимов заметно уже и смещено к более умеренным нагрузкам (0,2–0,4 Вт/г при 30–60 с). Таблица показывает, что при тех же изменениях влажности шаг корректировки параметров здесь должен быть более жестким: уменьшение мощности на 15–20 % или сокращение времени примерно на 15 % при каждом увеличении влажности на 2 процентных пункта. Предпочтительная толщина слоя не превышает 10 мм, дополнительно требуется предварительное выравнивание влажности партии и более строгий контроль температуры ( $T_{\max} \leq 50$  °С). Это отражает повышенную чувствительность бобовых к перегреву и объясняет необходимость более консервативного выбора режимов.

Таким образом, табл. 4 дает практико-ориентированное обобщение: при переходе от лабораторных установок к прикладным можно исходить из двух типизированных наборов настроек для злаков и для бобовых и корректировать их по двум ключевым факторам: исходной влажности и толщине слоя. Такое представление непосредственно поддерживает задачу масштабирования процесса, позволяя в явном виде задавать начальные параметры и шаги их адаптации под конкретную культуру и объем партии.

Настоящий систематический обзор имеет ряд ограничений, которые необходимо учитывать при интерпретации результатов и при планировании последующих экспериментальных работ.

Во-первых, включенные публикации характеризуются неоднородностью методической отчетности. В ряде источников отсутствовали прямые измерения максимальной температуры процесса, распределения температуры по толщине слоя и контроль исходной массовой влажности семенного материала. Это могло приводить к вариабельности биологического отклика внутри сопоставимых по удельной мощности и времени режимов обработки.

Во-вторых, не во всех исследованиях детально описаны инженерные особенности оборудования, такие как конфигурация рабочей камеры, характер распределения электромагнитного поля, наличие перемешивания, псевдооживления или многоточечного ввода энергии. В результате сравнительный анализ режимов проводился преимущественно в координатах «удельная мощность × время» и «влажность × температура», тогда как вклад конструктивных решений учитывался косвенно.

Третье ограничение связано с агрегацией результатов по биологическому отклику для различных культур. Несмотря на выявленные устойчивые тенденции, чувствительность к нагреву и изменению влажности зависит от видовой принадлежности и сортовых особенностей. Поэтому перенос обобщенных рабочих диапазонов на конкретную культуру требует осторожности и, по возможности, предварительной валидации в серии пилотных экспериментов.

В-четвертых, большинство включенных работ выполнено в лабораторных масштабах, когда масса семенного материала ограничена граммами или единицами килограммов. Сделанные на этой основе выводы о масштабировании и инженерных решениях, обеспечивающих совмещение стимуляции и обеззараживания, носят характер технологических рекомендаций и требуют дополнительного подтверждения на опытно-промышленных установках.

Наконец, в рамках настоящего обзора не анализировались экономические и агротехнологические аспекты внедрения микроволновой обработки, включая влияние на стоимость технологического цикла, интеграцию в действующие линии предпосевной подготовки и возможные ограничения, связанные с сортовым и климатическим разнообразием семенного материала. Эти вопросы выходят за рамки методологического анализа и формируют самостоятельное направление для дальнейших исследований.

### **Заключение**

Совместить стимулирующее действие и снижение обсемененности позволяет режим с умеренными значениями мощности и времени при исходной влажности от 12 до 18 процентов и при контроле максимальной температуры процесса не выше 50 °С. При увеличении исходной влажности на каждые два процентных пункта следует заранее уменьшать удельную мощность или сокращать время на 10–20 %. При утолщении слоя целесообразно применять периодическое перемешивание; при значительном утолщении рекомендуется возвращаться к тонкому слою и распределять энергию по нескольким точкам. Для работы с более крупными партиями полезны управляемая конвекция, многоточечный ввод энергии и непрерывный мониторинг температуры и влажности. Высокие нагрузки усиливают деконтаминацию, но повышают риск снижения жизнеспособности, поэтому приоритетом остается удержание температуры в безопасных пределах и выравнивание прогрева по толщине. Представленные диапазоны и правила можно использовать как практические рекомендации в выборе настроек при переходе от лабораторных условий к прикладным даже при учете сохраняющихся ограничений.

### *ЛИТЕРАТУРА*

1. Szopińska D., Dorna H. The Effect of Microwave Treatment on Germination and Health of Carrot (*Daucus carota* L.) Seeds // *Agronomy*. – 2021.–Vol. 11, № 12.–Art. 2571.–DOI: 10.3390/agronomy11122571.
2. Abubakar M., Alghanem S.M.S., Alhaithloul H.A.S., et al. Microwave seed priming and ascorbic acid assisted phytoextraction of heavy metals from surgical industry effluents through spinach // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. – 2024.–Vol. 282.–Art. 116731.–DOI: 10.1016/j.ecoenv.2024.116731.
3. Kretova Y, Tsirulnichenko L, Naumemko N, et al. The application of micro-wave treatment to reduce barley contamination[J]. 2018.
4. Anand A, Gareipy Y, Raghavan V. Fluidized bed and microwave-assisted fluidized bed drying of seed grade soybean [J]. *Drying Technology*, 2021, 39(4): 507-527. –DOI:10.1080/07373937.2019.1709495
5. Almainan S A, Albadr N A, Alsulaim S, et al. Effects of microwave heat treatment on fungal growth, functional properties, total phenolic content, and antioxidant activity of sorghum (*Sorghum bicolor* L.) grain[J]. *Food Chemistry*, 2021, 348: 128979. – DOI: 10.1016/j.foodchem.2020.128979.

6. Zhang Y, Guo W. Moisture content detection of maize seed based on visible/near-infrared and near-infrared hyperspectral imaging technology // *International Journal of Food Science and Technology*– 2020 –55(2). – p. 631-640. –DOI:10.1111/ijfs.14317.
7. Joardder M.U.H., Karim M.A. Toward Uniform Microwave Heating in Food Drying: Principles, Technologies, and Emerging Trends // *Food Engineering Reviews*. –2025.–DOI:10.1007/s12393-025-09426-5.
8. Larbi Bouamrane O., et al. Fluidization-bed drying and microwave radiation effects on drying rate, fatty acid, protein, and germination of flaxseed // *Journal of Food Process Engineering*. –2023.–DOI:10.1111/jfpe.14524.
9. Page M.J., McKenzie J.E., Bossuyt P.M., et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews // *BMJ*. – 2021.–Vol. 372.–n71.–DOI: 10.1136/bmj.n71.
10. Campbell M., McKenzie J.E., Sowden A., et al. Synthesis without meta-analysis (SWiM) in systematic reviews: reporting guideline // *BMJ*. – 2020.–368: 16890. – DOI: 10.1136/bmj.16890.
11. Aromataris E, Lockwood C, Porritt K, Pilla B, Jordan Z, editors. *JBIC Manual for Evidence Synthesis*. JBI; 2024. Available from: <https://synthesismanual.jbi.global>.
12. de Faria R.Q., dos Santos A.R.P., Vasco L.C.P.S., et al. Quality of Soybean Seeds after Microwave Drying // *Applied Sciences*. – 2023.–Vol. 13, № 14.–Art. 8116.–DOI: 10.3390/app13148116.
13. Lu X., Wang S., Dong Y., Xu Y., Wu N. Effects of microwave treatment on the microstructure, germination characteristics, morphological characteristics and nutrient composition of maize // *South African Journal of Botany*. – 2024.–Vol. 165.–P. 144–152.–DOI: 10.1016/j.sajb.2023.12.034.
14. Mumtaz S., Javed R., Rana J. N., Iqbal M., Choi E. H. Pulsed high power microwave seeds priming modulates germination, growth, redox homeostasis, and hormonal shifts in barley for improved seedling growth: Unleashing the molecular dynamics // *Free Radical Biology & Medicine*. – 2024. – Vol. 222. – P. 371–385.–DOI: 10.1016/j.freeradbiomed.2024.06.013.
15. Taheri S., Brodie G., Gupta D. Microwave fluidised bed drying of red lentil seeds: Drying kinetics and reduction of botrytis grey mold pathogen // *Food & Bioproducts Processing*. – 2020.–Vol. 119.–P. 390–401.–DOI: 10.1016/j.fbp.2019.11.001.
16. Jones S. B., Sheng W., Or D. Dielectric measurement of agricultural grain moisture–Theory and applications // *Sensors*. – 2022. – Vol. 22, № 6.–Art. 2083.–DOI: 10.3390/s22062083.
17. Taheri S., Brodie G., Gupta D. Fluidisation of lentil seeds during microwave drying and disinfection could prevent detrimental impacts on their chemical and biochemical characteristics // *LWT*. – 2020.–Vol. 129.–Art. 109534. – DOI: 10.1016/j.lwt.2020.109534.
18. Kipriyanov F. A., Savinykh P. A., Isupov A. Y., et al. Prospects for the use of microwave energy in grain crop seeding // *Journal of Water and Land Development*. – 2021.–№ 49.–P. 74–78.–DOI: 10.24425/jwld.2021.137098.

## ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ И РАЗВИТИЯ СЕЯЛОЧНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ОСНОВНЫХ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР КИТАЯ

ЛЯН ЭНЬЦЯН, КОНГ ЦЗЯЛИ, В. С. АСТАХОВ, Г. О. ИВАНЧИКОВ

УО «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции  
и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия»,  
г. Горки, Республика Беларусь, 213407

(Поступила в редакцию 12.01.2026)

Производство зерна играет критическую роль в обеспечении национальной безопасности, поскольку оно напрямую влияет на продовольственную независимость страны. В условиях растущего населения и климатических вызовов, таких как засухи и наводнения, посевные работы становятся ключевым элементом сельскохозяйственной деятельности, определяющим урожайность и эффективность использования земель. Зерновая сеялка представляет собой специализированную сеялочную машину, предназначенную для точного посева семян основных зерновых культур, включая пшеницу, рис, кукурузу и ячмень. Она оснащена сеялочным устройством, которое гарантирует соблюдение агротехнических норм: оптимальную глубину заделки семян (обычно 3–5 см в зависимости от почвы), ширину междурядий (15–30 см) и расстояние между растениями в ряду, что минимизирует конкуренцию за ресурсы и повышает всхожесть. Современные модели интегрируют датчики для мониторинга почвы и GPS для точного позиционирования, что особенно актуально в разнообразных агроклиматических зонах Китая.

В данной работе проводится детальный анализ состояния исследований сеялочных устройств для основных зерновых культур Китая. Согласно недавним обзорам, фокус исследований смещается к автоматизации и цифровизации: например, разрабатываются умные сеялки для риса, учитывающие факторы фермерских хозяйств и стимулирующие их внедрение. Университеты и исследовательские институты доминируют в этой области, публикуя тысячи статей по темам от дискретного элементного метода (DEM) в моделировании посева до интеграции ИИ для оптимизации процессов. Рынок сеялок в Китае растет благодаря повышению производительности и простоте использования, с акцентом на экологически чистые модели, снижающие расход семян и удобрений. Кроме того, социализированные услуги по аренде техники способствуют повышению эффективности землепользования, особенно в мелких хозяйствах.

Этот анализ имеет значительную справочную ценность для разработки новых типов сеялочных машин, включая гибридные модели с элементами «умного земледелия», поддерживаемые пятилетним планом Китая по цифровой трансформации сельского хозяйства. Отечественные специалисты и ученые активно исследуют инновационные технологии, такие как CRISPR и TALEN для улучшения семян, новые материалы для износостойких компонентов сеялок и методы, интегрирующие субсидии на технику для повышения зеленой продуктивности зерна. Например, в 2025 году разработано более 400 новых сортов пшеницы с использованием автоматизированных технологий. Эти усилия направлены на ускорение развития отрасли, решение проблем структуры техники и обеспечение устойчивого роста производства, что критично для глобальной продовольственной стабильности. В будущем ожидается интеграция робототехники и больших данных для полностью автономных систем посева, что позволит Китаю укрепить лидерство в агротехнике.

**Ключевые слова:** зерновые культуры, сеялочное устройство, сеялочный аппарат, пружинный зажим, пневматический.

Grain production plays a critical role in ensuring national security, as it directly impacts the country's food sovereignty. With a growing population and climate challenges such as droughts and floods, seeding is becoming a key element of agricultural activity, determining crop yields and land use efficiency. A grain seeder is a specialized seeding machine designed for precision seeding of major grain crops, including wheat, rice, corn, and barley. It is equipped with a seeding unit that ensures compliance with agricultural practices: optimal seeding depth (usually 3–5 cm depending on soil conditions), row spacing (15–30 cm), and plant spacing within a row, which minimizes competition for resources and improves germination. Modern models integrate soil monitoring sensors and GPS for precise positioning, which is particularly relevant in China's diverse agroclimatic zones.

This paper provides a detailed analysis of the state of research on seeding units for China's major grain crops. Recent reviews indicate that the focus of research is shifting toward automation and digitalization: for example, smart rice seeders are being developed that take farm factors into account and encourage their adoption. Universities and research institutes dominate this field, publishing thousands of papers on topics ranging from the discrete element method (DEM) in seeding modeling to the integration of AI for process optimization. The seed drill market in China is growing due to improved productivity and ease of use, with an emphasis on environmentally friendly models that reduce seed and fertilizer consumption. Furthermore, socialized equipment rental services contribute to improved land use efficiency, especially on small farms.

This analysis provides significant reference value for the development of new types of seed drills, including hybrid models with "smart farming" features, supported by China's five-year plan for the digital transformation of agriculture. Domestic specialists and scientists are actively researching innovative technologies such as CRISPR and TALEN for seed improvement, new materials for wear-resistant seed drill components, and methods integrating equipment subsidies to increase green grain productivity. For example, by 2025, more than 400 new wheat varieties will have been developed using automated technologies. These efforts aim to accelerate industry development, address technology structure issues, and ensure sustainable production growth, which is critical for global food stability. In the future, the integration of robotics and big data for fully autonomous seeding systems is expected, allowing China to strengthen its leadership in agricultural technology.

**Key words:** grain crops, seed drill, seeder, spring clamp, pneumatic.

### Введение

Посев является одним из основных этапов производства сельскохозяйственных культур. Китай является крупнейшей аграрной развивающейся страной в мире, а также одним из крупнейших мировых

рынков сельскохозяйственной техники. В последние годы, с ускорением процесса модернизации сельского хозяйства и всесторонним продвижением стратегии возрождения сельских территорий, рынок сеялок в Китае демонстрирует быстрый рост.

В настоящее время на китайском рынке сеялок представлены несколько основных производителей, таких как Юньнань Цайхун, Чунфэн, Цзянсу Цзинда, Хунань Сосань и другие. Сеялка, как важный компонент современного сельскохозяйственного оборудования, получила широкое применение и развитие как в Китае, так и за рубежом. С развитием науки и технологий эффективность работы, точность и уровень интеллектуализации сеялок постоянно повышаются, что приносит значительную пользу сельскохозяйственному производству.

В нашей стране площадь пашни на душу населения мала, сельскохозяйственная рабочая сила избыточна, а масштабирование земельных угодий на больших территориях достигается с низкой долей, поэтому уровень механизации посева сравнительно невысок. В стране преимущественно используются механические сеялки, выбор которых должен осуществляться с учётом различных почвенных условий и агротехнических требований с возможностью гибкой регулировки.

Исследования в области посевных технологий в нашей стране начались относительно поздно, а технологии точного дозированного высева остаются относительно отсталыми. Из-за различий в масштабах и методах обработки почвы по сравнению с зарубежными странами, зарубежные сеялки не слишком подходят для использования в Китае [1]. В последние годы, опираясь на зарубежные исследования посева и учитывая особенности земельных ресурсов и сельскохозяйственных производителей внутри страны, в Китае также ведутся исследования различных типов малогабаритных сеялок.

### Основная часть

В настоящее время сеялочные аппараты в китайских сеялках преимущественно имеют механическую конструкцию, в то время как пневматические сеялочные аппараты применяются значительно реже. Компания Heilongjiang Rongtuo Beifang выпустила сеялку серии 2BJQ с пневматическим посевным аппаратом [2]. Эта сеялка обладает высокой адаптацией к различным культурам и типам почв, а также демонстрирует хорошие посевные характеристики. Для обеспечения более эффективной очистки семян Чжан Лихуа и соавторы [3] разработали пневматический прецизионный сеялочный аппарат, предназначенный для мелко междурядных плотных культур. Данный сеялочный аппарат может применяться для комплексного точечного посева. По результатам полевых испытаний посева был получен высокий индекс качества посева.

Профессор Хоу Цзялинь из Сельскохозяйственного университета Шаньдуна [4] и соавторы на основе модели кинетики семян оптимизировали ключевые параметры сеялочного устройства и разработали пневматическое центробежное комбинированное прецизионное сеялочное устройство. Сеялочное устройство, сочетая принципы пневматического наполнения и центробежной очистки, повысило равномерность распределения семян сеялкой. Эксперименты показали, что при скорости сеялочного диска от 552 до 800 об/мин достигается высокая квалифицированная норма посева.

Продукция кукурузной сеялки модели 2BYF-4A компании «Нонгха-Ха Машинери» представлена на рис. 1. Данная сеялка оснащена сошником с острым угловым профилем, обеспечивающим хорошую проникающую способность в твердой почве. Конструкция компактна, расстояние между посевами регулируется. Посевной элемент оснащён предохранительным штифтом для защиты от перегрузок.



Рис. 1. Сеялка точного высева кукурузы модели 2BYF-4A



Рис. 2. Пневматическая сеялка Fubang

Продукция пневматических сеялок компании Shandong Fubang представлена на рис. 2. Рабочая производительность составляет 1,7–3,4 га/ч, количество рабочих рядов – 6, междурядья регулируются в диапазоне 550–700 мм. Необходим трактор мощностью 120 л. с. и выше. Испытания показали, что

качество посева устойчивое, всхожесть высокая. Данное оборудование прочное и долговечное, легко регулируется, обладает высокой адаптивностью и способно осуществлять посев различных культур.

Сеялка модели 2BYMQF-4 компании Hebei Shenhe Machinery оснащена многорядным устройством внесения удобрений с регулируемой шириной и внешним дисковым механизмом. Норма высева регулируется заменой зубчатых колес, норма внесения удобрений – с помощью винтовой рукоятки.

Пневматическая сеялка Leveo Ms8200 позволяет регулировать междурядья с помощью системы EASY-SET путём вставки и настройки заглушек. Она обеспечивает быструю разгрузку и возврат остатков материалов и семян, что способствует снижению затрат. Регулировка расстояния между рядами и глубины посева отдельных семян осуществляется за счёт настройки колёс коробки передач.

Прецизионная сеялка модели 2BM-2 компании Debang Dawei предназначена для посева в параллельных участках, имеет тягово-подвесную конструкцию и относительно большой вес. Данный вентилятор используется в пневматической сеялке с гидравлическим мотором, обеспечивающим стабильное давление воздуха, что делает его пригодным для посева различных культур. Применение двухсторонней синхронной передачи предотвращает разрушение соломы.

Продукция сеялок Dongfanghong 2BMQZ-2 компании China YTO Group Corporation использует тяговую конструкцию с зажимом пальца. Количество рядов посева – 2, расстояние между рядами и междурядье регулируются. Надёжная конструкция, высокое качество, высокая точность и длительный срок службы. Двухдисковая канальная пружина под давлением увеличивает давление на почву, обеспечивает хорошее сцепление и высокое качество канавки [5].

В настоящее время гидромотор заменил осевой привод, что значительно повысило равномерность посева. Они широко используются в устройствах для прецизионного посева. Типичными зарубежными прецизионными сеялками являются американские сеялки с зажимом пальца, немецкие дисковые сеялки с косыми отверстиями и пневматические прецизионные сеялки. Сеялки, разработанные компаниями Hebei Nonghaaha и Henan Haofeng, используют сеялочное устройство с элементом в форме ложкообразного колеса [7], обеспечивающее высокое качество посева. Сяо Цзяньго и соавторы [8] разработали упрощённую комбинированную вакуумную сеялку, чья эффективность превосходит традиционные механические сеялки, при этом скорость работы выше, а равномерность посева лучше. Однако исследования по пневматическим прецизионным сеялочным устройствам и их практическому применению в производстве остаются ограниченными.

Чжао Цзяле и соавторы из Университета Цзилинь [9] разработали пневматическую двойнодисковую сеялку для сои. Исследование процессов загрузки и посева показало, что при конусной форме всасывающего отверстия посевные характеристики существенно улучшаются. Исследовано влияние скорости посева и скорости воздушного потока на уровень пропусков, выявлены закономерности работы при минимальном уровне пропусков. Ли Чжаодун и соавторы из Аньхойского сельскохозяйственного университета [10] провели оптимизационную конструкцию пневматической сеялки для масличного рапса, направленную на снижение высокого уровня пропусков. Они пришли к выводу, что сеялочное устройство с комбинацией зубьев желоба улучшает посевные характеристики и на основе экспериментов определили конструкцию и эксплуатационные параметры сеялки. Лю Хуаюй и соавторы [11] разработали зубчато-утконосное устройство для лунок просева проса, оптимизировав конструкцию отверстий трубки сбора семян. Цуй Жунцзян и соавторы [12] создали дугообразную зубчато-утконосную чесночную сеялку, способную осуществлять одиночный сбор семян, регулировать направление зубчиков чеснока и процесс вертикальной посадки, эффективно решая проблему посева чеснока.

Чжан Цзяншунь и соавторы разработали многорядную пневматическую сеялку с прецизионным дисковым механизмом для сверххранного риса [13], оптимизировали конструкцию сеялочного устройства, что обеспечило равномерное распределение семян и высокий коэффициент качественной посадки. Чжан Шунь и соавторы создали внутреннее пневматическое сеялочное устройство с изменяемым прямоугольным сечением канала [14], которое соответствует агротехническим требованиям точного посева риса. Голландская компания Lockwood разработала пневматическое сеялочное устройство, которое под действием положительного давления воздушного потока снижает столкновения между картофельными семенами и посевной трубкой, обеспечивая управляемую траекторию движения. Хань Цзяньфэн и соавторы разработали двухрядный широкий ленточный сеятель, сочетающий функции разделения и внесения семян [15], что снизило коэффициенты вариации смещений и поперечной равномерности.

В будущем тенденции развития рынка сеялок в нашей стране будут включать следующие направления: технологическое обновление и развитие интеллектуальных систем. В настоящее время технологии сельскохозяйственной техники в нашей стране значительно усовершенствованы; обновление соответствующих технологий и их интеллектуализация будут способствовать дальнейшему повышению производительности сеялок и ускорению их внедрения. Специализация продукции. В последние годы с быстрым развитием технологий упаковки, посева и разметки в нашей стране потребительский рынок постоянно совершенствуется, а требования к производительности, функциональности, качеству и бренду машинных продуктов становятся более строгими. Таким образом, на рынке будут более востребованы специализированные, многофункциональные и индивидуально настроенные сеялки.

### **Заключение**

Отечественные учёные и предприятия провели обширные исследования пневматических сеялок для кукурузы и разработали несколько моделей сеялок. Тем не менее в конструкции сеялочных аппаратов и параметрах, открывающих борозды устройств, остаётся множество проблем, требующих дальнейших исследований. Большинство машин используют двухточечное или трёхточечное навесное тяговое устройство, что делает оборудование тяжёлым и при полевых работах приводит к уплотнению почвы и повреждению роста растений [6]. Сеялочные аппараты преимущественно выбираются зарубежные высокоточные модели с хорошими эксплуатационными характеристиками, однако это увеличивает стоимость машин.

### *ЛИТЕРАТУРА*

1. Сю Янь. Исследование состояния развития автоматизации сельскохозяйственной техники в Китае / Сю Янь // Южная сельскохозяйственная техника. – 2019 (17): 66–68.
2. Научно-исследовательский институт сельскохозяйственного машиностроения провинции Хэйлуцзян. Серия пневматических сеялок точного высева 2VJQ-6/7/8/9/1. Хэйлуцзян: 2011-01-01.
3. Проектирование и испытание пневматического сеялочного аппарата для плотного точного высева / Хань Дандань, Хэ Бинь, Чжоу И [и др.] // Труды Хуачжунского аграрного университета. – 2023 (01): 237–247.
4. Проектирование и испытание пневматического центробежного комбинированного точного сеялочного аппарата для пшеницы / Хоу Цзялинь, Ма Дуаньсю, Ли Хуэй [и др.] // Журнал сельскохозяйственной техники / – 2023 (10): 35–45.
5. Лю Чжоуи. Исследование конструкции и испытаний пневматической прецизионной безотвальной сеялки для кукурузы. Шеньянский сельскохозяйственный университет / Лю Чжоуи. – Шеньян, 2023.
6. Конструкция и испытания сошника пневматической сеялки для китайской капусты / Сунь Синпин, Ли Хуа, Ци Синдан [и др.] // Журнал механизации сельского хозяйства Китая. – 2023, 44(4):17–24.
7. Ци Бин. Исследование конструкции и испытаний центрального коллекторного пневматического сеялочного аппарата точного высева / Ци Бин. – Пекин: Китайский сельскохозяйственный университет, 2014.
8. Сяо Цзяньго. Разработка пневматической прецизионной пшеничной сеялки модели 2BQXJ-12 / Сяо Цзяньго // Сельскохозяйственная техника. – 2014 (19):124–126.
9. Сеялочный аппарат с двойным диском и воздушным всасыванием со смещением для соевых сеялок / Чжао Цзяле, Цзя Хунлэй, Цзянь Синьмин [и др.] // Журнал сельскохозяйственной техники. – 2013, 44(8): 78–83.
10. Оптимизация параметров и испытания пневматического дискового сеялочного аппарата с возмущением почвы для канолы / Ли Чжаодун, Хэ Шунь, Чжун Цзюй [и др.] // Журнал сельскохозяйственной инженерии. – 2021, 37(17): 1–11.
11. Конструкция и испытания сеялочного аппарата с утконосовой формой для посева проса / Лю Хуаюй, И Шуцзюань, Чэнь Тао [и др.] // Исследования механизации сельского хозяйства. – 2024, 46(10): 111–119.
12. Анализ морфологии семенного материала чеснока и исследование урожайных характеристик растений / Ван Сяюй, Цуй Жунцзян, Цзянь Шичун [и др.] // Исследования механизации сельского хозяйства. – 2015, 37(9):5.
13. Чжан Цзяншунь. Проектирование и экспериментальное исследование пневматического устройства для точного посева риса с прямым посевом в лунки / Чжан Цзяншунь. – Чжэцзянский технологический университет, 2023.
14. Проектирование и испытание пневматического барабанного устройства для точного посева риса с прямым посевом / Чжан Шунь, Ся Цзюньфан, Чжоу Юн [и др.] // Труды по сельскохозяйственной инженерии. – 2015, 31(1):9.
15. Оптимизация параметров и испытание пневматического дискового сеялочного аппарата с возмущением для посева рапса в лунки / Ли Чжаодун, Хэ Шунь, Чжун Цзюй [и др.] // Труды по сельскохозяйственной инженерии. – 2021, 37(17):1–11.

## АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ ЭКСЦЕНТРИКА В УСТРОЙСТВЕ ОЧИСТКИ ЛЬНОКОСТРЫ С КОЛЕБЛЮЩЕЙСЯ СЕТЧАТОЙ ЛЕНТОЙ

В. А. ШАРШУНОВ, С. В. КУРЗЕНКОВ, М. В. ЦАЙЦ, Н. С. СЕНТЮРОВ

УО «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции  
и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия»,  
г. Горки, Республика Беларусь, 213407, e-mail: nikolay\_senturov@rambler.ru

(Поступила в редакцию 14.01.2026)

*В работе исследован рабочий процесс устройства для очистки вороха льнокостры, основанный на колебательном воздействии эксцентрикового вала на сетчатую ленту транспортера. Представлена структурно-функциональная схема транспортирующего узла с выделением зон загрузки, выгрузки и рабочей зоны, последняя из которых включает чередующиеся локальные зоны действия эксцентрика. Разработана математическая модель взаимодействия сетчатой ленты с эксцентриковым валом и прижимными прутками на основе определения общих касательных к окружностям, описывающим элементы механизма. Получены аналитические зависимости, связывающие амплитуду колебаний и угол наклона ленты с конструктивными параметрами рабочего узла и частотой вращения эксцентрика. Установлено, что чередование зон «А» – предэксцентриковой и «В» – постэксцентриковой в предлагаемом оборудовании вызывает внутреннее перемещение слоя льнокостры и способствует более интенсивному выделению минеральных примесей без увеличения потерь основного материала. Полученные результаты формируют основу методического обоснования параметров рабочей зоны эксцентрика и могут быть использованы при разработке и оптимизации оборудования для очистки льнокостры.*

**Ключевые слова:** эксцентриковый механизм, сетчатый транспортер, льнокостра, процесс очистки, минеральные примеси, колебательное воздействие, математическое моделирование, оптимизация конструкции, эффективность разделения, сельскохозяйственное оборудование.

*This paper examines the working process of a flax-shive cleaning device based on the oscillating action of an eccentric shaft on a mesh conveyor belt. A structural and functional diagram of the conveying unit is presented, identifying the loading, unloading, and working zones, the latter of which includes alternating local zones of action of the eccentric. A mathematical model of the interaction between the mesh belt, the eccentric shaft, and the pressure rods is developed based on determining common tangents to the circles describing the mechanism elements. Analytical relationships were obtained linking the vibration amplitude and belt inclination angle with the design parameters of the working unit and the rotational speed of the eccentric. It was found that the alternation of zones "A" (pre-eccentric) and "B" (post-eccentric) in the proposed equipment causes internal displacement of the flax husk layer and promotes more intensive separation of mineral impurities without increasing losses of the main material. The obtained results form the basis for a methodological justification of the parameters of the eccentric working zone and can be used in the development and optimization of flax husk cleaning equipment.*

**Key words:** eccentric mechanism, mesh conveyor, flax husk, cleaning process, mineral impurities, vibrational action, mathematical modeling, design optimization, separation efficiency, agricultural equipment.

### Введение

Одним из важных этапов технологической переработки льняного сырья является очистка льнокостры от минеральных и механических примесей, влияющих на качество конечного продукта и износ оборудования последующих стадий [1, 2, 3]. Ворох льнокостры является многокомпонентным и несыпучим материалом. Традиционные методы очистки основываются на пневмосепарации, гравитационном разделении либо ударно-инерционном воздействии [4, 5, 6]. Однако эффективность существующих устройств нередко ограничивается необходимостью увеличения продолжительности обработки или габаритов машин при повышении степени отделения примесей, что снижает производительность и энергоэффективность технологического процесса [6].

В последние годы возрастает интерес к механическим способам интенсификации процессов очистки посредством контролируемого колебательного воздействия на слой материала. Перспективным направлением является применение эксцентриковых механизмов, которые позволяют формировать переменный режим контактного взаимодействия транспортирующей поверхности с материалом и способствуют нарушению адгезионных связей между льнокострой и минеральными примесями [6]. Несмотря на наличие конструкций, использующих эксцентрики в системах очистки, вопросы обоснования их параметров, величины эксцентриситета, амплитуды и направления колебаний, а также влияния геометрии рабочей зоны на интенсивность отделения примесей остаются недостаточно изученными.

Разработка моделей, описывающих взаимодействие сетчатой ленты с эксцентриковым валом и прижимными элементами, представляет собой основу для создания методики рационального проектирования рабочих органов очистительных устройств. Научная гипотеза исследования заключается в предположении, что последовательное чередование локальных зон эксцентрикового воздействия

вдоль транспортирующей поверхности может вызвать внутреннее перемещение слоя льнокостры и тем самым повысить интенсивность отделения минеральных примесей без увеличения потерь полезного материала.

Исследованиями сепарации трудноразделимых, малосыпучих смесей занимались многие отечественные и зарубежные ученые. Основоположниками данного исследования являются работы В. П. Горячкина [7], М. Н. Летошнева [8]. В работах Гапонюк О. И. утверждается, что для очистки трудноразделимых смесей наиболее рациональным является использование вибропневматического способа сепарирования [9]. А. С. Погореловой получены математические модели сепарирования трудно разделяемых сыпучих смесей с учетом силы воздушного потока [10]. С. А. Маркарян исследовал влияние вибрации транспортной ленты на сепарацию по плотности подаваемого материала, им сделано заключение о том, что применение вибрации транспортной ленты для сепарации по плотности является эффективным и гибким методом разделения материалов [11]. Группа авторов [12] исследовали возможность различия льняного волокна и льняной костры по биохимическим и морфологическим характеристикам. Для достоверного определения содержания костры необходимо комбинировать различные методы. Биохимический анализ содержания лигнина в сочетании с инфракрасными спектрами и множественной линейной регрессией в сочетании с данными о лигнине и диаметре частиц, дает стабильные результаты. Вместе с тем реализация предложенных методов в промышленных объемах требуют специального оборудования и определенного уровня знаний.

Целью настоящей работы является теоретическое обоснование параметров рабочей зоны эксцентрика в устройстве для очистки вороха льнокостры путем анализа кинематических и конструктивных характеристик механизма и определения их связи с амплитудой колебаний и геометрией транспортирующей поверхности.

#### **Основная часть**

Приняв за основу предложенную схему устройства очистки вороха льнокостры [13], произведем теоретические исследования рабочего процесса.

Из приемного бункера 1 (рис. 1) ворох льнокостры подается на колеблющуюся за счет эксцентрикового вала 2 сетчатую ленту транспортера 3. При расположении осей вращающихся прутков 4 и эксцентрикового вала 2 в одной плоскости, из-за разницы их диаметров образуется наклон сетчатой ленты транспортера 3 под углом  $\alpha_n$  к горизонту.

В предложенной схеме устройства для выделения механических примесей можно выделить условные зоны (рис. 1.), ширина которых определяется технологической шириной транспортера, а длина соответствующими участками:

- зона загрузки – длина участка находится между горизонтальной проекцией оси приводного барабана 5 и оси ближайшего к ней вращающегося прутка;
- рабочая зона – длина участка, ограниченная осями крайних (по обе стороны) вращающихся прутков;
- зона выгрузки – длина участка транспортера, следующая за рабочей зоной, включающая элемент участка сетчатой ленты и натяжной барабан 6.

Рабочая зона, состоит из  $n$ -го количества «рабочих зон эксцентрика». В свою очередь, рабочая зона эксцентрика – это зона действия эксцентрикового вала, ограниченная вращающимися прутками по его обе стороны и включает в себя предэксцентриковую зону «А» и постэксцентриковую зону «В». Зона «А» расположена перед эксцентриковым валом, а зона «В» – за ним.

Зона загрузки должна удовлетворять требованию достаточной и равномерной подачи вороха льнокостры на транспортер. Рабочая зона должна обеспечивать эффективное выделение механических примесей из вороха льнокостры при минимальных ее потерях, при этом не нарушая технологический процесс и иметь минимальные габаритные размеры. Зона выгрузки выполняет функцию отвода и выгрузки очищенного материала.

Последовательное чередование зон «А» и «В» приводит к внутреннему движению слоя льнокостры на сетчатой ленте транспортера 3, что способствует лучшему выделению минеральных примесей.

При вхождении вороха льнокостры в рабочую зону устройства, за счет «противоудара» эксцентрикового вала, происходит выделение механических примесей из вороха льнокостры, которые просыпаются через отверстия сетчатой ленты транспортера 3 на скатную доску. При этом изменение амплитуды колебаний за счет воздействия эксцентрикового вала на сетчатую ленту транспортера 3 обеспечивает широкий диапазон ее колебаний. Это способствует выделению из слоя льнокостры раз-

личных по физико-механическим свойствам примесей. Очищенный ворох льнокостры, сходящий с сетчатой ленты транспортера 3 готов к дальнейшему использованию.

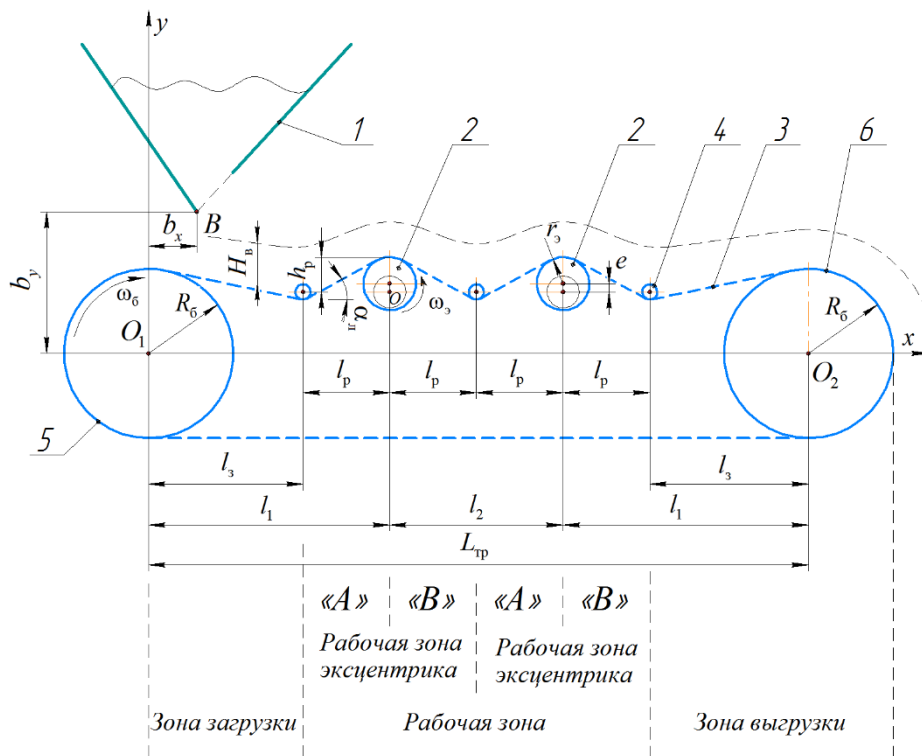


Рис. 1. Схема установки

Характер воздействия рабочей поверхности сетчатого транспортера на ворох льнокостры по ходу движения материала в рабочей зоне различен и определяется кинематикой движения сетчатой ленты. Поскольку рабочая зона состоит из  $n$ -го количества рабочих зон эксцентрика, то рассмотрим один условный элемент данной зоны. Для этого привяжем этот элемент рабочей зоны транспортера к системе координат  $xOy$ . Начало координат системы поместим в точку  $O$ , которая является точкой основания эксцентрикового вала, через которую проходит ось его вращения (рис. 2).

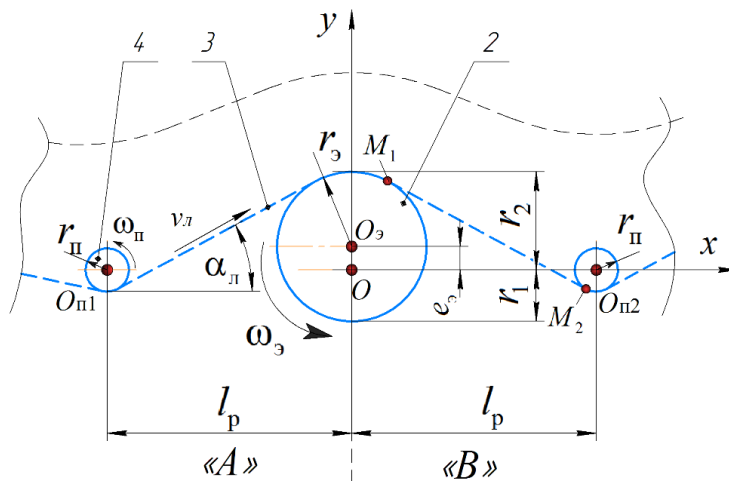


Рис. 2. Схема рабочей зоны эксцентрика

На схеме (рис. 2) прижимные прутки 4 и эксцентриковый вал 2 будем представлять в виде цилиндров с радиусами  $r_{п}$  и  $r_3$  соответственно. Пусть ось вращения эксцентрикового вала и прижимных прутков перпендикулярны плоскости  $xOy$ , а их основания – точки  $O$ ,  $O_{п1}$  и  $O_{п2}$  расположены на оси  $Ox$  так, что точка  $O$  помещена в центре системы координат  $xOy$ , а две другие –  $O_{п1}$  и  $O_{п2}$  равноудалены от  $O$  на величину  $l_p$ . Для организации колебательного воздействия эксцентрикового вала на ленту сместим ось его симметрии вверх по оси  $Oy$  на величину  $e_3$ .

Представим (рис. 1), что сетчатая лента за счет вращения приводного барабана 5 с угловой скоростью  $\omega_6$  и ее натяжения, обеспечиваемого взаимодействием прижимных прутков 4 с эксцентриковыми валами 2, движется по направлению оси  $Ox$  с линейной скоростью  $v_n$ . При этом лента в движении огибает прижимные прутки в нижней их части, а эксцентриковые валы – в верхней их части. Вращение эксцентрикового вала с угловой скоростью  $\omega_n$  осуществляется за счет индивидуального привода в противоход движению ленты. Вращение прижимных прутков происходит за счет взаимодействия с лентой по направлению ее движения.

Поставим перед собой задачу – разработать методику расчета и обоснования предложенного технического решения и его элементов. Эффективность работы предложенного устройства будет определяться соотношением конструктивных параметров: длины участка  $l_p$  (м); угла подъема сетчатой ленты в зоне «А»  $\alpha_n$  (рад); радиуса эксцентрикового вала  $r_3$  (м); величины его эксцентриситета  $e_3$  (м).

Рассмотрим эти параметры во взаимодействии друг с другом.

Минимальную  $r_1$  и максимальную  $r_2$  амплитуды воздействия эксцентрикового вала на сетчатую ленту можно представить следующим образом:

$$r_1 = r_3 - e_3, \quad (1)$$

$$r_2 = r_3 + e_3. \quad (2)$$

Уравнение оснований цилиндрического эксцентрика с учетом его вертикального смещения может быть представлено следующим образом:

$$x^2 + (y - e_3)^2 = r_3^2. \quad (3)$$

Уравнения левого и правого прижимных прутков можно записать соответственно:

$$(x - l_p)^2 + y^2 = r_n^2; \quad (4)$$

$$(x + l_p)^2 + y^2 = r_n^2. \quad (5)$$

Условие взаимодействия сетчатой ленты с эксцентриковым валом и прижимным прутком опишем согласно теории нахождения общей касательной для двух окружностей, заданных в плоскости. В данных условиях можно составить 4 уравнения касательных, отличающихся тем, с какой стороны они касаются окружностей. Их уравнения можно представить в виде:

$$ax_1 + by_1 + c = \pm r_3; \quad (6)$$

$$ax_2 + by_2 + c = \pm r_n, \quad (7)$$

где  $(x_1; y_1)$  и  $(x_2; y_2)$  – координаты центров рассматриваемых окружностей;  $\pm$  – характеризует вид касательных (внешние или внутренние).

Неизвестные параметры  $a, b, c$ , входящие в уравнение касательной можно определить из системы уравнений:

$$\begin{cases} ax_1 + by_1 + c = \pm r_3, \\ ax_2 + by_2 + c = \pm r_n, \\ a^2 + b^2 = 1. \end{cases} \quad (8)$$

Для интересующего нас случая решение данной системы будет иметь вид:

$$a = -\frac{D}{l_p}; \quad b = -\frac{\Delta}{l_p}; \quad c = \delta, \quad (9)$$

где  $\delta$  – амплитуда воздействия эксцентрикового вала на ленту, м;

$$D = \delta + r_n;$$

$$\Delta = \sqrt{l_p^2 - D^2}.$$

Уравнение искомой касательной примет вид:

$$y = -\frac{a}{b}x - \frac{c}{b}, \quad (10)$$

образуя угол  $\alpha_n$  с положительным направлением оси  $Ox$ :

$$\alpha_n = \pi - \operatorname{arctg}\left(\frac{a}{b}\right). \quad (11)$$

Координаты точек касания  $M_1(x_3; y_3)$  и  $M_2(x_n; y_n)$  сетчатой ленты во взаимодействии с эксцентриковым валом и прижимным прутком определяются по соответствующим формулам:

$$x_3 = -a \cdot \delta; y_3 = -b \cdot \delta; x_n = l_p + a \cdot r_n; y_n = b \cdot r_n. \quad (12)$$

Для определенности положим, что взаимодействие сетчатой ленты происходит справа от эксцентрикового вала при минимальной амплитуде колебаний. Тогда моделирование такой ситуации рассмотрено в специализированном пакете MathCad на рис. 3.

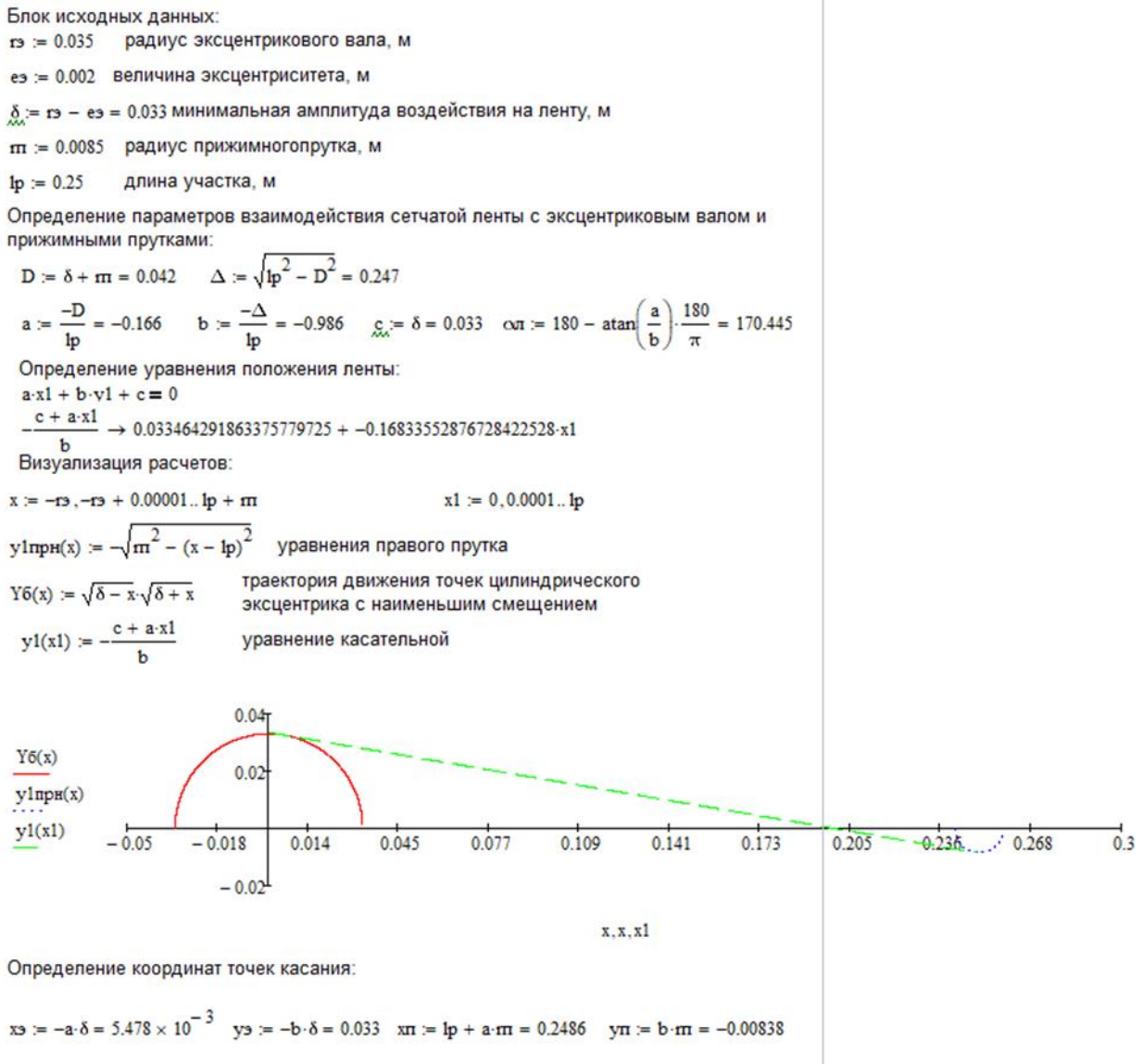


Рис. 3. Моделирование взаимодействия сетчатой ленты с эксцентриковым валом и вращающимся прутком

Анализ графического отображения (рис. 3) свидетельствуют о правильности определения аналитических зависимостей взаимодействия сетчатой ленты с эксцентриковым валом и вращающимся прутком.

## Заключение

Последовательное чередование зон «А» и «В» создает внутреннее перемещение слоя вороха льнокостры и способствует более интенсивному выделению минеральных примесей. Изменение амплитуды колебаний и угла наклона сетчатой ленты в зависимости от конструктивных и кинематических параметров определяет эффективность процесса очистки и позволяет минимизировать потери полезного продукта.

Получены зависимости траектории движения точек цилиндрического эксцентрикового вала и вращающегося прутка, уравнение положения сетчатой ленты транспортера в виде касательной к эксцентриковому валу и вращающемуся прутку. Данные зависимости могут быть использованы для инженерного расчета и оптимизации рабочих органов устройств очистки льнокостры предлагаемой конструкции, что уменьшает трудоемкость конструкторского проектирования и позволяет на этапе компьютерного моделирования определять рациональные параметры механизма. Аналитические зависимости, рассмотренные в представленных материалах, войдут в основу методики обоснования параметров взаимодействия сетчатой ленты транспортера с ворохом льнокостры.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Шаршунов, В. А. Состояние льноводческой отрасли Республики Беларусь и пути повышения ее эффективности / В. А. Шаршунов, А. С. Алексеенко, М. В. Цайц // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2019. – № 2. – С. 267–271.
2. Основы расчета рабочих органов машин и оборудования для производства семян льна / В. А. Шаршунов, В. Е. Круглень, А. Н. Кудрявцев [и др.]. – Горки: Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 2016. – 156 с.
3. Шаршунов, В. А. Определение засоренности льнокостры минеральными примесями и способы их выделения / В. А. Шаршунов, В. Е. Круглень, Н. С. Сентюров // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2013. – № 2. – С. 120–124.
4. Шаршунов, В. А. Определение размерных характеристик компонентов вороха льнокостры / В. А. Шаршунов, Н. С. Сентюров, М. В. Цайц // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2020. – № 3. – С. 169–175.
5. Rentsen B. Characterization of flax shives and factors affecting the quality of fuel pellets from flax shives. – 2010.
6. Гапонюк, О. И. Классификация основных способов сепарирования трудноразделимых смесей / О. И. Гапонюк, Г. А. Мосиенко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – Т. 6, № 10(60). – С. 55–57.
7. Горячкин, В. П. Собрание сочинений: в 3 т. / В. П. Горячкин. – М.: Колос, 1965. – Т. 3. – 384 с.
8. Летошнев, М. Н. Сельскохозяйственные машины. Теория, расчет, проектирование и испытание / М. Н. Летошнев. – Изд. 3-е, перераб. и доп. – М.: Сельхозиздат, 1955. – 764 с.
9. Пивень, В. В. Повышение производительности сепарирующих линий путем фракционирования исходного материала / В. В. Пивень, О. Л. Уманская, Н. А. Кривчун // Современные наукоемкие технологии. – 2019. – № 1. – С. 109–113.
10. Погорелова, А. С. Разработка математической модели сепарирования трудно разделяемых сыпучих смесей с учетом силы воздушного потока / А. С. Погорелова // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 2–17. – С. 3718–3722.
11. Маркарян, С. А. Применение вибрации транспортной ленты для сепарации по плотности подаваемого материала / С. А. Маркарян // Стандартизация и управление качеством в агропромышленном комплексе: сборник научных статей Всероссийской научно-технической конференции, Курск, 27 октября 2023 года. – Курск: ЗАО «Университетская книга», 2023. – С. 167–169.
12. Morgillo L. et al. A multicriteria approach to quantify contaminant shives in industrial batches of flax fibres // Industrial Crops and Products. – 2024. – Т. 218. – С. 119038.
13. Патент № 2752475 С1 Российская Федерация, МПК В07В 4/08, В07В 9/00, D01В 1/10. Устройство для очистки льнокостры: № 2021100782: заявл. 15.01.2021; опубл. 28.07.2021 / М. В. Симонов, В. А. Шаршунов, Н. С. Сентюров, М. В. Цайц; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Вятский государственный университет».

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ИННОВАЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОГО КОМПЛЕКТА НОЖЕЙ ДЛЯ ПОСЕВА КУКУРУЗЫ С ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ ДОЗИРОВАНИЯ

КОНГ ЦЗЯЛИ, ЛЯН ЭНЬЦЯН, В. С. АСТАХОВ, Г. О. ИВАНЧИКОВ

УО «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции  
и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия»,  
г. Горки, Республика Беларусь, 213407

(Поступила в редакцию 14.01.2026)

В сельскохозяйственной отрасли проблемы низкой всхожести семян, слабой адаптивности оборудования к различным почвам и высокого энергопотребления традиционных сеялок остаются актуальными, влияя на общую эффективность производства. Предложена инновационная система на базе пневматического точного посева, которая комплексно решает эти вызовы, обеспечивая более точный и щадящий процесс посева. Основой системы стала интеграция горизонтального распределителя семян, разработанного специалистами Украинской НААН, с двухкамерной конструкцией, минимизирующей механическое повреждение семян до уровня  $\leq 1,2$  %. Это позволяет сохранять целостность посевного материала, что критично для повышения качества всходов. Дополнительно внедрен трехступенчатый пневмоалгоритм на базе микроконтроллера STM32 и программируемого логического контроллера PLC, который оптимизирует поток воздуха и распределение семян, достигая одиночной всхожести не менее  $\geq 95,2$  %. Такая комбинация технологий обеспечивает равномерный посев даже в сложных условиях, снижая потери и повышая урожайность.

Полевые испытания, проведенные на различных типах почв, подтвердили эффективность системы. В частности, на глинистых почвах засорение борозд уменьшилось до 2,8 %, что предотвращает конкуренцию сорняков и улучшает развитие растений. На песчаных почвах вариация междурядий снизилась на 66 %, обеспечивая стабильную геометрию посева и равномерное распределение ресурсов. Производительность системы достигает 30 му в день, что позволяет охватывать значительные площади за короткий период. При этом расход топлива сократился до 0,78 л/му, с экономией в 35 % по сравнению с традиционными аналогами, что делает эксплуатацию более энергоэффективной и экологичной.

Технико-экономический анализ демонстрирует значительные преимущества: общие затраты на посев снижаются на 40–50 %, а срок окупаемости инвестиций составляет всего 2,5 года, делая систему привлекательной для фермеров различных масштабов. В настоящее время поданы заявки на патенты, защищающие ключевые инновации, и формируется комплексная экосистема «технологии–оборудование–сервис», включающая не только производство, но и поддержку внедрения и обслуживания. Это позволит достичь 80 % доли рынка к 2027 году, стимулируя широкое распространение технологии. В итоге результаты способствуют укреплению продовольственной безопасности за счет повышения урожайности и устойчивости производства, а также экологизации сельского хозяйства через снижение энергозатрат и минимизацию воздействия на окружающую среду.

**Ключевые слова:** пневматический точный посев, горизонтальный распределитель, коэффициент одиночной всхожести, срок окупаемости, доля рынка.

In the agricultural industry, problems with low seed germination, poor equipment adaptability to various soils, and high energy consumption of traditional seeders remain pressing, impacting overall production efficiency. An innovative system based on pneumatic precision seeding is proposed that comprehensively addresses these challenges, ensuring a more accurate and gentle seeding process. The system is based on the integration of a horizontal seed distributor developed by specialists at the Ukrainian National Academy of Agrarian Sciences (NAAS) with a two-chamber design that minimizes mechanical damage to seeds to  $\leq 1.2$  %. This maintains the integrity of the seed, which is critical for improving seedling quality. Additionally, a three-stage pneumatic algorithm based on an STM32 microcontroller and a programmable logic controller (PLC) has been implemented, optimizing airflow and seed distribution, achieving a single germination rate of at least 95.2 %. This combination of technologies ensures uniform seeding even in challenging conditions, reducing losses and increasing yields.

Field tests conducted on various soil types confirmed the system's effectiveness. In particular, on clay soils, furrow clogging was reduced to 2.8 %, preventing weed competition and improving plant development. On sandy soils, row spacing variation has been reduced by 66 %, ensuring consistent seeding geometry and uniform resource distribution. The system's productivity reaches 30 mu per day, enabling large areas to be covered in a short period. Fuel consumption has also been reduced to 0.78 l/mu, a 35 % savings compared to traditional systems, making operation more energy-efficient and environmentally friendly.

A feasibility study demonstrates significant advantages: total seeding costs are reduced by 40–50 %, and the payback period is only 2.5 years, making the system attractive to farmers of all sizes. Patents protecting key innovations have been filed, and a comprehensive technology-equipment-service ecosystem is being developed, encompassing not only manufacturing but also implementation and maintenance support. This will enable the system to achieve an 80 % market share by 2027, stimulating widespread adoption of the technology. Ultimately, the results contribute to improved food security through increased yields and sustainable production, as well as greening agriculture through reduced energy costs and minimized environmental impact.

**Key words:** pneumatic precision seeding, horizontal distributor, single emergence rate, payback period, market share.

### Введение

Кукуруза является одной из важнейших зерновых культур в мире и занимает стратегическое положение в обеспечении продовольственной безопасности. В Китае производство кукурузы в 2023 году достигло около 285 млн тонн, что составляет 39,4 % от общего объема производства зерна в стране.

Однако традиционные методы посева характеризуются рядом существенных недостатков: ручной посев приводит к неравномерному распределению семян в рядах, повреждению семян более 2,5 %, а эффективность использования света снижается до уровня менее 60 %. Эти факторы непосредственно ограничивают потенциал урожайности и экономическую эффективность производства.

В условиях растущего дефицита сельскохозяйственной рабочей силы и повышенных требований к экологизации сельского хозяйства переход к механизированному точному посеву становится неизбежной тенденцией развития отрасли. Современные технологии прецизионного высева способны обеспечить точность междурядий  $\pm 5$  мм и равномерную глубину заделки семян, что повышает урожайность монокультуры на 18,3 % – до 8,5 т/га. Однако существующие отечественные сеялки сталкиваются с тремя критическими проблемами: низким коэффициентом одиночной всхожести (около 88 %), недостаточной адаптивностью к сложным почвенным условиям (засорение на участках с высоким содержанием соломы достигает 20 %), а также высоким энергопотреблением, превышающим зарубежные аналоги на 25–30 %.

Импортное высококлассное оборудование, такое как Monosem XE, хотя и демонстрирует коэффициент одиночной всхожести на уровне 94 %, имеет стоимость 800 000–1 000 000 юаней, что делает его недоступным для большинства мелких и средних фермерских хозяйств. Таким образом, разработка экономически эффективной и технологически совершенной системы точного посева кукурузы становится актуальной научно-практической задачей.

В настоящем исследовании предлагается инновационное решение на основе пневматической системы точного высева с горизонтальным распределителем, интегрирующее достижения аэродинамики, интеллектуального управления и адаптивного проектирования.

Целью работы является создание усовершенствованного комплекта сеялок, обеспечивающего коэффициент одиночной всхожести  $\geq 95,2$  %, снижение повреждения семян до уровня  $\leq 1,2$  % и сокращение энергопотребления на 35 % по сравнению с традиционными моделями. Результаты комплексной верификации – от CFD-моделирования до полевых испытаний в трех основных регионах производства кукурузы – подтверждают техническую осуществимость и экономическую целесообразность предложенного решения, открывая перспективы для масштабного промышленного внедрения и формирования интегрированной экосистемы «технологии – оборудование – сервис».

#### **Основная часть**

#### ***Исследовательский фон: решение критической проблемы «узкого места» в посеве кукурузы***

#### **Двойная острая необходимость обеспечения продовольственной безопасности и повышения эффективности**

Кукуруза – самая урожайная зерновая культура Китая. В 2023 г. Было собрано около 285 млн тонн зерна (39,4 % от общего объема зерна в стране). Ручной сев приводит к неравномерности рядов и повреждению  $>2,5$  % семян, что снижает эффективность использования света до  $<60$  %. При точном посеве достигается точность междурядий  $\pm 5$  мм и равномерная глубина заделки семян, что повышает урожайность культуры на 18,3 % – до 8,5 т га в Гунчжулине, провинция Цзилинь [1].

С точки зрения производственной эффективности современные прецизионные сеялки способны объединять глубокое рыхление, внесение удобрений и точный посев в одном агрегате, обеспечивая обработку 100–150 му в день, что в 5–8 раз превышает производительность ручного посева и эффективно решает проблему дефицита сельскохозяйственной рабочей силы в некоторых сельских районах. Практика показывает, что благодаря механической системе точного высева можно сэкономить 45 юаней на му, повысить коэффициент использования удобрений до 48 %, что не только снижает затраты и увеличивает прибыль, но и повышает урожайность.

#### **Многомерные вызовы существующих технологических ограничений**

В настоящее время сеялочные машины для кукурузы сталкиваются с тремя основными техническими ограничениями:

**Ограничения по урожайности и высокая стоимость.** По сравнению с традиционной механической системой высева (с использованием колес с гнёздами), где одиночная всхожесть отечественных моделей машин составляет всего 88 %, уровень повреждения семян высок; при этом импортные высококлассные модели (например, Monosem XE) достигают одиночной всхожести 94 %, но имеют относительно высокую цену (около 800 000–1 000 000 юаней), что недоступно для мелких и средних фермерских хозяйств [2].

**Недостаточная адаптивность к сложным условиям.** При использовании традиционных борозделов на участках с внесением соломы  $\geq 500$  кг/му и влажностью более 22 % часто возникают засоры

ры в бункере, что приводит к снижению коэффициента качественного высева ниже 75 %. Кроме того, на песчаных почвах коэффициент скольжения семян достигает 18 %, что вызывает коэффициент вариации междурядий более 15 %.

**Несбалансированность интеллектуальных систем и энергоэффективности.** В настоящее время у отечественных основных моделей недостаточно развит функционал динамической регулировки давления, энергопотребление на 25–30 % выше, чем у зарубежных аналогов, при этом преимущественно используется одиночная техника, что не позволяет реализовать координированную работу нескольких машин и дополнительно снижает эффективность масштабных операций.

#### **Теоретические и практические пути технологических инноваций**

В ответ на вышеуказанные проблемы мы предлагаем решение «аэродинамический привод + интеллектуальное групповое управление».

**Теоретический прорыв:** внедрение технологии горизонтального распределителя Украинской национальной академии аграрных наук с использованием бесконтактной системы высева (рис. 1) [3], которая посредством эффекта Бернулли создает поле адсорбционной силы, заменяющее физический контакт в механической системе высева и устраняющее повреждения, вызванные механическим контактом.

**Инновации системы:** разработка трехэтапного интеллектуального алгоритма управления «всасывание семян – перенос семян – высеивание семян», в сочетании с архитектурой двойного контроллера STM32+PLC, обеспечивающая динамическую регулировку давления при координированной работе нескольких машин, что позволяет преодолеть ограничения по скорости и точности традиционных моделей.

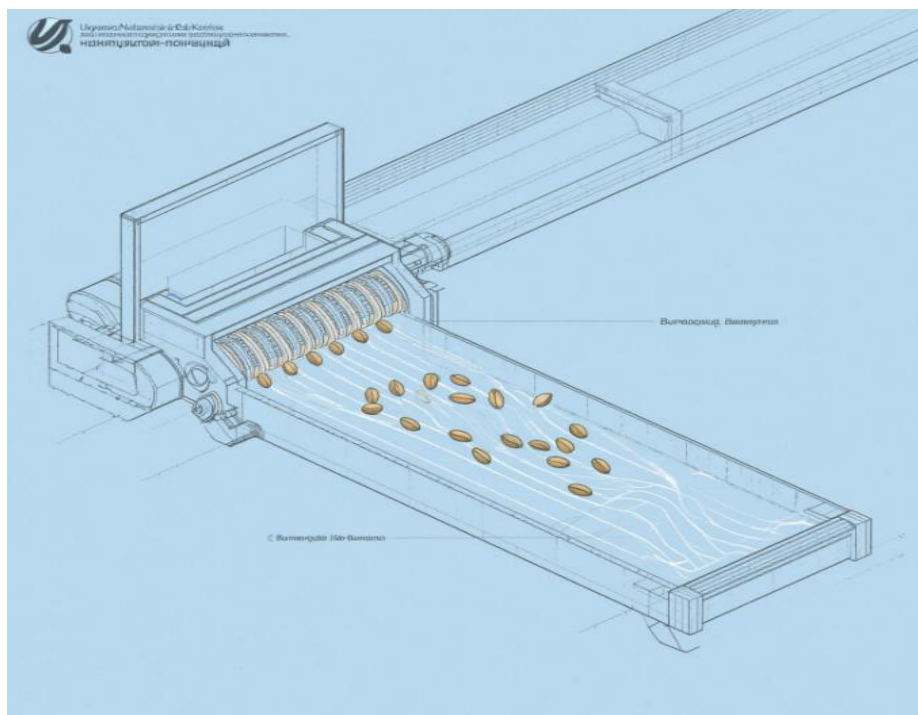


Рис. Схема бесконтактной системы высева с использованием горизонтального распределителя

**Ключевые технологии: от оптимизации аэродинамики до интеграции интеллектуальных систем**

**Конструктивные инновации горизонтального распределителя и оптимизация потока**

**Механизм бесконтактного высева:** в отличие от вертикального дискового механического заряжания, конструкция горизонтального распределителя с «двухкамерной камерой + направляющей пластиной» снижает сопротивление потоку на 18 %, уменьшает скорость столкновения семян с 2,8 м/с до 1,9 м/с, уровень повреждения семян контролируется ниже 1,2 %, что значительно лучше по сравнению с обычными моделями (уровень повреждения семян выше 2,5 %).

**CFD-моделирование и оптимизация параметров:** На базе Fluent была создана модель двухфазного газожидкостного потока. Путём ортогонального экспериментального анализа угла наклона направляющей пластины и расстояния между лопастями определено влияние этих параметров на однородность потока и потери давления. Результаты показали: выбор расстояния между лопастями в 20 мм в сочетании с эллиптическим каналом позволяет повысить однородность потока на 28 % и сни-

зять потери давления на 18 %, что может служить основой для конструктивного проектирования газификатора.

#### **Разработка интеллектуальной системы группового дозирования**

**Иновации в аппаратной архитектуре.** Используется структура с двумя контроллерами STM32+PLC, интегрирующая датчик давления (точность  $\pm 0,5$  % FS), энкодер скорости вращения (разрешение 1024P/R) и модуль позиционирования Weidou. Обеспечивается синхронный контроль давления с ошибкой  $\leq 2$  при работе в режиме двух или нескольких машин, а также адаптивная регулировка глубины посева с временем отклика менее 100 мс.

#### **Алгоритм трёхступенчатой пневматической регулировки**

Стадия всасывания семян (0–50 мс): высоконапорный воздушный поток 0,8 МПа формирует сильное поле адгезионных сил, обеспечивая коэффициент успешного всасывания семян  $\geq 98$  %;

Период транспортировки семян (50–200 мс) поддерживает скорость работы (разрешение 0,1 км/ч), динамически регулируя давление ( $\Delta P = \pm 0,05$  МПа) в зависимости от скорости работы, что обеспечивает коэффициент вариации стабильности транспортировки семян  $\leq 5,2$  % [4].

Процесс высева (200–300 мс): семена точно распределяются низким воздушным потоком 0,3 МПа, коэффициент однозерновой всхожести  $\geq 95$  %, энергопотребление  $\leq 0,8$  л/га, что на 33 % ниже по сравнению с традиционными машинами.

#### **Проектирование адаптивности к сложным рабочим условиям**

**Оптимизация конструкции бороздодела:** Для участков с возвратом соломы разработан ротационный бороздодел (диаметр 300 мм, скорость вращения вала 200 об/мин), поверхность которого подверглась закалке (твердость HRC45–50), что повысило способность к разрушению почвы на 20 % и снизило уровень засорения соломой с 20 % у предыдущей модели до менее 3 % [5].

**Совместимость с различными сортами:** Использование съемного направляющего модуля с размером зерен кукурузы 3–8 мм (время замены  $< 15$  мин), изменение коэффициента однозерновой всхожести менее 1 %, широкая адаптивность, эффективно решающая проблему частой замены в традиционных моделях.

**Верификация испытаний:** замкнутая проверка от лабораторного моделирования до полевых измерений

#### **Аэродинамическое моделирование и стендовые испытания**

**Верификация однородности потока:** CFD-моделирование показало, что по сравнению с традиционным круглым каналом стандартное отклонение распределения давления в оптимизированном горизонтальном распределителе снизилось на 35 %, а площадь зоны вихрей уменьшилась на 40 %, что способствует стабильной подаче семян.

**Тестирование производительности высева.** При лабораторном моделировании скорости работы 6–10 км/ч улучшенная система достигла коэффициента однозерновой всхожести 96,7 %, уровня пускот 4,2 % и уровня повреждения семян 1,1 %, что превосходит импортную модель Monosem XE (коэффициент однозерновой всхожести 94 %, уровень повреждения семян 1,5 %).

#### **Полевая сравнительная экспертиза и интерпретация данных**

Мы провели многорежимные испытания в трех основных регионах производства: Хуанхуа-хай (Чжоукоу, Хэнань), Северо-Восток (Гунчжулинь, Цзилинь) и Северо-Запад (Тунляо, Внутренняя Монголия), используя в качестве контрольных образцов отечественные модели техники 2VMF-6 и импортные Monosem XE:

#### **Адаптивность к почве**

Глинистая почва (влажность 22%): коэффициент однозерновой всхожести 95,2 %, что на 7 % выше по сравнению с отечественными моделями техники, уровень засорения снизился с 15 % до 2,8 %;

Песчаная почва (коэффициент трения  $< 0,3$ ): коэффициент вариации междурядья снизился с 18 % до 6,1 %, что составляет снижение на 66 %, значительно улучшена равномерность всходов.

**Эффективность и энергопотребление.** Количество обрабатываемых участков за один день может достигать 30 му (8 км/ч), расход топлива составляет 0,78 л/му, что на 35 % меньше по сравнению с отечественными моделями техники, у которых расход составляет 1,2 л/му; при обработке 10 000 му в год экономия топлива достигает 4000 л, что сокращает затраты примерно на 32 000 юаней в год.

**Сравнение экономичности.** Усовершенствованная модель снижает производственные затраты на 40–50 % по сравнению с импортными моделями; Период технического обслуживания увеличен с 50 до 200 часов, затраты на обслуживание снижены на 60 %, а срок окупаемости данной производственной линии составляет всего 2,5 года, что обеспечивает высокую рентабельность.

## **Оценка социального эффекта**

По результатам экспериментальной демонстрации и внедрения в Чжоукоу, провинция Хэнань, использование усовершенствованного комплекта сеялок для кукурузы привело к увеличению количества початков на му на 800–1000штук, количеству зерен в початке – на 12–15штук, урожайность с му повысилась на 20–30кг, при этом удалось сократить использование минеральных удобрений на 10–15 %. Это способствует не только обеспечению безопасности и качества продовольственного производства, но и эффективному снижению производственных затрат, отвечая требованиям развития зеленого сельского хозяйства в условиях политики «двойного углеродного» регулирования.

**Перспективы отрасли: формирование интегрированной экосистемы «технологии – оборудование – сервис»**

## **Стандартизация технологий и патентное планирование**

В настоящее время команда подала заявки на 12 соответствующих патентов, из которых 5 – изобретательские, охватывающие ключевые технологии, такие как конструкция горизонтального распределителя и алгоритмы интеллектуального управления. В будущем планируется участие в разработке «Технических стандартов пневматических систем точного посева кукурузы», способствующих стандартизации отечественных технологий.

## **Пути масштабного применения**

**Региональные демонстрации.** К 2025 году создано 10 демонстрационных баз площадью по 1000 му в трёх основных регионах производства кукурузы с ежегодным увеличением охвата технологий на 5–8 %.

**Индустриализация оборудования.** Сотрудничество с предприятиями Shandong Wuzheng, Lovol Arbos и другими для запуска производственной линии мощностью 5000 комплектов в год с прогнозируемым ростом доли рынка с 65 % до 80 % к 2027 году.

**Инновации в системе обслуживания:** разработка платформы удалённого технического обслуживания, обеспечивающей мониторинг состояния оборудования в режиме реального времени через Интернет вещей и предоставляющей полный цикл услуг «диагностика неисправностей – оптимизация параметров – замена расходных материалов», что снижает порог использования для пользователей.

## **Направления будущих исследований**

**Интеллектуальное обновление:** интеграция системы автоматического вождения с навигацией Weidou для реализации полностью автономного процесса «вспашка – посев – уход».

**Многоурожайная адаптация:** разработка универсальных сеялочных модулей для сои, сорго и других зерновых культур с целью расширения областей применения технологии.

**Экологичное производство:** исследование применения 3D-печати для изготовления облегчённых компонентов и использование возобновляемых материалов (например, биокompозитов) для дальнейшего снижения энергопотребления и выбросов углерода.

## **Заключение**

От теоретических прорывов до полевых испытаний, от технологических инноваций до промышленного внедрения – разработка усовершенствованного комплекта ножей для посева кукурузы с пневматической системой дозирования представляет собой значимый практический шаг в решении критических проблем посева кукурузы в Китае. Благодаря постоянному сотрудничеству в области науки, производства и исследований эта технология внесет значительный вклад в обеспечение национальной продовольственной безопасности и продвижение модернизации сельского хозяйства.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Моделирование зон адаптации основных зерновых культур в черноземном регионе и оптимизация структуры посевов / Кан Лун, У Кэнин, Фэн Чжэ [и др.] // Науки о ресурсах. – 1-18 [2025-08-22].
2. Достижения и перспективы исследований точных высевочных аппаратов для кукурузы / Ли Бяо, Ши Сяоцзе, Лунь Чжунминь [и др.] // Сельскохозяйственное оборудование и автомобильная техника. – 2025/ – 63(07):18–22.
3. Тан Яохуа Система привода высевочного аппарата на основе бесконтактного измерения скорости / Тан Яохуа, Чжан Цзиньго // Исследования по механизации сельского хозяйства. – 2009. – 31(03): 21-23.
4. Ван Липин Проектирование интерпретируемого ПЛК нижнего уровня на базе STM32 / Ван Липин, Чжан Сяоин // Современные производственные технологии и оборудование. – 2023. – 59(03):193-195+199.
5. Чжан Шилинь. Исследование механизма взаимодействия композитной системы «кукурузная солома-корень-почва» при нулевой и минимальной обработке с устройством для предотвращения забивания при удалении стерни / Чжан Шилинь. – Северо-Западный университет сельского и лесного хозяйства, 2024.

## ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ТРАВМАТИЗМ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ: АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ, ДИНАМИКИ И СТРАТЕГИЯ СНИЖЕНИЯ

М. В. ЦАЙЦ, И. И. СЕРГЕЕВА, Е. Л. ИОНАС, М. П. АКУЛИЧ

УО «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции  
и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия»,  
г. Горки, Республика Беларусь, 213407, e-mail: baa\_bgd@mail.ru

(Поступила в редакцию 20.01.2026)

Статья представляет собой комплексный анализ состояния производственного травматизма в аграрном секторе Республики Беларусь. Несмотря на общую позитивную динамику в стране (снижение числа пострадавших на 12,6 %, а погибших на 27,1 % за 2018–2024 гг.), сельское хозяйство остается отраслью с критически высоким уровнем риска. На его долю стабильно приходится около 23 % всех несчастных случаев, при этом удельный вес смертельных исходов вырос с 18,1 % до 23,8 %. Общий коэффициент частоты травматизма в отрасли системно в 2,8–3,6 раза превышает средний по стране, фиксируясь на уровне около 150.

На основе данных официальной статистики выявлены ключевые проблемные зоны: наиболее травмоопасные профессии (водители, трактористы, животноводы, слесари), ведущая роль человеческого фактора (нарушения трудовой дисциплины и личная неосторожность составляют более 50 % причин) и типичные нарушения, такие как работа с неогражденными механизмами, неправильное проведение ремонтных работ и недостатки в обеспечении СИЗ. Особое внимание уделяется новым данным: травмам от крупного рогатого скота и значительной доле алкогольного опьянения в смертельных исходах.

Целью работы является разработка стратегии снижения травматизма на основе выявленных структурных причин. Делается вывод о недостаточности точечных мер и необходимости комплексной модернизации системы охраны труда в АПК. Предлагается стратегия, сочетающая усиление поведенческой культуры безопасности, повышение ответственности руководителей за организацию рабочих мест и глубокий анализ коренных управленческих причин инцидентов для достижения кардинального улучшения ситуации.

**Ключевые слова:** производственный травматизм, охрана труда, сельское хозяйство, безопасность труда, профессиональные риски, несчастные случаи на производстве, смертельный травматизм.

*This article presents a comprehensive analysis of the state of occupational injuries in the agricultural sector of the Republic of Belarus. Despite the overall positive trend in the country (a 12.6 % decrease in the number of injured and a 27.1 % decrease in fatalities from 2018 to 2024), agriculture remains a critically high-risk sector. It consistently accounts for approximately 23 % of all accidents, while the proportion of fatalities has increased from 18.1 % to 23.8 %. The overall injury frequency rate in the industry is consistently 2.8–3.6 times higher than the national average, hovering around 150.*

*Based on official statistics, key problem areas have been identified: the most hazardous occupations (drivers, tractor drivers, livestock breeders, mechanics), the leading role of human error (violations of labor discipline and personal carelessness account for over 50 % of the causes), and typical violations such as working with unguarded machinery, improper repairs, and deficiencies in PPE. Particular attention is given to new data: injuries from cattle and the significant share of alcohol intoxication in fatalities.*

*The goal of the study is to develop an injury reduction strategy based on the identified structural causes. It is concluded that targeted measures are insufficient and a comprehensive modernization of the occupational safety system in the agro-industrial complex is necessary. A strategy is proposed that combines strengthening a behavioral safety culture, increasing managerial responsibility for workplace organization, and an in-depth analysis of the root causes of incidents to achieve dramatic improvements.*

**Key words:** industrial injuries, labor protection, agriculture, occupational safety, professional risks, industrial accidents, fatal injuries.

### Введение

Кроме права граждан на труд, Конституция Республики Беларусь гарантирует право на здоровые и безопасные условия труда. Реализация права на здоровые и безопасные условия труда в Беларуси обеспечивается через комплексную систему законодательства (Конституция, Закон «Об охране труда»), государственное управление, надзор (Департамент госинспекции труда), внедрение систем управления охраной труда (СУОТ, СТБ ISO 45001-2020), а также через обязательства нанимателей и права работников, включая обучение, обеспечение СИЗ, право на отказ от опасной работы и участие в контроле, с целью минимизации травматизма [1, 2].

В Беларуси в 2026 году акцент в охране труда смещается на комплексный план, законодательные обновления и усиление контроля через автоматизацию и мобильные группы, а также профилактику и обучение (месячники безопасности, конференции), что закреплено в годовом плане Минтруда и соцзащиты, а также в отраслевой кампании «Год безопасного труда».

Современные вызовы, стоящие перед аграрным сектором, включают задачу кардинального повышения производительности труда и гарантированного обеспечения продовольственной безопасности. Ключевым фактором достижения данных целей и обеспечения устойчивого развития отрасли выступает охрана здоровья сельскохозяйственных работников, а также системная профилактика общей и профессиональной заболеваемости. Тем не менее значительная доля занятых в сельском хозяйстве, в

том числе операторы мобильных сельскохозяйственных машин, продолжает осуществлять трудовую деятельность во вредных и/или опасных условиях. Данная ситуация является прямой детерминантой высокого уровня производственного травматизма и развития профессиональной патологии среди указанного контингента работников.

Анализом и прогнозированием производственного травматизма в АПК занимались многие исследователи [2, 3, 4]. В своих исследованиях, Левашов С. П. делает акцент на предотвращении травматизма и заболеваемости в сельском хозяйстве за-счет разносторонних знаний по охране труда, умения выявлять и устранять потенциальные опасности и вредности, учитывать влияние меняющихся внешних условий на безопасность труда, умение владеть приемами оказания первой доврачебной помощи и методами тушения пожаров [2]. С. С. Суховым предложены новые модели и алгоритмы управления безопасностью труда операторов сельскохозяйственных самоходных транспортных машин, учитывающие случайный характер процессов, определяющих безопасность труда [3]. Л. А. Статюковой установлено, что в сельском и лесном хозяйстве расходуется в 10 раз меньше денежных средств, чем на транспорте и связи, в 8 раз меньше, чем в обрабатывающих производствах, в 3 раза меньше, чем в производстве и распределении электроэнергии, газа и воды, в среднем в 4 раза меньше, чем в здравоохранении и предоставлении социальных услуг [4].

Цель работы – комплексный анализ данных о производственном травматизме, анализ структуры, динамики и причин производственного травматизма в сельскохозяйственной отрасли для разработки стратегии его снижения [5].

### Основная часть

Сельское хозяйство (растениеводство и животноводство) является одной из самых травмоопасных отраслей. В среднем за год здесь страдает 426 человек. На его долю приходится в среднем 22,2 % (425,7 / 1916) от всех пострадавших по стране, при этом занятость в отрасли значительно ниже этой доли. По погибшим ситуация ещё острее: в среднем 29 смертей в год в сельском хозяйстве, что составляет 22,3 % (28,9 / 130) от общереспубликанского числа. Это подтверждает высокую тяжесть происшествий в отрасли [6, 7].

За период 2018–2024 гг. в целом по стране число пострадавших снизилось на 12,6 %, а число погибших – на 27,1 % (рис. 1). В сельском хозяйстве [6, 7]:

– число пострадавших осталось практически на уровне 2018 года (100,5 %). Это указывает на стагнацию в мерах по снижению общего травматизма в АПК.

– число погибших снизилось незначительно (–3,8 %), что существенно хуже общего тренда по стране.

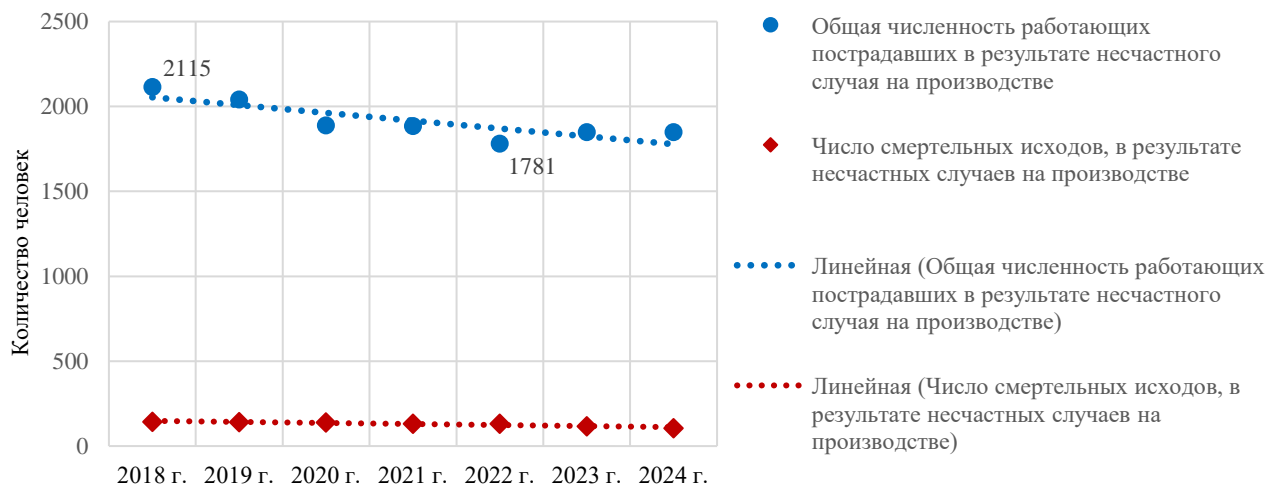


Рис. 1. Численность работающих, пострадавших в результате несчастных случаев

Наиболее проблемные регионы по уровню травматизма в 2024 г., это Могилевская область – худший показатель коэффициента частоты травматизма (КЧТ) в стране (79,5), Брестская (65,8) и Минская (62,9) области – также существенно выше среднего (рис. 2). Это традиционно аграрные регионы, что коррелирует с высокой опасностью сельхозработ.

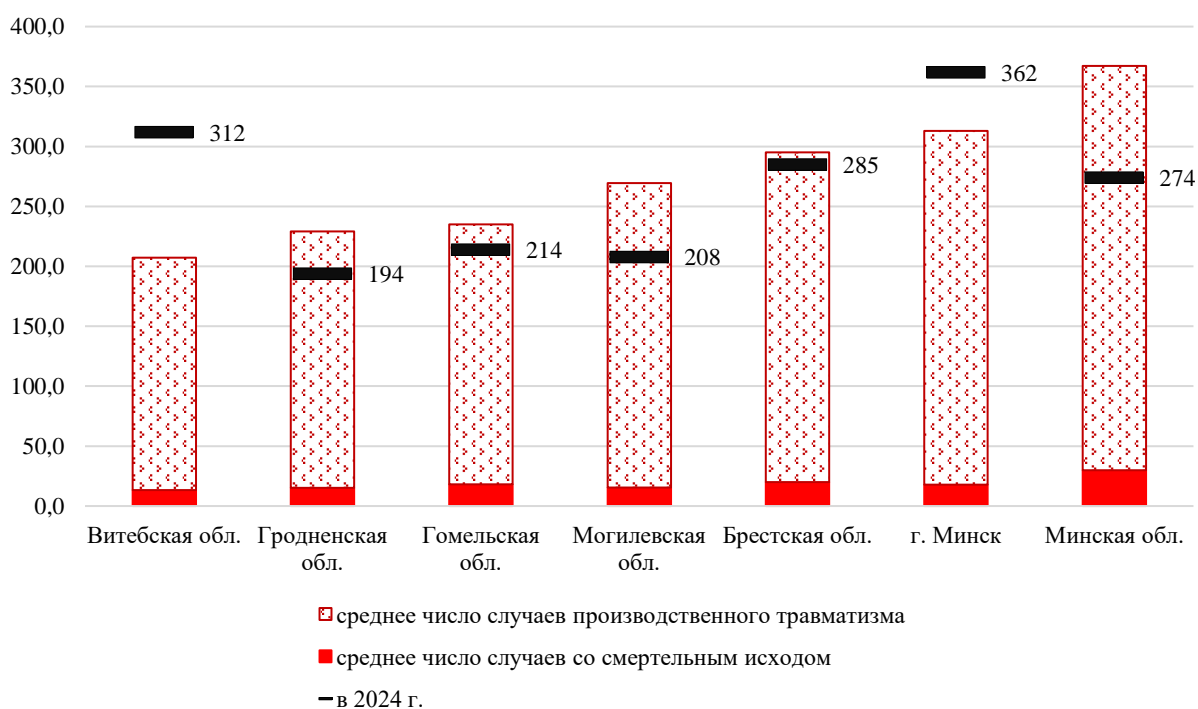


Рис. 2. Средние (за 2018–2024 гг.) значения производственного травматизма в разрезе регионов Республики Беларусь

Согласно официальным данным за 2018–2024 годы, распределение пострадавших на производстве по видам экономической деятельности выглядит следующим образом (табл. 1).

Таблица 1. Количество работающих, пострадавших в результате несчастных случаев на производстве, по видам экономической деятельности (человек) [6, 7]

	Всего / удельный вес от их общего количества, %						
	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.
<b>Республика Беларусь</b>	<b>2115/100,0</b>	<b>2042/100,0</b>	<b>1889/100,0</b>	<b>1886/100,0</b>	<b>1781/100</b>	<b>1850/100</b>	<b>1849/100</b>
растениеводство и животноводство, охота и предоставление услуг в этих областях	428/20,2	443/21,7	462/24,5	365/19,4	423/23,8	429/23,2	430/23,3
	Из них со смертельным исходом / удельный вес от их общего количества, %						
<b>Республика Беларусь</b>	<b>144/100,0</b>	<b>141/100,0</b>	<b>139/100,0</b>	<b>132/100,0</b>	<b>132/100</b>	<b>117/100</b>	<b>105/100</b>
растениеводство и животноводство, охота и предоставление услуг в этих областях	26/18,1	37/26,2	32/23,0	28/21,3	29/22,0	25/21,4	25/23,8

Наблюдается устойчивая тенденция к снижению общего числа пострадавших на производстве по стране: с 2115 человек в 2018 г. до 1849 человек в 2024 г., что составляет снижение на 12,6 %. Ещё более значительным является снижение числа несчастных случаев со смертельным исходом с 144 до 105 случаев, или на 27,1 % за тот же период. Это свидетельствует об определённой эффективности реализуемых в республике мер в сфере охраны труда.

Подотрасль «растениеводство и животноводство, охота и предоставление услуг в этих областях» стабильно формирует значительную долю от общего числа травм. Её удельный вес колеблется в диапазоне 19,4–24,5 %, демонстрируя в последние три года (2022–2024) устойчивый уровень около 23%. Это указывает на то, что примерно каждый четвёртый-пятый несчастный случай в стране происходит в сельском хозяйстве, что выделяет его как одну из наиболее травмоопасных сфер экономики.

Удельный вес смертельных случаев в данной подотрасли от общего числа по республике является не только значительным, но и имеет выраженную тенденцию к росту: с 18,1 % в 2018 г. до 23,8 % в 2024 г. При этом в 2019 г. данный показатель достигал 26,2 %. Это означает, что, несмотря на общее снижение абсолютного числа погибших в сельском хозяйстве, риск смертельного исхода при несчастном случае в этой сфере остаётся существенно более высоким по сравнению со средним уровнем по стране, и его доля в общей печальной статистике увеличивается.

Таблица 2. Уровень производственного травматизма по видам экономической деятельности (на 100 тысяч работников) [6, 7]

	Общий коэффициент частоты производственного травматизма						
	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.
<b>Республика Беларусь</b>	<b>53,7</b>	<b>51,8</b>	<b>49,1</b>	<b>49</b>	<b>47,4</b>	<b>50,3</b>	<b>50,6</b>
сельское, лесное и рыбное хозяйство	169,4	186,65	174,3	132	149,7	149	153,2
	Коэффициент частоты производственного травматизма со смертельным исходом						
<b>Республика Беларусь</b>	<b>3,7</b>	<b>3,6</b>	<b>3,6</b>	<b>3,4</b>	<b>3,5</b>	<b>3,2</b>	<b>2,9</b>
сельское, лесное и рыбное хозяйство	22,95	21,2	13,3	11,6	10,6	9	10

Общий коэффициент частоты травматизма (КЧ) по стране снизился с 53,7 в 2018 г. до 47,4 в 2022 г., демонстрируя положительную динамику. Однако в 2023–2024 гг. наблюдается рост показателя до 50,3 и 50,6 соответственно, что указывает на остановку процесса улучшения и потенциальное ухудшение ситуации. Коэффициент частоты смертельного травматизма (КЧС) в целом по республике имеет устойчивую тенденцию к снижению (с 3,7 до 2,9), что является положительным сигналом.

Значения общего КЧ в данной отрасли в 2,8–3,6 раза превышают средний уровень по стране на протяжении всего периода. Несмотря на значительное снижение от пикового значения 186,65 в 2019 г. до 132 в 2021 г., в последующие три года показатель стабилизировался на высоком уровне (около 149–153), что почти в три раза выше общереспубликанского. Это подтверждает, что риск получить травму на производстве для работника аграрного сектора системно многократно выше.

Наиболее обнадеживающая динамика наблюдается по КЧС в отрасли: показатель снизился более чем вдвое – с 22,95 в 2018 г. до 10 в 2024 г. Это свидетельствует об эффективности мер, направленных на предотвращение именно летальных случаев. Тем не менее даже сниженный показатель КЧС в сельском хозяйстве (10) в 3,4 раза превышает средний по стране (2,9), что подчёркивает сохраняющуюся исключительную опасность отрасли с точки зрения тяжести последствий.

В то время как по стране общий КЧ вырос в 2023–2024 гг., а КЧС продолжил снижаться, в сельском хозяйстве общий КЧ остаётся стабильно высоким, а КЧС демонстрирует значительное, но замедлившееся снижение. Это говорит о том, что в отрасли:

- удаётся предотвращать наиболее тяжёлые (смертельные) случаи, вероятно, за счёт улучшения организации помощи, использования СИЗ и т.д.
- не решена фундаментальная проблема высокой частоты всех видов травм, что может быть связано с устаревшим парком техники, сложными условиями труда, человеческим фактором и недостатками в повседневной организации безопасности.

Наиболее часто выявляемыми нарушениями в сельскохозяйственной деятельности в 2024 г. явились следующие [8, 9, 10]:

- работа со снятыми ограждениями опасных зон сельскохозяйственных машин;
- ремонтные работы под поднятыми рабочими органами сельскохозяйственных машин без установки специальных упоров, предотвращающих их самопроизвольное опускание;
- выполнение монтажных и демонтажных работ с шинами вне специальных ограждений, обеспечивающих безопасность работающих;
- неограждение поворотных звездочек горизонтальных цепных транспортеров навозоудаления;
- необеспечение работников спецодеждой, спецобувью и другими средствами индивидуальной защиты;
- недостатки в содержании и организации рабочих мест;
- нарушение требований безопасности при эксплуатации транспортных средств, машин, механизмов, оборудования, оснастки, инструмента;
- необеспечение работающих необходимым инвентарем для подгона и усмирения животных (ремной кнут, палка-водило, скрепки, чистики, электропогонялки и др.) при выполнении работ, связанных с обслуживанием животных.

По оперативным данным Департамента, за 10 месяцев 2024 г. в результате контакта с крупным рогатым скотом травмированы 88 работников, один из которых погиб, 19 – получили тяжелые производственные травмы [11].

Следует отметить, что в момент травмирования 6 работников находились в состоянии алкогольного опьянения (один животновод погиб).

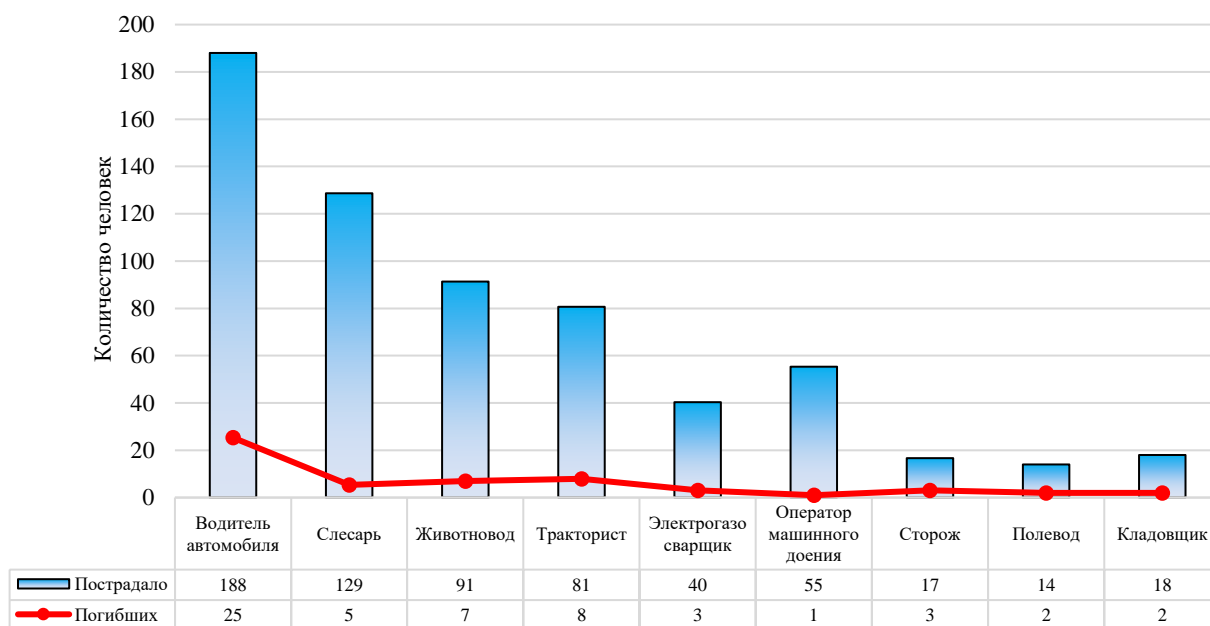


Рис. 3. Средние (за 2018–2024 гг.) значения профессий работников сельского хозяйства, пострадавших в результате несчастных случаев на производстве

Абсолютным лидером по числу пострадавших (188 человек) и погибших (25 человек) является профессия водителя автомобиля. Это указывает на транспортную сферу как на источник наиболее значительного числа инцидентов, причём с высокой долей тяжёлых последствий. В группу повышенного риска также входят слесари (129 пострадавших, 5 погибших), животноводы (91 и 7) и трактористы (81 и 8). Эти четыре профессии концентрируют более 60 % от общего числа пострадавших в представленной выборке, формируя ключевые точки приложения для профилактических мер.

Анализ соотношения числа погибших к числу пострадавших (условный коэффициент летальности) позволяет выявить профессии с особенно высокой тяжестью исходов:

Наибольшая доля погибших среди пострадавших наблюдается у сторожей ( $\approx 17,6\%$ ), полеводов ( $\approx 14,3\%$ ) и трактористов ( $\approx 9,9\%$ ).

Для водителей при максимальном абсолютном числе жертв этот показатель составляет  $\approx 13,3\%$ , что также существенно выше усреднённого уровня.

Это свидетельствует о том, что несчастные случаи в данных профессиях часто связаны с факторами, приводящими к тяжёлым или фатальным последствиям (например, работа с техникой, изолированный труд, воздействие опасных механизмов).

Для сторожей, полеводов и трактористов необходимы специальные решения, фокусирующиеся на устранении рисков с высокой вероятностью летального исхода.

Человеческий фактор является доминирующей причиной несчастных случаев [12]. Совокупная доля причин, связанных с поведением и действиями самих пострадавших («Со стороны потерпевших»), составляет более 50 % от всех инцидентов. Ключевыми компонентами здесь выступают (рис. 4):

- нарушение требований охраны труда и трудовой дисциплины (25,6 %) – наиболее массовая причина общего травматизма;
- личная неосторожность (18,3 %) – второй по значимости фактор, особенно характерный для несчастных случаев без смертельного исхода.

Это указывает на критическую важность повышения культуры безопасности и личной ответственности работников как основного направления профилактики.

Анализ причин летальных исходов выявляет смещение акцентов, управленческие и организационные причины резко возрастают в своей значимости. Невыполнение обязанностей по охране труда руководителями (13,6 %) становится одной из ведущих причин гибели людей, как и неудовлетворительная организация рабочих мест (5,4 %). Их удельный вес в структуре смертельного травматизма существенно выше, чем в общем.

Нахождение в состоянии алкогольного опьянения, имея относительно небольшую долю в общем травматизме (1,6 %), становится весомым фактором смертельных исходов (4,8 %), что подчеркивает его крайнюю опасность.

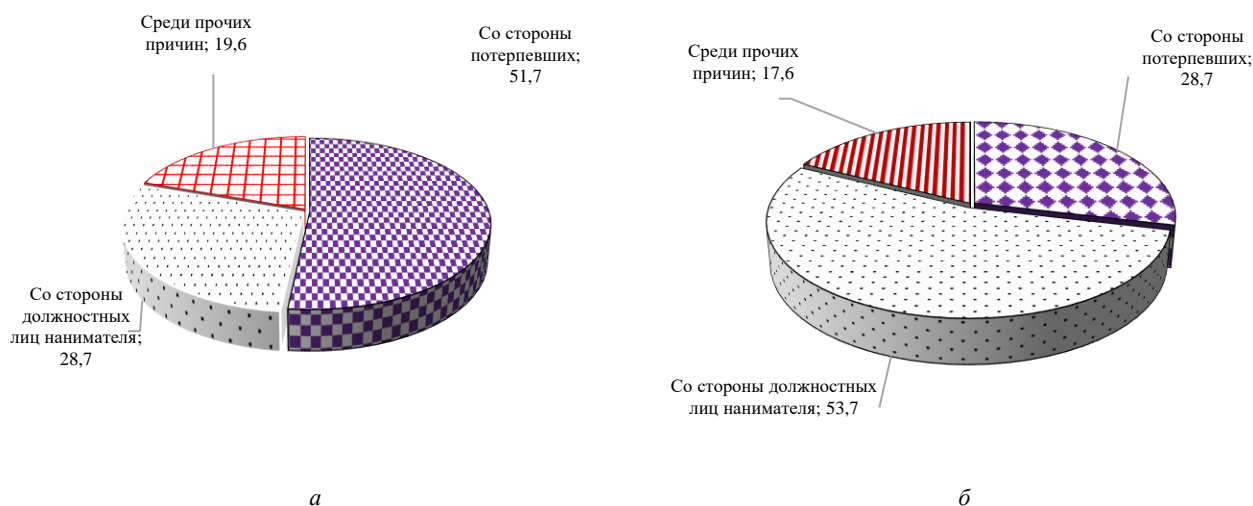


Рис. 4. Удельный вес основных причин несчастных случаев, произошедших в 2024 году, %:  
 а – все несчастные случаи; б – несчастные случаи со смертельным исходом

Нарушение требований безопасности при эксплуатации техники (2,7 %) также чаще приводит к фатальным последствиям.

Выявлена системная взаимосвязь между нарушениями на разных уровнях. Статистика демонстрирует, что несчастный случай, особенно тяжелый, часто является результатом комбинации факторов: личное нарушение работника (неосторожность, неприменение СИЗ) происходит на фоне допущенных должностными лицами недостатков в организации работ, обучении или содержании рабочих мест. Например, высокая доля «личной неосторожности» может косвенно указывать на недостатки в инструктаже и контроле.

#### Заключение

За исследуемый период в Республике Беларусь достигнут прогресс в снижении абсолютных показателей производственного травматизма. Однако сельское хозяйство остаётся отраслью с устойчиво высоким и структурно значимым уровнем травматизма, характеризующимся растущей долей смертельных случаев. Это однозначно указывает на необходимость сфокусированных и усиленных профилактических мер именно в аграрном секторе, направленных не только на снижение количества инцидентов, но и на минимизацию тяжести их последствий, в том числе через совершенствование техники безопасности, механизацию наиболее опасных процессов и повышение культуры труда.

Несмотря на заметный прогресс в снижении уровня смертельного травматизма, сельское, лесное и рыбное хозяйство сохраняет статус отрасли с системно самым высоким уровнем производственного риска в Республике Беларусь. Стабилизация общего коэффициента частоты травм на уровне, многократно превышающем средний по стране, сигнализирует о необходимости качественно нового подхода к охране труда в этом секторе. Требуется не точечные меры, а комплексная модернизация условий труда, технологических процессов и системы управления профессиональными рисками для кардинального снижения общей частоты несчастных случаев.

Транспортные и сельскохозяйственные профессии (водитель, тракторист, животновод), а также профессии, связанные с ремонтом и обслуживанием (слесарь), формируют ядро проблемы.

Профилактика производственного травматизма, особенно со смертельным исходом, требует комплексного подхода, направленного на все уровни организации труда:

- необходимо ужесточить контроль за соблюдением дисциплины и требований охраны труда, внедрять программы по формированию поведенческой безопасности, бескомпромиссно бороться с работой в состоянии опьянения.

- ключевым является повышение ответственности должностных лиц за создание безопасных условий. Необходим аудит организации рабочих мест, систем обучения и допуска к работе, а также эффективность выполнения управленческих обязанностей в сфере охраны труда.

- требуется усилить расследование не только прямых, но и коренных причин инцидентов, уделяя особое внимание организационно-управленческим просчетам, которые создают предпосылки для ошибок персонала.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Охрана труда: курс лекций / В. Н. Босак [и др.]; под общей редакцией В. Н. Босака. – Горки: БГСХА, 2020. – 155 с.
2. Левашов, С. П. Обоснование путей и методов профилактики производственного травматизма работников АПК на основе оценки и управления профессиональными рисками: дис. ... док. техн. наук: 05.26.01 / Левашов Сергей Петрович. – Санкт-Петербург, 2018. – 682 с.
3. Сухов, С. С. Повышение безопасности операторов сельскохозяйственных самоходных транспортных машин минимизацией опасностей столкновения и совершенствованием технических средств: дис. ... канд. техн. наук: 05.26.01 / Сухов Сергей Сергеевич. – Орел, 2006. – 186 с.
4. Статюкова, Л. А. Предупреждение травматизма и профессиональных заболеваний работников АПК за счёт организационно-технических мероприятий: на примере Тюменской области: дис. ... канд. техн. наук: 05.26.01 / Статюкова Любовь Александровна. – Санкт-Петербург-Пушкин, 2010. – 682 с.
5. Методы изучения и анализа производственного травматизма: методические указания / В. Н. Босак, М. П. Акулич, А. Е. Кондраль [и др.]. – Горки: Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 2022. – 15 с.
6. Производственный травматизм в АПК Беларуси / И. Е. Баева, М. В. Цайц, Е. Л. Ионас [и др.] // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения. – 2025. – № 1(24). – С. 285–290.
7. Солодкин, Н. В. Анализ статистических данных производственного травматизма в АПК Республике Беларусь / Н. В. Солодкин, М. В. Цайц, Е. Л. Ионас // Безопасность в техносфере: Материалы Международной очно-заочной студенческой научно-практической конференции, Иркутск, 27 марта 2025 года. – Иркутск: Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2025. – С. 189–192.
8. Требования охраны труда при эксплуатации канавных подъемников / Е. Э. Симанчук, А. В. Шик, М. В. Цайц, И. А. Гращенко // Обеспечение безопасности жизнедеятельности на современном этапе развития общества : сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции студентов и магистрантов, Горки, 24–25 апреля 2025 года. – Горки: БГСХА, 2025. – С. 115–118.
9. Босак, Д. Ю. Анализ систем автоматического открытия бортов грузовых автомобилей / Д. Ю. Босак // Актуальные вопросы механизации сельскохозяйственного производства: материалы международной научной конференции студентов и магистрантов, Горки, 27–28 марта 2025 года. – Горки: БГСХА, 2025. – С. 164–166.
10. Анализ требований охраны труда при производстве работ на высоте / М. П. Акулич, И. И. Сергеева, М. В. Цайц [и др.] // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства: Сборник научных трудов. – Горки: Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 2025. – С. 12–16.
11. Охрана труда и травматизм в Республике Беларусь 2024 года. Итоги: [сайт]. – Минск, 2007–2026. – URL: <https://otb.by/news/5102-okhrana-truda-i-travmatizm-v-respublike-belarus-2024-goda-itogi> (дата обращения: 08.01.2026).
12. Безопасность жизнедеятельности человека. Правила поведения в чрезвычайных ситуациях: методические указания к практической работе / М. В. Цайц, И. И. Сергеева, Е. Л. Ионас [и др.]. – Горки: Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 2025. – 62 с.

## БОРТОВОЙ МОНИТОРИНГ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПРИВОДА УПРАВЛЕНИЯ СЦЕПЛЕНИЕМ АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ

**Ю. Д. КАРПИЕВИЧ, В. В. МИХАЛКОВ**

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,  
г. Минск, Республика Беларусь, 220012, e-mail: karpievicharseni@gmail.com; viktor-mihalkov@mail.ru

**А. Н. КАРТАШЕВИЧ**

УО «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции  
и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия»,  
г. Горки, Республика Беларусь, 213407, e-mail: kartashevich@yandex.ru

**П. Ю. МАЛЫШКИН**

Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь, 220102

(Поступила в редакцию 20.01.2026)

Главной задачей, которая стоит перед предприятиями автотракторостроения в Республике Беларусь, является производство конкурентоспособной и надежной техники, которая поставляется не только на внутренний рынок, но и на рынки дальнего и ближнего зарубежья. Решению этих задач способствует внедрение в конструкцию различных микропроцессорных систем, позволяющих поднять показатели его эффективности на качественно новый уровень. Наиболее перспективным направлением электронизации является бортовое диагностирование. Изучение данного вопроса, анализ эксплуатации, технического обслуживания и проведенных ранее ремонтных воздействий привели к углубленному исследованию и бортовому мониторингу технического состояния привода управления сцеплением автотракторной техники, так как планово-предупредительная система технического обслуживания и ремонта исчерпала себя.

В этой связи актуальной является задача обеспечения диагностирования микропроцессорных систем управления за счет использования технических средств последних. Идентичность функциональных структур микропроцессорных систем управления и диагностирования позволяет за счет совместного использования общей аппаратуры (датчиков, исполнительных механизмов, микро-ЭВМ) обеспечить непрерывный контроль системы и объекта управления без использования каких-либо специализированных технических средств и тем самым избежать необоснованного усложнения конструкции автотракторной техники и необходимости разработки дополнительного диагностического оборудования.

Необходимость создания подобных систем вызвана тем, что у большинства автомобилей и тракторов при проведении диагностических работ отмечаются значительные отклонения параметров, характеризующих их техническое состояние до проведения диагностических работ, то есть они эксплуатируются в ряде случаев при недопустимых или критических режимах, что отрицательно сказывается на работоспособности узлов и агрегатов, безопасности движения, экономических, экологических и других показателях. Часть техники, находящейся в исправном состоянии, в соответствии с графиком проведения регламентных работ подвергается преждевременному диагностированию или техническому обслуживанию, т. е. очевидны необоснованные трудовые и материальные затраты. В связи с этим в последние годы все ведущие фирмы, производящие современные тракторы и автомобили, приступили к созданию бортовых систем мониторинга, что является в настоящее время весьма актуальным.

Бортовая диагностика, как элемент конструкции, позволяет перейти к техническому обслуживанию по фактической потребности и за счет этого исключить необоснованные материальные и трудовые затраты при преждевременном обслуживании привода управления сцеплением.

В статье разработаны методы бортового мониторинга технического состояния привода управления сцеплением автотракторной техники.

**Ключевые слова:** бортовой мониторинг, работа трения, интегральный показатель, микропроцессорные системы, техническое обслуживание, ремонт.

The main challenge facing automobile and tractor manufacturing enterprises in the Republic of Belarus is the production of competitive and reliable equipment for sale not only to the domestic market, but also to neighboring and foreign markets. The implementation of various microprocessor-based systems, which allow for a qualitatively new level of efficiency, facilitates the solution of these problems. On-board diagnostics is the most promising area of electronization. A study of this issue, along with an analysis of operation, maintenance, and previous repairs, led to an in-depth investigation and on-board monitoring of the technical condition of the clutch control drive of automotive and tractor equipment, as the planned preventive maintenance and repair system had exhausted its potential.

In this regard, the task of ensuring diagnostics of microprocessor control systems through the use of their technical means is urgent. The identical functional structures of microprocessor control and diagnostic systems allow, through the shared use of common hardware (sensors, actuators, microcomputers), continuous monitoring of the system and the controlled object without the use of any specialized technical means, thereby avoiding unnecessary complication of the automotive and tractor equipment design and the need to develop additional diagnostic equipment. The need to develop such systems arises from the fact that most vehicles and tractors, when undergoing diagnostic work, show significant deviations in the parameters characterizing their technical condition prior

to the diagnostics. This means they are sometimes operated under unacceptable or critical conditions, which negatively impacts the performance of components and assemblies, traffic safety, economic, environmental, and other indicators. Some equipment, although in good condition, is subject to premature diagnostics or maintenance according to the scheduled maintenance schedule, resulting in unnecessary labor and material costs. Therefore, in recent years, all leading manufacturers of modern tractors and vehicles have begun developing on-board monitoring systems, which is currently highly relevant.

On-board diagnostics, as a design element, allows for maintenance to be performed based on actual need, thereby eliminating unnecessary material and labor costs associated with premature clutch control drive maintenance. This article develops methods for on-board monitoring of the technical condition of the clutch control drive of automotive and tractor equipment.

**Key words:** on-board monitoring, friction performance, integral indicator, microprocessor systems, maintenance, repair.

## Введение

В условиях рыночных отношений одной из основных задач, стоящих перед автомобилетракторостроителями, является повышение технического уровня, надежности и конкурентоспособности выпускаемой техники [1, 2].

Отметим, что получивший наибольшее практическое распространение на автотранспорте регламентный характер контрольно-диагностических работ не может обеспечить требуемого уровня технического состояния агрегатов, и в частности привода управления сцеплением, так как не учитывает индивидуальные особенности каждого трактора или автомобиля, условия его эксплуатации, технического обслуживания и проведенных ранее ремонтных работ [3–5].

Наиболее перспективным направлением электронизации является бортовое диагностирование, обеспечивающее высокую безопасность эксплуатации, упрощение процедуры и уменьшение затрат на техническое обслуживание и ремонт [6].

Предполагается, что внедрение бортовых диагностических систем позволит снизить стоимость технического обслуживания и ремонта в несколько раз [7].

Сложность задачи мониторинга технического состояния привода управления сцеплением заключается в отсутствии методов диагностирования [8].

Одним из путей решения этой проблемы является разработка методов бортового диагностирования технического состояния привода управления сцеплением, позволяющих перейти к техническому обслуживанию по фактической необходимости, и за счет этого исключить, с одной стороны, возможность эксплуатации неисправного трактора или автомобиля, а с другой – необоснованные простои, материальные и трудовые затраты [9; 10; 11].

Данная статья посвящена контролю за техническим состоянием привода управления сцеплением автотракторной техники, что делает исследование востребованным и актуальным.

Цель – разработка методов бортового мониторинга технического состояния привода управления сцеплением.

## Основная часть

Рассмотрим новый метод бортового диагностирования технического состояния привода управления сцеплением.

Среди неисправностей привода управления сцеплением можно выделить следующие [12]:

- увеличенный свободный ход муфты выключения сцепления;
- уменьшенный свободный ход муфты выключения сцепления.

Структурная схема системы бортового мониторинга технического состояния привода управления сцеплением представлена на рис. 1.

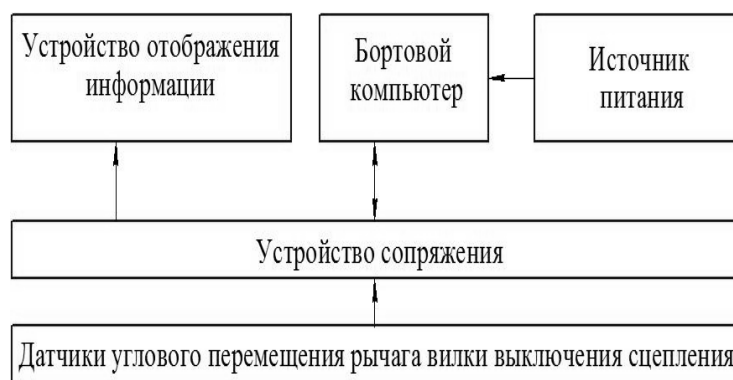


Рис. 1. Структурная схема системы бортового мониторинга технического состояния привода управления сцеплением

В основу методов диагностирования привода положен характер изменения положения рычага вилки выключения сцепления в процессе управления сцеплением.

Для получения информации о положении рычага вилки выключения сцепления используется датчик углового перемещения 19 (рис. 2).

Применение аналогового датчика позволит повысить общий уровень контролепригодности привода управления сцеплением [13].

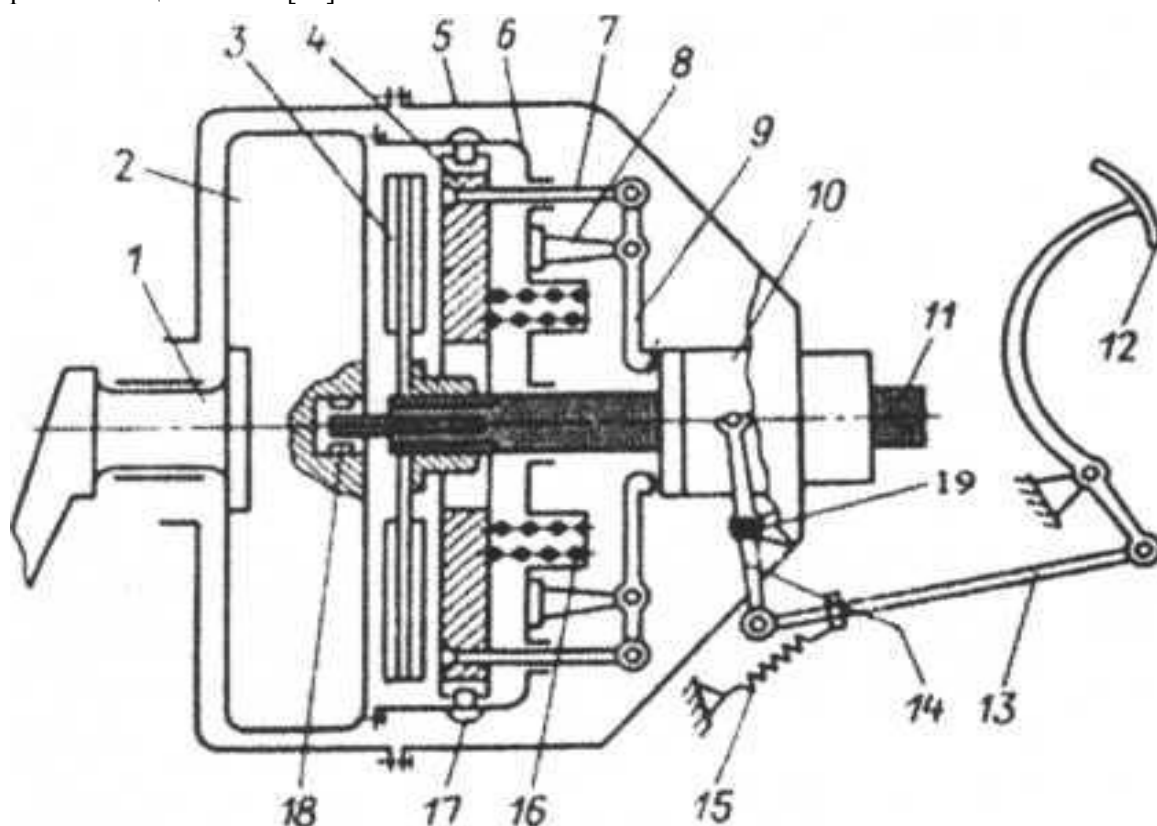


Рис. 2. Привод управления сцеплением:

- 1 – коленчатый вал; 2 – маховик; 3 – ведомый диск с фрикционными накладками; 4 – нажимной диск;  
 5 – картер сцепления; 6 – кожух сцепления; 7 – оттяжной палец; 8 – опора оттяжного рычага; 9 – оттяжной рычаг;  
 10 – муфта выключения сцепления; 11 – первичный вал коробки передач; 12 – педаль; 13 – тяга; 14 – вилка выключения;  
 15 – оттяжная пружина; 16 – нажимная пружина; 17 – направляющий палец; 18 – роликподшипник;  
 19 – датчик углового перемещения

При определении положения рычага вилки 14 выключения сцепления целесообразно пользоваться не абсолютным, а относительным значением информационного сигнала. Это связано с тем, что в процессе износа накладок ведомого диска сцепления 3 постоянно изменяется начальное положение подвижной части датчика углового перемещения 19, а следовательно, и значение информационного сигнала на его выходе. В результате изменения начальной настройки датчика используемые в методике пороговые значения положения рычага вилки выключения сцепления могут стать причиной постановки системой ошибочного диагноза. Поэтому было введено понятие коэффициента полноты выключения сцепления, позволяющего избежать вышеназванного недостатка.

Под коэффициентом полноты выключения сцепления понимается выражение:

$$K_{\text{сц}}(\alpha) = \left| \frac{R_{\text{сц}}(t) - R_{\text{сц}}(\alpha_0)}{R_{\text{сц}}(\alpha_{\text{вс}}) - R_{\text{сц}}(\alpha_0)} \right|; \quad 0 \leq K_{\text{сц}}(\alpha) \leq 1 \quad (1)$$

где  $R_{\text{сц}}(t)$  – мгновенное положение рычага вилки выключения сцепления;  $R_{\text{сц}}(\alpha_0)$  – положение рычага вилки выключения сцепления при полностью включенном сцеплении;  $R_{\text{сц}}(\alpha_{\text{вс}})$  – положение рычага вилки выключения сцепления при полностью выключенном сцеплении.

Методы диагностирования привода управления сцеплением разрабатывались применительно к режиму трогания автомобиля с места с переключением передач, позволяющий проводить проверку привода при его управлении водителем.

В качестве примера рассмотрим бортовой мониторинг привода управления сцеплением при трогании автомобиля с места.

Процедура бортового мониторинга технического состояния привода управления сцеплением автомобиля заключается в следующем.

В ходе диагностирования микропроцессорная система реализует некоторый алгоритм рис. 3, представляющий собой опрос датчиков углового перемещения рычага вилки выключения сцепления и сравнение полученных значений информационных сигналов с константами технически исправного привода управления сцеплением, занесенными в память бортового компьютера, а также правил последовательности выполнения и анализ этих проверок. Если в результате обработки полученной информации  $K$ -й элемент оказывается неисправным, то признаку неисправности ПН( $m$ ) присваивается необходимое значение и формируется соответствующее диагностическое сообщение.

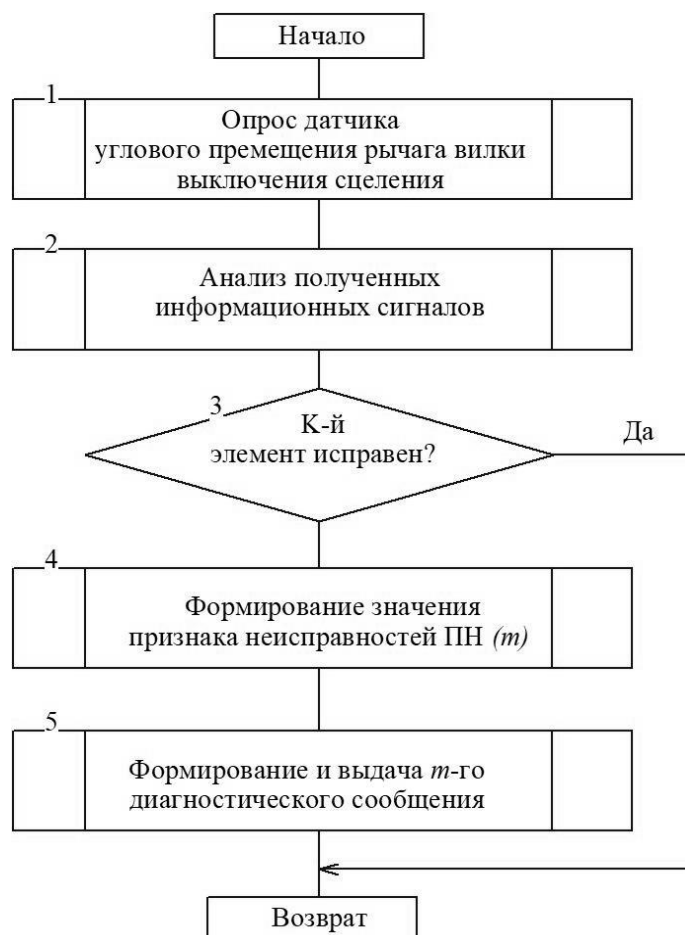


Рис. 3. Укрупненная блок-схема алгоритма бортового мониторинга технического состояния привода управления сцеплением автомобиля

Бортовой мониторинг привода управления сцеплением начинается с проверки системы уравнений:

$$\left. \begin{aligned} K_{\text{сц}}(\alpha) &= 0 \\ K'_{\text{сц}}(\alpha) &= 0 \\ R_{\text{сц},\min} &\leq R_{\text{сц}}(\alpha) \leq R_{\text{сц},\max} \end{aligned} \right\}; \quad (2)$$

где  $K_{\text{сц}}(\alpha)$  – скорость изменения коэффициента полноты выключения сцепления;  $R_{\text{сц},\min}$ ,  $R_{\text{сц},\max}$  – соответственно нижний и верхний пределы диапазона измерения датчика положения рычага сцепления;  $R_{\text{сц}}(\alpha)$  – угловое перемещение рычага вилки выключения сцепления.

Если какое-либо из условий выражения (2) не выполняется, то проводится локализация неисправности датчика углового перемещения педали сцепления, предусматривающая следующие проверки:

$$\left. \begin{array}{l} K_{\text{сц}}(\alpha) < K_{\text{сц},\text{min}} \\ K_{\text{сц}}(\alpha) = 0 \\ R_{\text{сц}}(\alpha) < R_{\text{сц},\text{min}} \end{array} \right\}, \quad (3)$$

выполнение которой свидетельствует о неисправности типа «Сигнал от датчика положения рычага вилки выключения сцепления меньше допустимого нижнего предела диапазона измерения»;

$$\left. \begin{array}{l} K_{\text{сц}}(\alpha) > K_{\text{сц},\text{max}} \\ K_{\text{сц}}(\alpha) = 0 \\ R_{\text{сц}}(\alpha) > R_{\text{сц},\text{max}} \end{array} \right\}, \quad (4)$$

выполнение которой свидетельствует о неисправности типа «Сигнал от датчика положения рычага вилки выключения сцепления больше допустимого верхнего предела диапазона измерения».

Выполнение вышеописанных проверок проводится до тех пор, пока водитель не нажмет педаль управления сцеплением и не произойдет трогание рычага вилки выключения сцепления с места. В этом случае состояние привода управления сцеплением может быть описано системой:

$$\left. \begin{array}{l} 0 < K_{\text{сц}}(\alpha) < K_{\text{сц}}(\alpha_{\text{сх}}) \\ K_{\text{сц}}(\alpha) > 0 \\ R_{\text{сц},\text{min}} < R_{\text{сц}}(\alpha) < R_{\text{сц},\text{max}} \end{array} \right\}, \quad (5)$$

которая после завершения выборки свободного хода и зазоров в сопряжениях привода преобразуется в вид:

$$\left. \begin{array}{l} 0 < K_{\text{сц}}(\alpha) < 1 \\ K_{\text{сц}}(\alpha) = 0 \\ R_{\text{сц},\text{min}} < R_{\text{сц}}(\alpha) < R_{\text{сц},\text{max}} \end{array} \right\}, \quad (6)$$

где  $K_{\text{сц}}(\alpha_{\text{сх}})$  – коэффициент полноты выключения сцепления при выбранной величине свободного хода муфты выключения сцеплением.

На данном этапе диагностирования проводится контроль свободного хода муфты выключения сцепления, для чего предусмотрена проверка:

$$\left. \begin{array}{l} K_{\text{сц}}(\alpha_{\text{сх},\text{min}}) \leq K_{\text{сц}}(\alpha) \leq K_{\text{сц}}(\alpha_{\text{сх},\text{max}}) \\ K_{\text{сц}}(\alpha) = 0 \\ R_{\text{сц},\text{min}} < R_{\text{сц}}(\alpha) < R_{\text{сц},\text{max}} \end{array} \right\}, \quad (7)$$

где  $K_{\text{сц}}(\alpha_{\text{сх},\text{min}})$ ,  $K_{\text{сц}}(\alpha_{\text{сх},\text{max}})$  – соответственно коэффициенты полноты выключения сцепления при минимально и максимально допустимой величине свободного хода муфты выключения сцепления.

Если условие (7) не выполняется, то проводится локализация неисправности, которая сводится к проведению следующих проверок:

$$\left. \begin{array}{l} K_{\text{сц}}(\alpha) > K_{\text{сц}}(\alpha_{\text{сх},\text{max}}) \\ K_{\text{сц}}(\alpha) = 0 \\ R_{\text{сц},\text{min}} < R_{\text{сц}}(\alpha) < R_{\text{сц},\text{max}} \end{array} \right\}, \quad (8)$$

выполнение которой свидетельствует о неисправности типа «Увеличенный свободный ход муфты выключения сцепления»;

$$\left. \begin{array}{l} K_{\text{сц}}(\alpha) < K_{\text{сц}}(\alpha_{\text{сх},\text{min}}) \\ K_{\text{сц}}(\alpha) = 0 \\ R_{\text{сц},\text{min}} < R_{\text{сц}}(\alpha) < R_{\text{сц},\text{max}} \end{array} \right\}, \quad (9)$$

выполнение которой свидетельствует о неисправности типа «Уменьшенный свободный ход муфты выключения сцепления».

Отличительной особенностью разработанных методов является то, что они позволяют без каких-либо специальных внешних технических средств выявлять наиболее распространенные неисправности привода управления сцеплением.

### **Заключение**

Разработаны методы бортового мониторинга технического состояния привода управления сцеплением.

Предложенный в статье коэффициент полноты выключения сцепления позволит исключить влияние точности настройки датчика углового перемещения рычага вилки выключения сцепления на достоверность результатов диагностирования.

### *ЛИТЕРАТУРА*

1. Грузовые автомобили / М. С. Высоцкий, Ю. Ю. Беленький, Л. Х. Гилелес [и др.]. – М.: Машиностроение, 1979. – 384 с.
2. Карпиевич, Ю. Д. Теоретические основы создания систем бортового диагностирования тормозов автомобилей: дис. ... д-ра техн. наук / Ю. Д. Карпиевич. – Минск, 2004. – 310 л.
3. Технические средства диагностирования: справочник / В. В. Ключев [и др.]; под общ. ред. В. В. Ключева. – М.: Машиностроение, 1989. – 672 с.
4. Волков, А. А. О методах идентификации и диагностики в сложных системах / А. А. Волков, Л. Н. Дроботенко // Вопросы технической диагностики. – 2013. – №10. – С. 155–156.
5. Каба, И. В. Диагностирование авиационных газотурбинных двигателей / И. В. Каба. – М.: Транспорт, 1980. – 247 с.
6. Захаров, В. Н. Современная информационная технология в системе управления / В. Н. Захаров // Изв. Академии наук. Теория и системы управления. – 2000. – №1. – С. 70–78.
7. Шувалов, Е. А. Повышение работоспособности трансмиссий тракторов / Е. А. Шувалов. – Л.: Машиностроение, 1986. – 126 с.
8. Гаскаров, Д. В. Интеллектуальные информационные системы / Д. В. Гаскаров. – М.: Высш. шк., 2003. – 431 с.
9. Мороз, С. М. Математическая модель объекта бортового контроля и диагностики автомобилей / С. М. Мороз. – Тр. МАДИ, 1996. – Вып. 115. – С. 79–81.
10. Лукин, П. П. Конструирование и расчет автомобиля: учебник для студентов по специальности «Автомобили и тракторы» / П. П. Лукин, Г. А. Гаспаряну, В. Ф. Родионов. – М.: Машиностроение, 1984. – 376 с.
11. Основы надежности системы водитель-автомобиль-дорога-среда / Р. В. Ротенберг [и др.]. – М.: Машиностроение, 1986. – 216 с.
12. Шило, И. Н. Конструкция тракторов и автомобилей: пособие / И. Н. Шило, А. И. Бобровник, В. Е. Тарасенко, В. Г. Левков. – Минск: БГАТУ, 2012. – 816 с.
13. Маханьков, О. А. Разработка методов диагностирования микропроцессорной системы автоматического управления механической трансмиссией: дис. ... к-та техн. наук / О. А. Маханьков. – Минск, 1992. – 278 л.

## СИСТЕМЫ ВОЗДУШНОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ ФАКЕЛОВ РАСПЫЛА ПЕСТИЦИДОВ В КОНСТРУКЦИЯХ СОВРЕМЕННЫХ ПОЛЕВЫХ ОПРЫСКИВАТЕЛЕЙ

И. С. КРУК, Т. П. КОТ, Е. В. СЕНЧУРОВ

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,  
г. Минск, Республика Беларусь, 220012, e-mail: kruk\_igar@mail.ru

О. В. ГОРДЕЕНКО, В. И. СОРОКО

УО «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции  
и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия»,  
г. Горки, Республика Беларусь, 213407, e-mail: olegordeenko70@mail.ru

Г. ГАНТУЛГА

Монгольская академия аграрных наук,  
г. Улан-Батор, Монголия, 14200

Л. ЛХАГВАСУРЭН

Монгольский государственный аграрный университет,  
г. Улан-Батор, Монголия, 17024

(Поступила в редакцию 10.02.2026)

*В современных технологиях возделывания сельскохозяйственных культур особое внимание уделяется эффективности проведения технологических операций, связанных с внесением химических средств защиты растений от вредителей, болезней и сорняков. Некачественное, нерациональное и необоснованное использование пестицидов оказывает существенное отрицательное воздействие на экологию окружающей среды, влечет увеличение себестоимости конечной продукции и вероятность накопления в ней остаточных количеств ядохимикатов. Качество внесения рабочих растворов пестицидов штанговыми опрыскивателями определяется множеством факторов: технического (состояние и уровень совершенствования агрегата, способность выполнять требования агротехники возделывания) и технологического (фазы развития сорных и культурных растений, пораженность и состояние объекта обработки, соблюдение технологических режимов работы) характера, а также состоянием окружающей среды. Поэтому важным направлением является совершенствование технологий и средств механизации, позволяющих снизить дозу вносимых препаратов и их потери.*

*В статье рассмотрено одно из направлений повышения эффективности химической защиты растений – использование опрыскивателей с системами воздушного сопровождения факелов распыла. Приведен анализ способов взаимного расположения гидравлических и воздухораспределительных систем в конструкциях опрыскивателей, обоснованы технологические и конструктивные требования к ним.*

*Таким образом, разработка технологий и технических средств, позволяющих качественно с наименьшими потерями внести средства защиты растений при воздействии метеорологических факторов окружающей среды, является важной задачей агропромышленного комплекса и сельскохозяйственного машиностроения.*

**Ключевые слова:** система, воздушный поток, факел распыла, объемная обработка, качество, опрыскиватель, распылитель.

*Modern agricultural cultivation technologies place particular emphasis on the efficiency of operations involving the application of chemicals to protect plants from pests, diseases, and weeds. Poor, irrational, and unjustified use of pesticides has a significant negative impact on the environment, leading to increased costs of the final product and the potential for the accumulation of pesticide residues. The quality of pesticide application using boom sprayers is determined by many factors: technical (the condition and level of sophistication of the unit, its ability to meet cultivation requirements) and technological (the developmental stages of weeds and crops, the severity and condition of the treated area, and adherence to operating procedures), as well as environmental conditions. Therefore, improving technologies and mechanization tools that reduce the application rate and losses is an important area.*

*This article examines one approach to improving the effectiveness of chemical plant protection: the use of sprayers with air-assisted spray systems. An analysis of the relative positions of hydraulic and air distribution systems in sprayer designs is provided, and the technological and design requirements for them are substantiated.*

*Therefore, developing technologies and technical tools that enable high-quality application of plant protection products with minimal losses under the influence of meteorological factors is an important task for the agro-industrial complex and agricultural engineering.*

**Key words:** system, air flow, spray torch, volumetric processing, quality, sprayer, atomizer.

### Введение

Постоянное расширение перечня разрешенных к использованию средств защиты растений предъявляет соответствующие требования к совершенствованию технологий их внесения и конструкциям средств механизации для обеспечения высокой эффективности и безопасности применения для об-

служивающего персонала и окружающей среды [1–3]. Научой и практикой доказано, что эффективность препаратов при опрыскивании определяется соблюдением сроков обработки (30 %), состоянием агрегата и качеством опрыскивания (30 %), обоснованным ассортиментом препаратов целевого назначения (30 %), прочими причинами (10 %) [4,5].

Вследствие воздействия внешних неуправляемых факторов зачастую внести пестициды в оптимальные сроки с требуемым качеством и с соблюдением необходимой дозы препарата не всегда представляется возможным по причине возникновения существенных потерь. Это в первую очередь связано с воздействием на процесс осаждения жидкостных полидисперсных систем ветра, турбулентных восходящих потоков и инверсий, параметров окружающего воздуха [1, 3]. При дроблении рабочей жидкости гидравлическими распылителями образуется полидисперсный распыл, при котором большое количество капель различных размеров движутся по своим траекториям с различными скоростями в направлении обрабатываемого объекта, образуя воздушно-капельный факел распыла. Значения начальных скоростей вылета капель при распаде струи находятся в пределах 10...30 м/с [7–12]. При этом капли более 70 мкм на расстоянии 0,04 м от сопла (область распада струи) имеют скорость 16...18 м/с, а капли менее 70 мкм – 10...12 м/с [7, 9]. Двигаясь в факеле распыла, капли подвергаются постоянному воздействию факторов окружающей среды, которые могут существенно изменяться при работе опрыскивателей даже в пределах одного обрабатываемого поля [3,6]. Вследствие воздействия сопротивления окружающей среды скорость движения капли уменьшается по мере удаления от распылителя до тех пор, пока ее сила тяжести не станет равной силам сопротивления воздуха. После чего, при условии отсутствия воздействия на нее ветра и восходящих воздушных потоков, она движется равномерно с постоянной скоростью (скоростью витания).

Экспериментальными исследованиями установлено, что через 1–2 секунды после вылета из сопла распылителя скорость капли становится равной  $v_k = 1/k$  ( $k$  – коэффициент, характеризующий сопротивление среды, ее плотность и другие характеристики, с/м) [8]. При этом для капель различных размеров, имеющих неодинаковые начальные скорости вылета из сопла распылителя, фаза витания наступает в разный период времени и на различном расстоянии от распылителя. Так, капля диаметром 100 мкм при начальной скорости 20 м/с, пролетает за 0,1 секунду 0,2 м, а капля диаметром 200 мкм достигает скорости витания через 0,2 с, за которое преодолет 0,625 м (табл. 1). Наилучшим является условие, при котором время начала стадии витания капли превышает время ее движения между распылителем и обрабатываемой поверхностью, то есть теоретическое расстояние, которое пролетит капля до наступления момента витания должно быть большим, чем высота установки распылителя над обрабатываемой поверхностью [11].

Таблица 1. Величины сноса капель жидкости с высоты падения 0,5 м в зависимости от их диаметра и скорости ветра [3,6,13,15–17]

Диаметр капель, мкм	Скорость оседания капель, м/с	Скорость ветра, м/с		
		2	3	4
10	0,003	333,0	500,0	833,3
20	0,012	83,3	225,0	208,0
40	0,046	21,7	32,6	54,2
60	0,100	10,0	15,0	25,0
80	0,170	5,9	8,8	14,7
100	0,250	4,0	6,0	10,0
120	0,340	2,9	4,4	7,4
140	0,430	2,3	3,5	5,8
200	0,720	1,4	2,1	3,5
250	0,900	1,1	1,7	2,8
300	1,150	0,9	1,3	2,2
400	1,600	0,6	0,9	1,6
500	2,200	0,5	0,7	1,1

На величину расстояния, которое капля пролетит, прежде чем осесть на обрабатываемую поверхность, существенное влияние оказывают такие факторы, как высота установки штанги, угол наклона распылителей, скорость и направление ветра. Достигая растений, воздушно-капельный факел обтекает их, содержащиеся в нем капли осаждаются на листьях, стеблях и почве под действием инерционных и гравитационных сил. Внутри растительного покрова и над ним воздействует ветер и восходящие от земли потоки воздуха, скорость которых значительно превышает скорость осаждения мелких капель. Поэтому они движутся над растительным покровом по измененным траекториям, постоянно испаряясь и уменьшаясь в размерах, что увеличивает потери из-за сноса за пределы обрабатываемого

участка и вынос химических средств защиты растений в верхние слои атмосферы. Вследствие этого при опрыскивании всегда отмечаются непроизводительные потери пестицидов из-за сноса мелких капель (20–80 мкм) и стекания крупных (360–1000 мкм) с обрабатываемых поверхностей на почву. Поэтому капли оптимальных диаметров находятся в пределах 80–360 мкм [14], максимальный диаметр которых определяется назначением операций защиты растений: для внесения инсектицидов, фунгицидов и контактных гербицидов – 200 мкм, почвенных гербицидов – 300 мкм [3, 12, 16, 18]. Крупные капли, попадая на обрабатываемую поверхность (например, листья), могут отскакивать и скатываться, что приводит к загрязнению почвы. Так, капли размером 400 мкм содержат действующего вещества в 1000 раз больше, чем капли размером 40 мкм, а капли размером 300 мкм — в 3500 раз больше, чем капли размером 20 мкм [17]. Кроме того, при осаждении капель на верхней поверхности листа, зачастую нижняя остается необработанной. При обычном опрыскивании пшеницы на верхнюю часть растений попадает 6–16 мг/кг, а на нижнюю – только 2–4 мг/кг [18].

При работе на повышенных скоростях капли рабочего раствора пестицида подвергаются дополнительному воздействию набегающего потока воздуха, создаваемого движущимся агрегатом. Так, при рабочей скорости опрыскивателя 8 км/ч на капли дополнительно действует воздушный поток со скоростью 2 м/с, а при вероятной скорости 30 км/ч – уже 8 м/с [2, 3]. При движении тракторного агрегата в безветренную погоду по полю со скоростью 10 км/ч за ним создается турбулентный след возмущенных воздушных масс, движущихся в поперечном направлении со скоростью до 0,4 м/с [3, 12]. Поэтому пестициды рекомендуется вносить с максимальными рабочими скоростями опрыскивателя 6–8 км/ч при использовании щелевых гидравлических опрыскивателей и до 10 км/ч – при использовании инжекторных [2, 3].

Многими исследованиями установлено, что потери гербицидов при сносе достигают 20...90 %. До 70 % объема распыленной жидкости и до 80 % объема вносимых пестицидов не достигают объекта обработки [1,3]. Сносимое облако распыленной жидкости может переноситься на большие расстояния. Повреждения сельскохозяйственных культур иногда обнаруживаются на расстоянии 20 км [1, 3, 15, 16]. Вследствие этого могут быть повреждены другие посевы, чувствительные к гербицидам и не требующие ими обработки, а отложениями пестицидов – загрязнены водоемы, окружающая среда обитания животных и жизнедеятельности человека. Неравномерное распределение по обрабатываемой поверхности приводит к вероятности загрязнения конечной продукции остаточными количествами средств химизации, или снижению эффективности химической защиты растений вследствие малых доз препаратов на недостаточно обработанных участках.

Целью работы, выполняемой в рамках международного проекта T24MH-005 при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований, является исследование направлений и устройств повышения качества внесения рабочих растворов пестицидов и снижение их потерь вследствие воздействия метеорологических факторов окружающей среды.

### **Основная часть**

Вопросы эффективного использования средств механизации для внесения рабочих растворов пестицидов и обоснования путей снижения потерь при их применении отражены в работах В. А. Бумажкина, И. Н. Велецкого, И. А. Виковича, Ю. Г. Вожика, В. П. Дмитрачкова, А. В. Клочкова, Н. Н. Краховецкого, С. Н. Ладутько, З. В. Ловкиса, А. Е. Маркевича, И. С. Нагорского, Н. В. Никитина, В. И. Панасюка, В. Р. Петровца, С. Ф. Прокопенко, Ю. Ю. Роттенберга, Е. Л. Ревякина, И. А. Редкозубова, Л. Я. Степука, В. В. Ченцова, В. Г. Шестакова, P. G. Andersen, P. Balsari, C. R. Chethan, R. J. Connell, B. K. Cooke, S. Cooper, E. C. Hislop, D. Nuyttens, H. E. Ozkan, G. M. Richardson, M. M. Sidahmed, Yu Seung-Hwa, W. A. Taylor, T. Wolf, J. C. Van de Zande, B. W. Young и других.

В большинстве из них отмечено, что повысить качество химических обработок посевов с соответствующим снижением энергетических и материальных затрат позволяет опрыскивание с воздушным сопровождением факела распыла. Известно, что мелкие капли, летящие в факеле распыла, быстро теряют импульс, придаваемый гидравлической системой, и стремятся принять скорость и воздействие окружающего воздушного потока. Создание струи воздуха, направленной от распылителя к целевому объекту, позволяет увеличить кинетическую энергию капель, что позволит сократить время их пребывания в воздухе, уменьшить объем сносимого рабочего раствора, и увеличить его количество на обрабатываемых поверхностях. Поэтому основными задачами систем сопровождения факелов распыла являются обеспечение транспортировки капель к обрабатываемому объекту при незна-

чительном изменении траекторий падения, защита их от воздействия ветра и наилучшее покрытие всех поверхностей обрабатываемых растений (объемная обработка).

Значимых достижений в разработке опрыскивателей с пневматическими системами добились производители сельскохозяйственной техники *Hardi* (система *Twin Force*), *RAU* (*Air Plus*), *Jacto*, *Dammann*, *Tecnoma* и другие. Используемые в их конструкциях системы воздушного сопровождения в зависимости от способа введения факела распыла в воздушный поток можно разделить на три группы (рис. 1) [3, 18–22]. К первой группе относятся системы, в которых выходные отверстия воздухораспределительной системы направлены либо вертикально вниз, либо под небольшим углом к вертикали и располагаются выше, чем гидравлические распылители (рис. 1,а). Вертикально направленный воздушный поток наклоняет стебли, доходит до поверхности почвы и частично отражается, в это время происходит подача капель препарата, часть которых оседает на верхней части листьев. Распыленные капли, не достигнув поверхности почвы, поднимаются отраженным потоком вверх и оседают на нижней стороне листьев, на стеблях и нижней части растений. В системах второй группы распылители установлены вертикально вниз, а воздушный поток направлен под углом к нему (рис. 1,б).

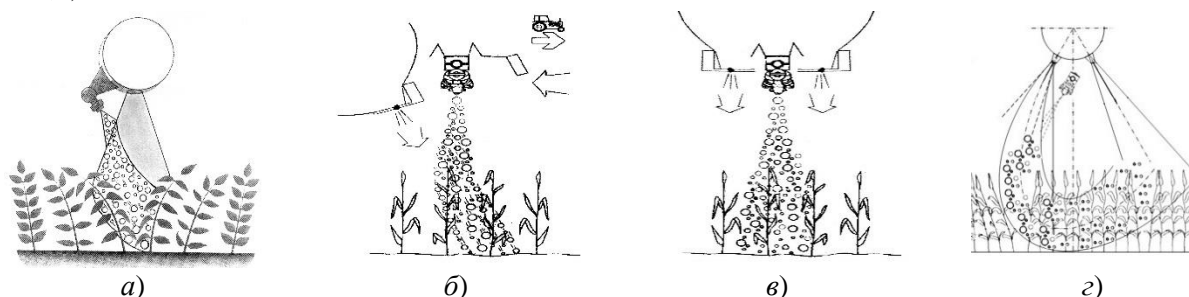


Рис. 1. Схемы относительного расположения выходных элементов гидравлических и воздушных систем в современных опрыскивателях: *RAU AirPlus* (а) [3, 18, 19], *Hardi Twin Stream* (б) [3, 18, 19], *Dammann DT 2400H S5 Highlander* (в) [20, 21], двухструйный воздушный поток (г) [22]

К третьей – относятся системы, в которых распылители установлены внутри направленных воздушных потоков (рис. 1,в, г). Воздушный поток сжатого воздуха, выходящий из щелей распределительного пневматического рукава, расположенных симметрично в направлении движения относительно факела распыла, создает «воздушные экраны», движущиеся вниз со скоростью, превышающей скорость бокового потока ветра в приземном слое, что позволяет снизить или исключить воздействие ветра на факел распыла. При этом воздушный поток, выходящий из щелей за распылителями, перенаправляет восходящие от поверхности почвы воздушные потоки и транспортирует витающие в воздухе капли в направлении обрабатываемого объекта. В некоторых случаях конструктивные параметры установки распылителей и воздушного потока можно регулировать в зависимости от направления ветра и движения агрегата (рис. 2).

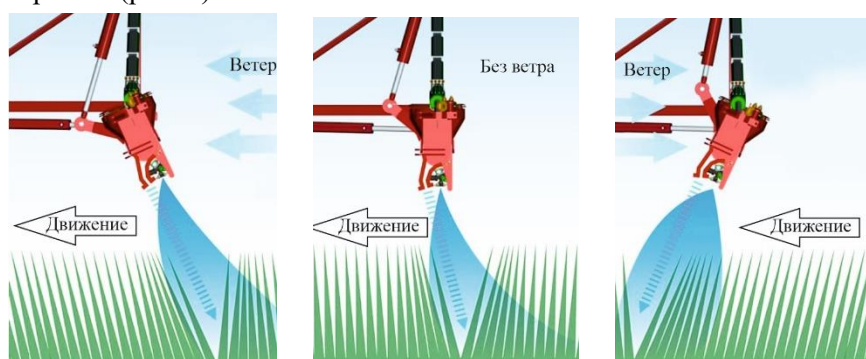


Рис. 2. Опрыскиватель *Agrifac* с системой *AirFlowPlus* [23]

Воздушно-капельный факел распыла, выбрасываемый из распылителя, смешивается с воздушным потоком пневматической системы на некотором расстоянии от штанги, скорость которого определяет диаметр сформированных капель (рис. 3).

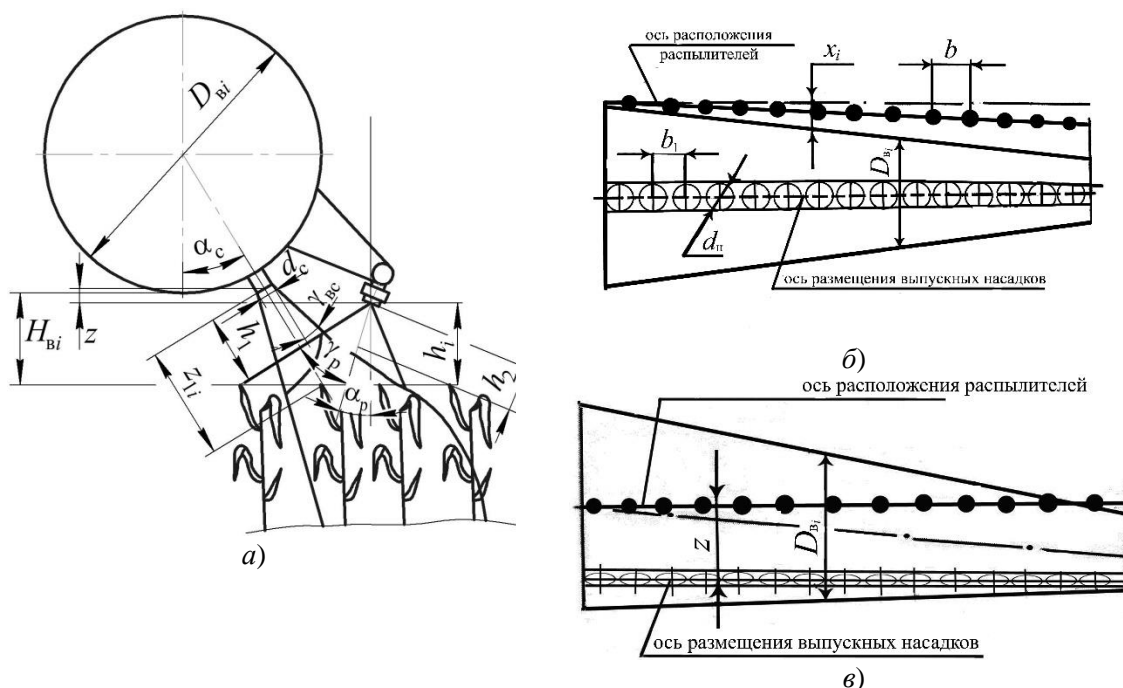


Рис. 3. Схема взаимного расположения воздухораспределительной и гидравлической систем: в продольно-вертикальной (а), горизонтальной (б) и поперечно-вертикальной (в) плоскостях

Технологические и кинематические параметры будут определять процессы транспортировки капель к обрабатываемому объекту, осаждения и взаимодействия с обрабатываемыми поверхностями (дробление или отскакивание), проникновения внутрь растительных массивов, деления в процессе падения, образования восходящих воздушных потоков и пылевых завес, выноса капель [3, 10]. Получить равномерный поток можно только при условии, если два независимых потока, воздушный от воздухораспределительной системы и воздушно-капельный от гидравлической системы, к моменту их слияния будут сплошными и равномерными [3, 18, 24]. Кроме того, качество объемной обработки вегетирующих культур и энергоемкость процесса зависят от угла вхождения воздушного потока в растительный слой. При ориентации воздушного потока вертикально вниз происходит прижимание листьев к стеблям растений и капли оседают только на верхней стороне листьев. Следовательно, воздушный поток должен быть направлен под углом и обеспечивать поворот и активное шевеление листьев обрабатываемых растений, но не вызывая упругий удар капель об их поверхность, что является причиной их отскакивания и осаждения на почве.

Наклон воздушной струи вперед с форсунками с плоским факелом на системе *Hardi Twin* может уменьшить снос по стерне на 60 %. Дрейф капель в воздух и осаждение их на землю при обработках посевов озимой пшеницы системой *Hardi Twin* снижаются при направлении высокоскоростных воздушных струй под углом  $20^\circ$  в сторону опрыскивателя [10]. Обработка посадок картофеля при использовании направленного воздушного потока позволяет снизить снос от 45 до 90 % в зависимости от типа форсунки [10, 25] (табл. 2). При этом осаждение капель на всех нижних сторонах листьев картофельных кустов обеспечивается при расходе воздуха  $0,94 \text{ м}^3/(\text{с} \cdot \text{м})$ , начальной скорости воздушной струи 31 м/с и угле ее наклона  $22^\circ$  [10].

Таблица 2. Процент снижения сноса при использовании подачи воздуха для различных типов форсунок при давлении 0,3 МПа [10, 25]

Распылитель	ISO размер распылителя	Снижение сноса, %*	Распылитель	ISO размер распылителя	Снижение сноса, %*
<i>TeeJet XR</i>	02	78	<i>Lechler ID</i>	02	67
<i>TeeJet XR</i>	04	71	<i>Agrotop XLTD</i>	04	47
<i>TeeJet DG</i>	02	62	<i>Agrotop XLTD</i>	02	67
<i>TeeJet DG</i>	04	53	<i>TeeJet TT</i>	04	90
<i>Lechler ID</i>	02	45	<i>TeeJet TT</i>	02	74

\*Снижение сноса по сравнению с распылением без подачи воздуха с использованием распылителя того же типа: XR – расширенный диапазон; DG – защита от сноса; ID – инжкорный; XLTD – увеличенные капли; TT – Turbo TeeJet.

При увеличении рабочей скорости опрыскивателя количество снесенной жидкости не изменяется, в то время как при стандартной штанге оно растет. Направленный воздушный поток уменьшает снос распыленной жидкости при скорости ветра 4 м/с, но увеличивает небольшой снос при скорости ветра 1 и 2 м/с при наклоне струй сжатого воздуха под углом  $45^\circ$  вперед или назад к направлению движения [26]. При этом снос значительно возрастает при внесении рабочих растворов почвенных герби-

цидов системами с воздушным сопровождением, особенно при высоких скоростях истечения струй сжатого воздуха [10]. В некоторых случаях при внесении рабочего раствора на голую землю или с небольшой растительностью, когда покров не может поглотить энергию воздушной струи, и ее скорость не регулируется, воздух отскакивается. Отраженный от поверхности поля воздушный поток выносит вверх не осевшие на обрабатываемых поверхностях растений мелкие капли, которые затем витают в воздухе и сносятся, то есть снижается эффективность воздушного сопровождения. Кроме того, в результате проведенных полевых экспериментов было установлено, что при использовании в сухую погоду опрыскивателей объемного действия, направленный воздушный поток подхватывает с поверхности почвы пыль, создавая пылевую завесу, с которой смешиваются капли рабочего раствора [2]. При этом создаются комочки грязи, которые оседают на растениях или почве, а поднимающаяся пыль покрывает тонким слоем обрабатываемые поверхности растений, что снижает эффективность проникновения препаратов. Для снижения потерь от выноса мелких капель при достаточной влажности окружающего воздуха может использоваться дополнительный направленный поток, который перенаправляет отраженный поток в направлении растений (рис. 1,з) [22], что позволяет сократить вынос препарата и повысить качество внесения средств химизации.

Следовательно, для эффективной работы систем воздушного сопровождения первой группы (рис. 1,а) необходимо соблюдение следующих условий [3, 18]:

- к моменту встречи воздушного и воздушно-капельного потоков скорость последнего должна быть меньше скорости воздушного потока;

- для формирования единого равномерного скоростного поля, воздействующего на объекты обработки, воздушный и воздушно-капельный потоки должны вступать во взаимодействие только после того, как воздушный поток преодолеет расстояние  $h_1$  (соответствующее зоне двойного перекрытия факелов распределения воздуха), а воздушно-капельный – расстояние  $h_2$  (соответствующее зоне слияния факелов распыла рядом расположенных распылителей) (рис. 3,а), определяемые по формулам:

$$h_1 = \frac{b_1 - 0,5 \cdot b_n}{\operatorname{tg} \gamma_c}; \quad h_2 = \frac{0,5b}{\operatorname{tg} \gamma_p},$$

где  $b$ ,  $b_1$  – соответственно межосевые расстояния между распылителями и выпускными отверстиями (насадками) воздухораспределительных рукавов, м (рис. 3,б);  $b_n$  – ширина выпускного отверстия (насадка), м;  $\gamma_c$  – угол бокового расширения воздушной струи, град;  $2\gamma_p$  – угол при вершине факела распыла, град.

При ориентации воздушного потока под углом  $25...30^\circ$  обеспечивается наилучшее проникновение воздушного потока в растительный слой. Это минимальный угол, при котором происходит отклонение стеблей и шевеление лиственной части при наименьшем расстоянии от выпускных насадков до растений. При увеличении этого угла значительно увеличивается расстояние до объектов обработки, что влечет за собой увеличение расхода воздуха и, следовательно, энергозатрат. С учетом этого возможны две схемы взаимного расположения распылителей и выпускных насадков воздухораспределительных рукавов: щелевые распылители ввиду малого угла при вершине факела распыла в поперечной плоскости должны быть ориентированы вертикально вниз; вихревые распылители должны быть повернуты под углом навстречу к воздушному потоку, создаваемому воздухораспределительной системой.

Согласно существующим рекомендациям, угол наклона гидравлических распылителей к вертикальной плоскости  $\alpha_p$  не должен превышать  $40...45^\circ$  во избежание сноса распыляемой жидкости [27]. Рационально выбирать угол  $\alpha_p$  в пределах  $10...20^\circ$ , так как увеличение угла ведет к удалению гидравлической штанги с распылителями от воздухораспределительной системы, что может представлять определенные трудности конструктивного плана. В горизонтальной плоскости (рис. 3,б) каждый из распылителей на штанге должен располагаться от близлежащей боковой стенки воздухораспределительного рукава на расстоянии, определяемом по выражению:

$$x_i = (0,5D_{B_i} + l_n) \sin \alpha_c + \frac{h_2}{\cos \gamma_p} \sin(\alpha_p + \gamma_p) + \frac{0,5d_n + h_1 \operatorname{tg} \gamma_c}{\cos \alpha_c} + \\ + \sin \alpha_c (h_1 - \operatorname{tg} \alpha_c \cdot (h_1 \operatorname{tg} \gamma_c + 0,5d_n)) - 0,5D_{B_i},$$

где  $D_{B_i}$  – диаметр воздухораспределительного рукава на  $i$ -ом участке, м;  $l_n$  – длина насадка, м;  $\alpha_p$ ,  $\alpha_c$  – соответственно углы, наклона воздушного распылителя и воздушного насадка (сопла) к вертикали, град.,  $\gamma_c$  – угол бокового расширения воздушной струи, град.

В поперечно-вертикальной плоскости (рисунок 3,в) ось расположения распылителей параллельна оси размещения выпускных сопел воздухораспределительного рукава и удалена на расстояние, определяемое по выражению:

$$z = \cos \alpha_c (h_1 - \operatorname{tg} \alpha_c (h_1 \operatorname{tg} \gamma_c + 0,5d_n)) - \cos(\alpha_p + \gamma_p) \frac{h_2}{\cos \gamma_p}.$$

Для щелевого распылителя при расчетах координат  $x_i$ ,  $z$  необходимо принимать боковой угол факела распыла (в поперечной плоскости)  $\alpha_p^*$ , который составляет  $10...20^\circ$  [28].

Для определения высоты установки воздухораспределительной системы над растительным слоем необходимо определить расстояние  $z_{1i}$ , которое определяется из условия полного взаимодействия воздушно-капельного и воздушного потоков. Факел распыла воздушно-капельного потока до входа в растительный слой должен полностью смешаться с направленным воздушным потоком. Расстояние  $z_{1i}$  определяется по формуле:

$$z_{1i} = \frac{x_i + 0,5D_{Bi} - \sin \alpha_c (0,5D_{Bi} + l_n)}{\sin \alpha_c}.$$

Высоты установки воздухораспределительного рукава  $H_{Bi}$  и гидравлических распылителей  $H_{Pi}$  над растительным слоем определяются по формуле:

$$H_{Bi} = \cos \alpha_c (z_{1i} + l_n + 0,5D_{Bi}) - 0,5D_{Bi};$$

$$H_{Pi} = \cos \alpha_c z_{1i} - z.$$

Полученные зависимости позволяют обосновать технологические параметры опрыскивателей с воздушной поддержкой, основной целью которых является объемная обработка растений с высокой степенью облиственности без учета воздействия ветра [3,18].

Исследуем механизм взаимодействия направленного воздушного потока с воздушно-капельным потоком, образующимся при распыливании рабочей жидкости гидравлическими распылителями, при их внешнем смешении с учетом воздействия факторов окружающей среды. Для этого следует обосновать необходимые скорости потоков, при которых обеспечивается эффективный процесс доставки капель рабочей жидкости к растениям с учетом воздействия ветра при исключении образования дополнительных турбулентных восходящих потоков. Капли факела распыла взаимодействуют в определенных точках, пересекающихся с направленной воздушной струей, например точках  $A$ ,  $B$  и  $C$  (рис. 4).

Основными кинематическими параметрами, определяющими данное взаимодействие являются: скорость  $v_{вп}$  и определяемое углами  $\alpha_c$  и  $\gamma_{вп}$  направление движения воздушного потока; скорость  $v_k$  и определяемое углами  $\alpha_p$  и  $\gamma_p$  направление движения капли; скорость  $v_v$  и (слева-направо или правоналево) направление ветра.

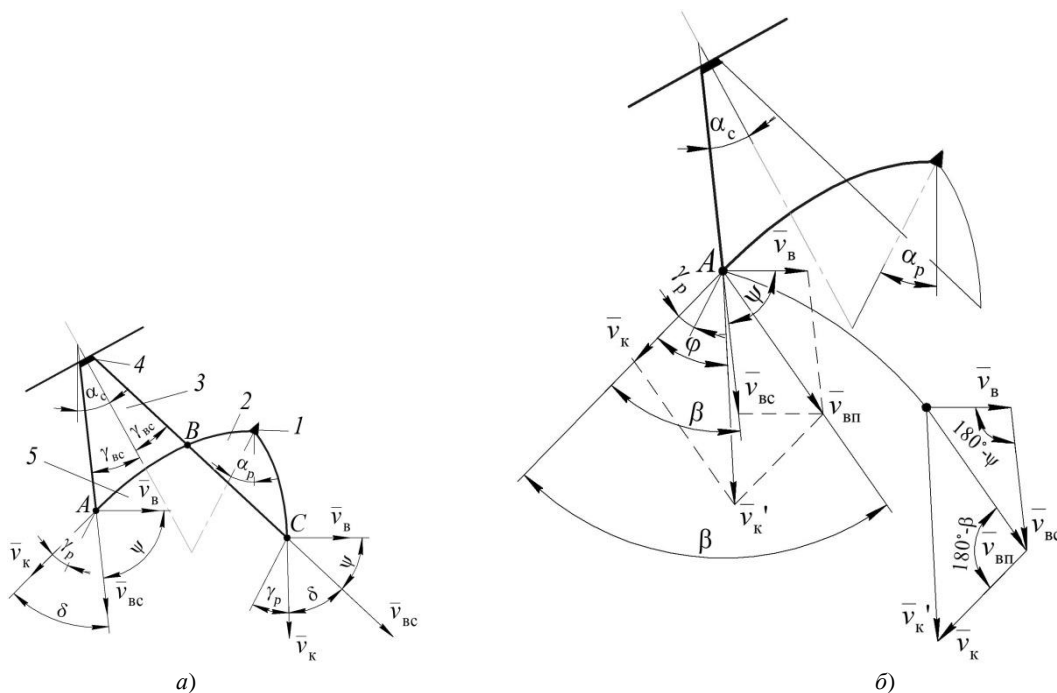


Рис. 4. Схема взаимодействия воздушного и воздушно-капельного потоков:

1 – распылитель; 2 – факел распыла рабочего раствора пестицидов; 3 – направленный воздушный поток (воздушная струя); 4 – воздушное сопло (насадок) пневматического распределительного рукава; 5 – смешанный воздушно-капельный поток

Исходя из плана скоростей (рис. 4,б) очевидно, что основными параметрами являются начальная и конечная скорости воздушного потока и скорость ветра. Осевую скорость воздушной струи на расстоянии от выходного сопла можно определить по формуле [3, 18, 21, 30]:

$$v_{bc} = \frac{0,48v_{bc_0}}{\left(\frac{ah}{d_c} + 0,145\right)}, \quad \text{или} \quad v_{bc_0} = \frac{\left(\frac{ah}{d_c} + 0,145\right)v_{bc}}{0,48},$$

где  $v_{bc_0}$  – начальная скорость вылета воздушной струи, м/с;  $a$  – коэффициент турбулентности [30–32];  $h$  – расстояние от сопла до рассматриваемой точки, м;  $d_c$  – диаметр сопла, м.

Исходя из условия какая скорость направленного воздушного потока должна быть при вхождении в растительный слой или при взаимодействии с поверхностью поля выбирается начальная скорость истечения воздушной струи из сопла пневматического распределительного рукава. Эффективность процессов транспортировки капель, проникновения в растительные слои, удерживаемости на обрабатываемых поверхностях, выдувания в атмосферу и объемной обработки определяются скоростью и направлением воздушного потока на выходе из воздушных сопел и при соприкосновении с обрабатываемой поверхностью, объемом сжатого воздуха.

В современных системах скорость потока у выхода из рукава составляет 20–35 м/с. К моменту достижения верхушек растений она падает до 4–9 м/с. Основной воздушный поток направлен вертикально вниз под углом 0–35° от вертикали. В опрыскивателях *Hardi Twin Force* скорость воздуха на выходе из пневматического рукава составляет около 25 м/с, а в припочвенном слое – около 5 м/с при подаче воздуха 2000 м³/ч на 1 метр ширины захвата; *Rau Air Plus* – соответственно 30 м/с, 4–9 м/с, 1600 – 2500 м³/ч на 1 метр ширины захвата; «Мекасан» ОПО-18 – соответственно 25 м/с, 5–6 м/с, 2222 м³/ч на 1 метр ширины захвата. Хозяйственные испытания опрыскивателя фирмы RAU показали, что при обработке растений водным раствором нигрозина было обнаружено, что карточки на верхней стороне листьев растений были обработаны каплями размером 200...400 мкм с плотностью покрытия 30...150 шт./см², на нижней стороне листьев 40 % карточек оказались необработанными, остальные имели плотность покрытия менее 30 шт./см² каплями размером менее 50 мкм [18].

Комплексное изменение высоты установки штанги и использование системы воздушного сопровождения позволяет существенно влиять на величину сноса капель рабочего раствора пестицидов. Современные исследования подтверждают, что правильно спроектированная воздушная завеса может снизить снос капель на 50–67 % при сильном боковом ветре (6–8 м/с) (табл. 3).

Таблица 3. Влияние высоты установки штанги и применения системы воздушного сопровождения на изменение величины сноса рабочего раствора [29]

Высота установки штанги, м	Снижение/увеличения осаждения рабочего раствора на расстоянии от штанги, %		Снижение (увеличение) воздушного дрейфа, %
	2 – 3 м	1 – 4 м	
Обыкновенная штанга			
0,3	-56,0	-58,0	-24,0
0,5*	0	0	0
0,7	+116,0	+62,0	+82,0
Штанга с воздушным сопровождением			
0,3	-95,0	-86,0	-91,0
0,5	-90,0	-75,0	-87,0
0,7	-57,0	-45,0	-84,0

\*базовый вариант штанги: распылители TeeJet XR 110 04, норма вылива 300 л/га; \*\* «->» – снижение; «+» – увеличение.

Большая степень снижения сноса достигается при совместном использовании инжекторных распылителей с воздушными сопровождающими системами. Это позволяет повысить степень объемной обработки растений, снизить снос на 80–90 % и обеспечить возможность работы при скорости ветра более 7 м/с. Совместное использование ветрозащитных устройств активного действия и инжекторных распылителей позволяет на 13 % повысить качество покрытия обработанной поверхности [19].

При двусторонней защите факела распыла оптимальными считаются системы с диаметром сопла 0,02 м при начальной скорости вылета из них струи 30 м/с симметрично под углом 20° к вертикали [21]. При этом рекомендуется в верхней части воздушного потока устанавливать ветрозащитные экраны высотой 0,25 м, что позволит обеспечить скорость вхождения в растительные слои 17,5 м/с и качественную обработку при скоростях ветра до 7 м/с.

### **Заключение**

Одним из направлений снижения потерь рабочих растворов пестицидов и повышения эффективности применения средств химической защиты растений является использование опрыскивателей с воздушными системами сопровождения факелов распыла. Обоснованием рациональной схемы, ее основных конструктивных, технологических и кинематических параметров можно получить равномерный поток, снизить объем вносимого рабочего раствора, и обеспечить качественную объемную обработку растений даже при высоких (до 7 м/с) скоростях ветра.

Однако, несмотря на различные способы взаимного расположения гидравлических и пневматических систем вопросы взаимодействия направленного воздушного потока с факелом распыла, а также сплошного воздушно-капельного потока с обрабатываемыми поверхностями остаются малоизученными.

В статье обобщен анализ способов взаимного расположения элементов гидравлических и пневматических систем опрыскивателей и приведены зависимости для расчета их технологических, кинематических и конструктивных параметров. Полученные результаты могут использоваться в сельскохозяйственном машиностроении при проектировании штанговых опрыскивателей и в сельскохозяйственных организациях при их эксплуатации.

### *ЛИТЕРАТУРА*

1. Никитин, Н. В. Научно-практические аспекты технологии применения современных гербицидов в растениеводстве / Н. В. Никитин, Ю. Я. Спиридонов, Ю. Я., В. Г. Шестаков // Под общей редакцией Ю. Я. Спиридонова и В. Г. Шестакова. – М.: Печатный Город, 2010. – 200 с.
2. Lechler. Теория и практика опрыскивания / И. А. Редкозубов [и др.]. – Lechler, 2010. – 19 с.
3. Крук, И. С. Способы и технические средства защиты факела распыла от прямого воздействия ветра в конструкциях полевых опрыскивателей / И. С. Крук, Т. П. Кот, О. В. Гордеенко. – Минск: БГАТУ, 2015.
4. Киселев, В. Н. Руководство по сборке и настройке полевых опрыскивателей для защиты растений / В. Н. Киселев. – Краснодар: Агрорус, 2002. – 36 с.
5. Никитин, Н. В. Технология внесения гербицидов / Н. В. Никитин, В. А. Абубикеров // Научно обоснованные технологии химического метода борьбы с сорняками в растениеводстве в различных регионах Российской Федерации / Под ред. Ю. Я. Спиридонова, В. Г. Шестакова. – Голицыно: РАСХН – ВНИИФ, 2001. – С. 29–52.
6. Защита растений в устойчивых системах землепользования (в 4-х книгах) / Под общей ред. Д. Шпаара. – Торжок: ООО «Вариант», 2004. – кн. 4. – 345 с.
7. Направления повышения эффективности использования полевых штанговых опрыскивателей / И. С. Крук [и др.]. – Агропанорама. – 2022. – № 5 (153). – С. 2–10.
8. Иванов, Е. Н. Расчет и проектирование систем противопожарной защиты / Е. Н. Иванов. – 2-е изд., доп. и перераб. – М.: Химия, 1990. – 384 с.
9. Droplet size and velocity characteristics of agricultural sprays / D. Nyttens [and oth.] // American Society of Agricultural Engineers. – 52 (5). – p. 1471–1480.
10. Nyttens, D. Drift from field crop sprayers: The influence of spray application technology determined using indirect and direct drift assessment means / Doctor of Bioengineering Sciences Dissertation / Catholic University of Leuven. – Leuven, 2007. – 267 p.
11. Крук, И. С. Особенности моделирования процесса падения капель при внесении рабочих растворов пестицидов полевыми штанговыми опрыскивателями / И. С. Крук // Агропанорама. – № 3 (169). – 2025. – С. 2–10.
12. Гордеенко, О. В. Повышение эффективности ухода за посевами овощных культур на гребнях совершенствованием оборудования для ленточного внесения гербицидов: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / О. В. Гордеенко. – Горки, 2004. – 169 с.
13. Herbicide application methodologies: influence of nozzle selection, droplet size and spray drift on effective spraying – a review. / C. R. Chethan [and oth.] // Innovative Farming. – № 4(1). – 2019. – p. 45–53.
14. Ревакин, Е. Л. Машины для химической защиты растений в инновационных технологиях: науч. аналит. Обзор / Е. Л. Ревакин, Н. Н. Краховецкий. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2010. – 124 с.
15. Шамаев, Г. П. Механизация работ по защите сельскохозяйственных культур от вредителей и болезней / Г. П. Шамаев, С. Д. Шеруда. – М., Колос, 1964.
16. Клочков, А. В. Механизация химической защиты растений: монография / А. В. Клочков, А. Е. Маркевич. – Горки: Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 2008. – 228 с.

17. РГАУ-МСХА. Зооинженерный факультет МСХА. Обработка растений в период вегетации [Электронный ресурс]. – 2016. – URL: <http://www.activestudy.info/obrabotka-rastenij-fungicidami-v-period-vegetacii> (дата обращения 16.12.2025).
18. Кот, Т. П. Повышение эффективности обработки вегетирующих культур обоснованием параметров воздухораспределительной и гидравлической систем штанговых опрыскивателей: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Т.П. Кот. – Минск, 2006. – 152 с.
19. Способы и устройства защиты факела распыла при внесении пестицидов в ветреную погоду / И. С. Крук [и др.] // Механизация и электрификация: Межведомственный тематический сб. / НИЦ НАН Беларуси по механиз. сел. хоз-ва / ред. колл. В. Н. Дашков [и др.]. – Минск, 2007. – С. 106–113.
20. Эдвисенс. Сельскохозяйственная техника в Беларуси / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://advisance.by/udobrenija-selbstfahrer-highlander/> / Дата доступа: 01.11.2024.
21. Використання повітряної зависі для протидії зустрічному вітру під час обприскування польових культур / Ю. Г. Вожик [и др.] // Механізація та електрифікація сільського господарства. – 2020. – Випуск 11(110). – С. 72–81.
22. Ключков, А. В. Снижение потерь пестицидов при опрыскивании: монография / А. В. Ключков, П. М. Новицкий, А. Е. Маркевич. – Горки: БГСХА, 2017. – 230 с.
23. Air-assisted spraying with AirFlowPlus / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.agrifac.com/ca/optional-spray-technology/airflowplus/> / Дата доступа: 01.11.2024.
24. Air-assisted spraying of arable crops, in relation to deposition, drift and pesticide performance. / В. К. Cooke [and oth.] // Crop Protection. – 1990. – № 9 – P. 303–311.
25. Environmental risk control. / J. C. Van de Zande [and oth.] // Aspects of Applied Biology. – 2002. – № 66. – P. 165–176.
26. Experimental air-assisted spraying of young cereal plants under controlled conditions. / E.C. Hislop [and oth.] // Crop Protection. – 1993. – 12(3). – P. 193–200.
27. Велецкий, И. Н. Технология применения гербицидов / И. Н. Велецкий. – Л.: Агропромиздат; Ленингр. отд., 1989. – 176 с.
28. Пажи, Д. Г. Распылители жидкостей / Д. Г. Пажи, В.С. Галустов. – М.: Химия, 1979. – 216 с.
29. Effect of sprayer boom height on spray drift. / A. De Jong [and oth.] // Mededelingen Universiteit Gent. – № 65(2b). 2000. – P. 919–930.
30. Абрамович, Г. Н. Прикладная газовая динамика / Г. Н. Абрамович. – М.: Наука, 1976. – 888 с.
31. Кострюков, В. А. Основы гидравлики и аэродинамики / В. А. Кострюков. – М.: Высшая школа, 1975. – 220 с.
32. Бутаков, С. Е. Аэродинамика систем промышленной вентиляции / С. Е. Бутаков. – М.: Профиздат, 1949. – 242 с.

## МЕЛИОРАЦИЯ И ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВО

УДК 631.619

### АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ МЕЛИОРАНТЫ НА ЗАГРЯЗНЕННЫХ РАДИОНУКЛИДАМИ ЗЕМЛЯХ

О. А. МЕРЗЛОВА

УО «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции  
и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия»,  
г. Горки, Республика Беларусь, e-mail: O-Merzlova@yandex.ru

(Поступила в редакцию 05.01.2026)

*Известкование – один из наиболее действенных и окупаемых приемов повышения плодородия кислых почв в Республике Беларусь. Актуальным остается изучение свойств дешевых и эффективных мелиорантов, среди которых выделяется группа цеолитов. Высокая обменная емкость цеолитсодержащего трепела и его избирательная активность к тяжелым анионам ведет также к снижению перехода радионуклидов в сельскохозяйственные растения. Экономический интерес к данному минералу обусловлен наличием в Могилевской области разработанного месторождения трепела. Это делает его одним из альтернативных материалов для рекультивации радиоактивно загрязненных земель.*

*В связи с этим изучено влияние трепела на переход радионуклидов в сельскохозяйственное сырье, произведенное на длительно неиспользуемых землях. Исследование проведено в производственных условиях на участке Гомельской области, возвращенном в сельскохозяйственное использование после длительного пребывания в залежи. Исходная плотность загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  почв составила 0,4–0,5 Ки/км<sup>2</sup>,  $^{90}\text{Sr}$  – 0,06–0,08 Ки/км<sup>2</sup>. В качестве мелиоранта использован трепел месторождения «Стальное». На фоне комплексного внесения минеральных удобрений изучено влияние трепела в полной и половинной дозах, рекомендуемых инструкцией об известковании кислых почв, на радиологические показатели зеленой массы луговых многолетних злаковых трав. Для сравнения предусмотрен вариант с внесением доломитовой муки.*

*Полученные результаты указывают на более значимое влияние трепела на снижение перехода в зеленую массу многолетних злаковых трав  $^{90}\text{Sr}$ , нежели  $^{137}\text{Cs}$ . В связи с тем, что применение цеолита в первый год внесения дает больший защитный эффект, его рекомендовано использовать для известкования при первичном освоении радиоактивно загрязненных земель.*

**Ключевые слова:** известкование, трепел,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ , коэффициенты перехода.

*Liming is one of the most effective and cost-effective methods for increasing the fertility of acidic soils in the Republic of Belarus. Studying the properties of inexpensive and effective soil reclamation techniques, including zeolites, remains a pressing issue. The high exchange capacity of zeolite-containing tripoli and its selective activity for heavy anions also reduce the transfer of radionuclides into agricultural crops. The economic interest in this mineral stems from the presence of a developed tripoli deposit in the Mogilev Region. This makes it an alternative material for the reclamation of radioactively contaminated lands.*

*Therefore, the effect of tripoli on the transfer of radionuclides into agricultural raw materials produced on long-unused lands was studied. The study was conducted under production conditions on a plot of land in the Gomel Region that was returned to agricultural use after a long period of fallow land. The initial soil contamination density for  $^{137}\text{Cs}$  was 0.4–0.5 Ci/km<sup>2</sup>, and for  $^{90}\text{Sr}$ , 0.06–0.08 Ci/km<sup>2</sup>. Tripoli from the Stalnoye deposit was used as an ameliorant. The effect of tripoli at full and half doses, recommended by the instructions for liming acidic soils, on the radiological parameters of perennial meadow grasses was studied against the background of combined mineral fertilizer application. A comparison was made with dolomite flour.*

*The results indicate that tripoli has a more significant effect on reducing the transfer of  $^{90}\text{Sr}$  into the perennial grasses' green mass than  $^{137}\text{Cs}$ . Because the application of zeolite in the first year of application provides a greater protective effect, it is recommended for liming during the initial development of radioactively contaminated lands.*

**Key words:** liming, tripoli,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ , conversion coefficients.

#### Введение

Одной из отличительных особенностей почв Беларуси выступает ее повышенная кислотность, которая не позволяет в естественном состоянии вести эффективное земледелие.

Для обеспечения высокой продуктивности сельскохозяйственных земель за счет бюджетных средств с периодичностью раз в пять лет проводится известкование сильнокислых, среднекислых, кислых и слабокислых почв [3].

При расчете доз мелиорантов учитываются не только данные об исходной кислотности почв, их типе и гранулометрическом составе, направлении использования участков, но и плотности загрязнения радионуклидами. Известно, что оптимизация степени кислотности почв на фоне применения минеральных удобрений позволяет сократить поступление радионуклидов в сельскохозяйственные культуры на 60–80 % [8, 9]. Необходимость повышения эффективности использования бюджетных средств предопределяет поиск более эффективных и дешевых известковых материалов.

Объектом исследования выступили сельскохозяйственные земли, изъятые из сельскохозяйственного оборота в связи высоким радиоактивным загрязнением, не позволяющим производить сырье в соответствии с требованиями республиканских нормативов; зеленая масса луговых многолетних злаковых трав; трепел месторождения «Стальное».

Целью работы является повышение эффективности решений о переводе земель из категории радиационно опасные в сельскохозяйственное использование и поиск эффективных известковых материалов для рекультивации этих земель.

### Основная часть

В результате радиоактивного загрязнения земель из сельскохозяйственного оборота Беларуси в 90-е годы прошлого века выведено 265 тыс. га земель [1]. Это земли, загрязненные  $^{137}\text{Cs}$  более 40 Ки/км<sup>2</sup> или  $^{90}\text{Sr}$  более 3,0 Ки/км<sup>2</sup>, или  $^{238, -239, -240}\text{Pu}$  более 0,1 Ки/км<sup>2</sup>, а также с более низкими плотностями загрязнения, на которых не обеспечивалось производство нормативно-чистой продукции. Они признавались радиационно опасными [6].

Около 47 тыс. га до настоящего времени оставались неиспользуемыми [5]. По мере естественного распада радионуклидов радиационная обстановка на них заметно улучшилась. В последние годы сельскохозяйственные организации Гомельской области проявляют интерес к вопросу возврата этих участков.

Внимание к цеолитам для использования на загрязненных радионуклидами землях объясняется высокой обменной емкостью катионов, что позволяет не только снижать кислотность почвы, но и поглощать загрязняющие вещества. Выраженную избирательность они проявляют к крупным катионам, среди которых ионы тяжелых металлов, включая  $\text{Cs}^+$  и  $\text{Sr}^{2+}$  [10]. Благодаря этому свойству  $\text{Sr}^{2+}$  можно извлекать из растворов даже с низкой концентрацией. Кроме того, цеолиты проявляют способность понижать кислотность почвы [4, 5].

Использование этой особенности цеолитов заслуживает внимания при первичном известковании земель, исключаемых из числа радиационно опасных и возвращаемых в сельскохозяйственное производство после длительного нахождения в залежи.

Предпосылкой для использования данного минерала в Республике Беларусь является разработанность месторождения трепела «Стальное». Оно расположено в Хотимском районе Могилевской области. Цеолит данного месторождения содержит повышенное количество оксидов кальция и магния. Ранее широкого распространения этот минерал не получил по причине своего полимерного состава.

Для изучения динамики загрязнения почв и продукции (зеленой массы) в процессе применения известковых мелиорантов и проверки адекватности принятого решения о возврате послужил участок ОАО «Моисеевка» Октябрьского района (16,65 га), возвращенный в 2023 г. Исходные агрохимические и радиологические показатели почвы: кислотность почвы (рН) – 5,45, гумус – 3,88 %, содержание подвижных форм фосфора – 314 мг/кг, калия – 78 мг/кг, МАЭД на высоте 1 м – 0,08 мкЗв/ч,  $^{137}\text{Cs}$  – 0,5 Ки/км<sup>2</sup>,  $^{90}\text{Sr}$  – 0,08 Ки/км<sup>2</sup>,  $^{238}\text{Pu}$  – менее 0,03 Бк/кг,  $^{239,240}\text{Pu}$  – 0,12±0,03 Бк/кг. Код почвы расшифрован по данным почвенной карты как аллювиальные дерново-глееватые песчаные почвы на связнопесчаном аллювии.

В полевых условиях на делянках размером 3×4 м на трех вариантах в двукратной повторности были внесены:

1 вариант –  $\text{N}_{60}\text{P}_{40}\text{K}_{80}$  (без мелиорантов);

2 вариант – трепел (доза 10,7 т/га, или 1,071 кг/м<sup>2</sup>) на фоне  $\text{N}_{60}\text{P}_{40}\text{K}_{80}$ ;

3 вариант – доломитовая мука (4,1 т/га, или 0,412 кг/м<sup>2</sup>) на фоне  $\text{N}_{60}\text{P}_{40}\text{K}_{80}$ .

Внесение известковых материалов проведено в ноябре по существующим посевам многолетних трав естественных сенокосов. Физическая доза и общее количество мелиорантов определялась по формуле 1 [3]:

$$D_{\text{ф}} = D_0 \times 10^6 : M : (100 - B) : (A1 + 0,7 \times A2 + 0,5 \times A3 + 0,2 \times A4), \quad (1)$$

где  $D_0$  – расчетная доза  $\text{CaCO}_3$  на картограмме кислотности, т/га;  $D_{\text{ф}}$  – физический вес известкового материала, т/га;  $M$  – содержание кальция и магния в пересчете на  $\text{CaCO}_3$ , % на сухое вещество;

В – влажность, %; А1, А2, А3, А4 – доля частиц менее 1 мм, 1–3 мм, 3–5 мм, более 5 мм соответственно, %; 0,7, 0,5, 0,2 – нейтрализующая способность частиц в сравнении с размером частиц менее 1 мм.

Содержание кальция и магния в трепеле учтено из расчета 37 %, доломитовой муке 96 %. Влажность мелиорантов – 4 %, состав фракций до 1 мм, 1–3 мм, 3–5 мм – в пропорции 80:10:10.

Отбор точечных почвенных проб осуществлен буром Малькова методом конверта 5 уколов по каждой диагонали. Из 10 точечных проб сформирован отдельный почвенный образец на делянку.

Отбор вегетативных образцов произведен на учетных площадках 1×1 м, выделенных случайно при помощи деревянной рамки. Учет выхода продукции с 1 га произведен весовым методом в полевых условиях. Время отбора растительных проб соответствовало периодам укосам многолетних злаковых трав.

Удельные активности объединенных почвенных образцов и зеленой массы многолетних трав по <sup>137</sup>Cs исследованы в лабораторных условиях на гамма-бета спектрометре МКС-АТ1315. Данные об удельной активности <sup>90</sup>Sr не переучточнялись в связи с дороговизной исследования.

Для количественной оценки поступления <sup>137</sup>Cs и <sup>90</sup>Sr из почвы в растения рассчитывался коэффициент перехода (Кп) по формуле 2 [9]:

$$K_{п} = \frac{УА}{П}, \dots \dots \dots (2)$$

где УА – удельная активность товарной продукции (при стандартной влажности), Бк/кг, П – плотность радиоактивного загрязнения почвы, кБк/м<sup>2</sup>.

Расчет плотности загрязнения почвы радионуклидом по формуле 3 [9]:

$$П = А \cdot \rho \cdot h, \quad (3)$$

где П – запас радионуклида в слое почвы, кБк/м<sup>2</sup>; А – удельная активность почвы, Бк/кг; ρ – плотность сложения почвы, т/м<sup>3</sup>; h – толщина слоя (0,2 м).

Основанием для возврата участка ОАО «Моисеевка» Октябрьского района Гомельской области в оборот стали результаты эколого-экономической оценки, выполненные авторами статьи в 2023 г.

По данным обследования Гомельской ОПИСХ (2022 г.) плотность загрязнения <sup>137</sup>Cs почв элементарных участков находится на уровне от 0,4–0,5 Ки/км<sup>2</sup>, <sup>90</sup>Sr – 0,06–0,08 Ки/км<sup>2</sup>. По прогнозу удельная активность <sup>137</sup>Cs в зелёной массе многолетних трав не превысит 15 Бк/кг, <sup>90</sup>Sr – 11 Бк/кг, при нормативных значениях 165 Бк/кг и 37 Бк/кг соответственно.

Допустимый уровень содержания <sup>137</sup>Cs в сене, используемом на корм скоту для производства молока цельного, составляет 1300 Бк/кг. Прогнозное максимальное значение удельной активности <sup>137</sup>Cs в сене из многолетних трав, выращенных на заявленных участках, составляет 74 Бк/кг.

Допустимый уровень содержания <sup>90</sup>Sr в сене составляет 260 Бк/кг. Прогнозное максимальное значение удельной активности <sup>90</sup>Sr в сене из многолетних трав, выращенных на заявленных участках, составляет 53 Бк/кг.

Согласно проведенной радиологической оценке, все элементарные участки пригодны для производства зелёной массы и сена многолетних трав, используемых на корм дойному стаду при получении молока цельного и мясному скоту на всех стадиях откорма.

На основании данных об удаленности участка и его техническом состоянии выполнена экспресс-оценка срока окупаемости мероприятий по освоению участка прогнозируемой прибылью от производства травяных кормов. Согласно ней при бонитете почв 15 баллов (плодородие естественных лугов Октябрьского района), удаленности от материально-технической базы около 20 км срок окупаемости затрат на первичное освоение участка без явных признаков технической неустроенности составит:

- при луговом использовании земель (зеленая масса, сено сенаж естественных лугов) – 2,4 года;
- при создании улучшенных кормовых угодий (зеленая масса, сено сенаж улучшенных лугов) – 2,9 года.

После возврата участка ОАО «Моисеевка» Октябрьского района Гомельской области площадью 16,65 га в сельскохозяйственный оборот на экспериментальных делянках в ноябре было проведено внесение мелиорантов и фосфорных удобрений (суперфосфат аммонизированный BelFert марка 9–30). В начале вегетации многолетних луговых трав – внесение калия хлористого гранулированного марка А, азотная подкормка (карбамидом 42N) – в начале мая.

Результаты измерений активности почвы и зеленой массы многолетних злаковых трав, отобранные на учетных площадках, и расчетные коэффициенты пропорциональности (перехода радионуклидов из почвы в продукцию) сведены в таблицу (см. далее).

**Радиологические показатели почвы и кормового сырья (зеленая масса многолетних злаковых трав)**

Варианты удобрений	Удельная активность $^{137}\text{Cs}$			Удельная активность $^{90}\text{Sr}$		
	почва, Бк/кг	многолетние травы, Бк/кг	Коэф. перехода (Кп), Бк/кг: кБк/м <sup>2</sup>	почва, Бк/кг	многолетние травы, Бк/кг	Коэф. перехода (Кп), Бк/кг: кБк/м <sup>2</sup>
1 укос (май) – выход продукции 79 ц/га						
N <sub>60</sub> P <sub>40</sub> K <sub>80</sub> (контроль)	1740	23,17	0,41	281	14,62	1,60
N <sub>60</sub> P <sub>40</sub> K <sub>80</sub> + трепел 10,7 т/га	1486	18,90	0,35	214	10,98	1,22
N <sub>60</sub> P <sub>40</sub> K <sub>80</sub> + доломитовая мука 4,1 т/га	1570	21,867	0,37	226	11,83	1,29
2 укос (июль) – выход продукции 65 ц/га						
N <sub>60</sub> P <sub>40</sub> K <sub>80</sub>	1740	25,43	0,45	281	14,69	1,60
N <sub>60</sub> P <sub>40</sub> K <sub>80</sub> + трепел 10,7 т/га	1486	20,52	0,38	214	10,80	1,20
N <sub>60</sub> P <sub>40</sub> K <sub>80</sub> + доломитовая мука 4,1 т/га	1570	24,231	0,41	226	11,46	1,25
Средний по двум укосам						
N <sub>60</sub> P <sub>40</sub> K <sub>80</sub>	1740	24,3	0,43	281	14,62	1,6
N <sub>60</sub> P <sub>40</sub> K <sub>80</sub> + трепел 10,7 т/га	1486	19,71	0,365	214	10,89	1,21
N <sub>60</sub> P <sub>40</sub> K <sub>80</sub> + доломитовая мука 4,1 т/га	1570	23,049	0,39	226	11,645	1,27

Анализ радиологических показателей свидетельствует о следующем:

– загрязнение зеленой массы, полученной на контрольном участке, по активности  $^{137}\text{Cs}$  колеблется в диапазоне 23–25 Бк/кг,  $^{90}\text{Sr}$  – 14,6–14,7 Бк/кг, что соответствует критериям его отнесения к категории «использование с незначительными ограничениями» (менее 100 Бк/кг по  $^{137}\text{Cs}$  и менее 50 Бк/кг по  $^{90}\text{Sr}$ ). Это дает возможность скармливания кормов с участка дойным коровам и крупному рогатому скоту на откорме. Следовательно, возврат участка по радиологическим критериям ОАО «Моисеевка» Октябрьского района Гомельской области площадью 16,65 га в сельскохозяйственный оборот был обоснованным;

– коэффициенты перехода радионуклидов в продукцию в вариантах с внесением трепела и доломитовой муки снизились в сравнении с вариантом без их применения. В случае применения трепела месторождения «Стальное» в среднем по двум укосам поступление  $^{137}\text{Cs}$  в растения сократилось в 1,17 раза,  $^{90}\text{Sr}$  – в 1,32 раза. В вариантах с применением доломитовой муки коэффициент перехода  $^{137}\text{Cs}$  в зеленую массу многолетних злаковых трав оказались ниже в 1,10 раза,  $^{90}\text{Sr}$  – в 1,26 раза;

– большее снижение перехода радионуклидов в растения наблюдалось во время первого укоса, когда продуктивность луга была выше в 1,2 раза.

Полученные результаты не противоречат закономерностям, полученным другими авторами.

Так, изучение свойств трепела месторождения «Стальное» в 2009–2010 гг. при плотности загрязнения пахотного слоя почвы  $^{137}\text{Cs}$  – 14,5 Ки/км<sup>2</sup>, содержание гумуса – 1,96 %, рН – 5,60 (РНИУП «Институт радиологии») установило снижение содержания  $^{137}\text{Cs}$  в растениях многолетних злаковых трав [2]:

на дерново-подзолистой супесчаной почве – на 11 % при внесении трепела в дозе 15 т/га без минеральных удобрений, на 37 % – при внесении такой же дозы совместно с минеральными удобрениями в дозах N<sub>60</sub>P<sub>40</sub>K<sub>80</sub>;

на торфяно-болотной почве – на 38% в сравнении с контролем при внесении только трепела в дозе 15 т/га, внесение совместно с N<sub>60</sub>P<sub>40</sub>K<sub>80</sub> привело к снижению показателей на 36 % [2].

На дерново-подзолистой легкосуглинистой почве Могилевской области эффект по снижению перехода радионуклидов в зерна пшеницы яровой и овса в сравнении с доломитовой мукой сопоставим или превосходит его [9]. При этом прибавки урожая превышают аналогичные с использованием доломитовой муки: в звене севооборота пшеница – овес – люпин в варианте с полной дозой трепела – на 31,5 %, с половинной дозой – на 6,5 % [4].

Многолетние опыты, проведенные Центром химизации и сельскохозяйственной радиологии «Брянский», зафиксировали снижение накопления  $^{137}\text{Cs}$  в 1,2–3,4 раза в зависимости от культур и дозы внесения трепела месторождения «Хотынецкое» на фоне NPK [7]. Сорбционные свойства мелиорантов большей степени проявились в 4-й и последующие годы при возделывании овса на зерно, многолетних и однолетних трав на зеленую массу.

## Заклучение

Обобщая полученный опыт применения трепела, можно сказать, что его применение более эффективно на землях, загрязненных  $^{90}\text{Sr}$ , нежели  $^{137}\text{Cs}$ . С точки зрения снижения поступления радионуклидов применение трепела в первый год внесения дает больший защитный эффект. Поэтому его можно рекомендовать для известкования при первичном освоении радиоактивно загрязненных земель. Для достижения более высоких результатов следует обеспечить высокую продуктивность луга путем уходовых мероприятий. Применение трепела наиболее обосновано на дерново-подзолистых супесчаных и песчаных почвах в зернотравяных и травяно-зерновых севооборотах.

Методика эколого-экономической оценки целесообразности возврата радиоактивных земель в сельскохозяйственное пользование подтвердила свою состоятельность на основе радиологических показателей, полученных в реальных производственных условиях.

### ЛИТЕРАТУРА

1. 35 лет после чернобыльской катастрофы: итоги и перспективы преодоления ее последствий: нац. доклад Респ. Беларусь / Департамент по ликвидации последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС Министерства по чрезвычайным ситуациям Респ. Беларусь. – Минск: ИВЦ Минфина, 2020. – 152 с.
2. Агеец, В. Ю. Агрономическая эффективность карбонатных трепелов месторождения «Стальное» / В. Ю. Агеец, М. И. Автушко, Е. Г. Сарасеко, Н. В. Стрельчик // Природные ресурсы (Межведомственный бюллетень). – 2006. – № 4. – С. 32–41.
3. Инструкции о порядке известкования кислых почв сельскохозяйственных земель: утв. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 18 января 2019 г. № 5. / Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, 2007–2026. – URL: <https://mshp.gov.by/ru/protection-ru/view/instruktsija-o-porjadke-izvestkovanija-kislyx-pochv-selskoxozjajstvennyx-zemel-2162/> (дата обращения: 20.12.2025).
4. Лазаревич, С. С. Влияние трепела на урожайность и радиологическое качество продукции сельскохозяйственных культур / С. С. Лазаревич, А. В. Ермоленко, Ю. В. Шипилов, А. А. Мисючик // Вестник БГСХА. – 2011. – №2. – С. 70–75.
5. Мерзлова, О. А. Влияние цеолитсодержащего мелиоранта трепела на биологическую доступность радионуклидов растениям / О. А. Мерзлова, Т. П. Шапшеева, Т. Н. Агеева // Вестник БГСХА. – 2018. – №1. – С. 45–49.
6. Порядок отнесения земель к категории радиационно опасных, исключения земель из этой категории и перевода их в хозяйственное пользование: утв. Совет Министров Респ. Беларусь от 22.10.1992 № 641 (в редакции 02.12.1999 № 1883).
7. Прудников, П. В. Использование агрономических руд и новых комплексных минеральных удобрений на радиоактивно загрязненных почвах / П. В. Прудников. – Брянск: Изд-во ГУП «Клинцовская типография». – 2012. – 296 с.
8. Прудников, П. В. Влияние мелиорантов и минеральных удобрений на агрохимические свойства почвы и урожаи сои / П. В. Прудников, Е. Н. Леянова // Агрэкологические аспекты устойчивого развития АПК: матер. XVII Международной науч. конф., Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2020. – 826 с.
9. Рекомендации по ведению сельскохозяйственного производства на территории радиоактивного загрязнения Республики Беларусь на 2021–2025 годы / Н. Н. Цыбулько [и др.]; Национальная академия наук Беларуси, Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, Институт почвоведения и агрохимии. – Минск: ИВЦ Минфина, 2021. – 142 с.
10. Kumari, S. Zeolites in wastewater treatment: A comprehensive review on scientometric analysis, adsorption mechanisms, and future prospects (англ.) / Sheetal, K., J. Chowdhry, M. Kumar, M. Garg. // Environmental Research. – 2024. – Vol. 260, №11. – P. 119782.

## ИННОВАЦИОННЫЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК: 635.64:631.8:631.544

### СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОЦЕНОК ПАРАМЕТРОВ ЛИНЕЙНОЙ ФУНКЦИИ ПРЯМОУГОЛЬНИКОМ И ЭЛЛИПСОМ В ОМЦН

С. А. ГОНЧАРОВ

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова,  
Рубцовский индустриальный институт,  
г. Рубцовск, Российская Федерация, 658207, e-mail: sgoncharoff@rambler.ru

А. В. ГОНЧАРОВ

ФГБОУ ВО МСХ РФ РГУНХ имени В. И. Вернадского,  
г. Балашиха, Российская Федерация, e-mail: tikva2008@mail.ru

(Поступила в редакцию 05.01.2026)

В статье дана общая постановка задачи оценивания параметров линейных двухпараметрических функций при интервальном задании как входных, так и выходных переменных. Приведен алгоритм расчета параметров линейной функции методом прямоугольника в ОМЦН и эллипса в ОМЦН. Проведен сравнительный анализ оценок параметров линейной двухпараметрической функции. Расчеты проведены по программам «Аппроксимация экспериментальных данных линейной функцией» «ИСМ» и «ИСМ-2».

Методы прямоугольников и эллипсов являются одними из простейших методов интегрирования (запрограммировать их не составляет особого труда). Но эти методы имеют лишь второй порядок точности, в то время как есть методы более высоких порядков.

Показано, что при сравнении двух методов между собой, метод прямоугольников, который относится к методам Гаусса – Кристоффеля, является точнее метода эллипсов, относящегося к методам Ньютона – Котеса. В то же время метод эллипсов может применяться с произвольным шагом, в отличие от метода прямоугольников, который, не применим, например, к функциям, заданным в конечном числе точек.

Алгоритмы методов прямоугольников и эллипсов в ОМЦН (численное интегрирование) используются для аппроксимации площади под графиком функции  $f(x)$  на отрезке  $[a, b]$ , разбивая его на  $n$  части, где для линейной функции  $y=kx+b$  они дают точный результат: метод эллипсов (по сути, замена на прямую) аппроксимирует площадь эллипсом, метод прямоугольников – прямоугольником (левым, правым или средним), а в случае линейной функции оба метода могут давать точное значение интеграла, если правильно выбрать узлы.

**Ключевые слова:** точечная оценка параметров, интервальная оценка параметров, центр неопределенности, интервальное задание переменных, прямоугольник в ОМЦН, эллипс в ОМЦН.

This article presents a general formulation of the problem of estimating the parameters of linear two-parameter functions with interval specification of both input and output variables. An algorithm for calculating the parameters of a linear function using the rectangle method in the OMCN and the ellipse method in the OMCN is presented. A comparative analysis of the parameter estimates for the linear two-parameter function is conducted. The calculations were performed using the "ICM" and "ICM-2" programs for "Approximation of Experimental Data by a Linear Function."

The rectangle and ellipse methods are among the simplest integration methods (they are easy to program). However, these methods have only second-order accuracy, while higher-order methods exist. When comparing the two methods, it was shown that the rectangle method, which is a Gauss-Christoffel method, is more accurate than the ellipse method, which is a Newton-Cotes method. At the same time, the ellipse method can be applied with an arbitrary step size, unlike the rectangle method, which is not applicable, for example, to functions defined at a finite number of points. Rectangle and ellipse method algorithms in GMCN (numerical integration) are used to approximate the area under the graph of a function  $f(x)$  on the interval  $[a, b]$ , dividing it into  $n$  parts, where for a linear function  $y=kx+b$ , they yield an exact result: the ellipse method (essentially a straight line replacement) approximates the area with an ellipse, the rectangle method with a rectangle (left, right, or middle). In the case of a linear function, both methods can yield an exact integral value if the nodes are chosen correctly.

**Key words:** point parameter estimation, interval parameter estimation, center of uncertainty, interval variable assignment, rectangle in GMCN, ellipse in GMCN.

#### Введение

При решении любых прикладных задач часто возникает необходимость точечной и интервальной оценки параметров функции известного вида по полученным экспериментальным данным. Эти данные почти всегда содержат случайные и систематические ошибки. Любые экспериментальные

исследования проводятся с целью установить какие-либо закономерности между входными и выходными измеряемыми переменными. Проведение любого эксперимента связано с использованием измерительных приборов, позволяют измерить входные и выходные переменные в той или иной степени точности. Поэтому ошибка в измерениях может быть как в выходных, так и во входных переменных. При обработке любого эксперимента часто используются эмпирические модели или формулы, которые включают экспериментально неточно измеренные величины. Во многих работах, как правило, неточность учитывается только в выходных переменных. Однако реальная действительность предполагает неточные измерения как выходных, так и входных переменных и соответствующих параметров экспериментальных зависимостей. При точечной оценке параметров экспериментальных зависимостей, при работе с выборками малого объема эти оценки могут значительно отличаться от действительных значений оцениваемого параметра. В этом случае следует пользоваться интервальными оценками, которые позволяют установить точность и надежность оценок. Доверительные интервалы указывают множество возможных значений параметров. Применение методов обработки экспериментальных зависимостей при неточном измерении как выходных, так и входных переменных дает возможность более эффективные и надежные оценки параметров экспериментальных зависимостей, учитывая более полно весь массив получаемой экспериментальной информации. Одним из таких методов обработки экспериментальной информации является метод обобщенного центра неопределенности для оценки параметров линейной функции прямоугольником и эллипсом.

Цель – оценить параметры линейных двухпараметрических функций при интервальном задании как входных, так и выходных переменных и показать алгоритм расчета параметров линейной функции методом прямоугольника и эллипса в ОМЦН.

В рамках интервального подхода для точечной и интервальной оценки параметров экспериментальных зависимостей неопределенность измеряемых входных и выходных переменных задается не числом, а интервалом неопределенности:

$$[a] = [a^-; a^+] = [a : a^- \leq a \leq a^+].$$

Из литературы известно, что базовый принцип интервальной оценки параметров экспериментальных зависимостей можно сформулировать следующим образом: интервал неопределенности результата есть множество всех его возможных значений, получаемых при варьировании переменных и параметров задачи в границах известных интервалов. В частности, если дана функция  $[y] = f([x])$  интервального векторного аргумента  $[x] = \{[x_1], \dots, [x_i], \dots, [x_k]\}$ , то границы  $y^-$ ,  $y^+$  интервала неопределенности значения функции находят как решение двух задач на экстремум:

$$y^- = \min_{x \in [x]} f(x), \quad y^+ = \max_{x \in [x]} f(x).$$

При большом количестве экспериментальной информации множество неопределенности параметров функций экспериментальных зависимостей представляет собой выпуклый многоугольник. Описание множества неопределенности параметров экспериментальных зависимостей в форме многоугольника не всегда является удобным. Построение такого многоугольника неопределенности при большом числе измерений представляет собой достаточно проблематичную задачу. Поэтому при практическом использовании метода центра неопределенности представляет интерес последовательное погружение множества неопределенности параметров экспериментальной линейной функции в простые геометрические фигуры. В качестве таких фигур можно выбрать прямоугольник неопределенности, который используется в классическом интервальном анализе, и эллипс неопределенности.

Если ошибки содержатся как в измерении входной, так и выходной величин, между которыми существует линейная зависимость, то при двух измерениях экспериментальные точки должны удовлетворять системе интервальных уравнений:

$$\begin{aligned} [y_1] &= a + b[x_1], \\ [y_2] &= a + b[x_2]. \end{aligned} \tag{1}$$

Область возможного изменения параметров линейной функции имеет вид неправильного четырехугольника, угловые точки которого, можно определить используя правила интервальной арифметики. Если функция  $y = a + bx$  является возрастающей (т.е. при  $x_1 < x_2$ ,  $y_1 < y_2$ ), то угловые точки четырехугольника неопределенности:

$$A_1 = (a_1, b_1) = \left( \frac{y_1^- x_2^- - y_2^+ x_1^+}{x_2^- - x_1^+}; \frac{y_2^+ - y_1^-}{x_2^- - x_1^+} \right); \quad (2)$$

$$A_2 = (a_2, b_2) = \left( \frac{y_1^- x_2^+ - y_2^- x_1^+}{x_2^+ - x_1^+}; \frac{y_2^- - y_1^-}{x_2^+ - x_1^+} \right); \quad (3)$$

$$A_3 = (a_3, b_3) = \left( \frac{y_1^+ x_2^- - y_2^+ x_1^-}{x_2^- - x_1^-}; \frac{y_2^+ - y_1^+}{x_2^- - x_1^-} \right); \quad (4)$$

$$A_4 = (a_4, b_4) = \left( \frac{y_1^+ x_2^+ - y_2^- x_1^-}{x_2^+ - x_1^-}; \frac{y_2^- - y_1^+}{x_2^+ - x_1^-} \right). \quad (5)$$

Для случая, когда функция является убывающей (т.е. при  $x_1 < x_2$ ,  $y_1 > y_2$ ), угловые точки четырехугольника определяются соотношениями:

$$A_1 = (a_1, b_1) = \left( \frac{y_1^- x_2^- - y_2^- x_1^-}{x_2^- - x_1^-}; \frac{y_2^- - y_1^-}{x_2^- - x_1^-} \right); \quad (2')$$

$$A_2 = (a_2, b_2) = \left( \frac{y_1^- x_2^+ - y_2^+ x_1^-}{x_2^+ - x_1^-}; \frac{y_2^+ - y_1^-}{x_2^+ - x_1^-} \right); \quad (3')$$

$$A_3 = (a_3, b_3) = \left( \frac{y_1^+ x_2^+ - y_2^+ x_1^+}{x_2^+ - x_1^+}; \frac{y_2^+ - y_1^+}{x_2^+ - x_1^+} \right); \quad (4')$$

$$A_4 = (a_4, b_4) = \left( \frac{y_1^+ x_2^- - y_2^- x_1^+}{x_2^- - x_1^+}; \frac{y_2^- - y_1^+}{x_2^- - x_1^+} \right). \quad (5')$$

Для определения центра тяжести четырехугольника неопределенности можно воспользоваться методом наименьших квадратов. Тогда для центра тяжести имеем соотношения:

$$a_0 = \frac{\bar{x}_2 \bar{y}_1 - \bar{x}_1 \bar{y}_2}{\bar{x}_2 - \bar{x}_1}; \quad b_0 = \frac{\bar{y}_2 - \bar{y}_1}{\bar{x}_2 - \bar{x}_1}, \quad (6)$$

где  $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{y}_1, \bar{y}_2$  - средние значения измеряемых входных и выходных переменных.

При поступлении новой информации об изучаемом объекте происходит точечная и интервальная оценка параметров экспериментальной зависимости.

Постановка задач оценивания параметров линейных двухпараметрических функций при интервальном задании как входных, так и выходных переменных можно сформулировать следующим образом.

Пусть получены экспериментальные данные, содержащие интервальные значения переменных  $[\bar{x}_i^-; \bar{x}_i^+], [\bar{y}_i^-; \bar{y}_i^+]$  для  $i \in \overline{1, n}$  и известно, что истинные значения переменных лежат внутри соответствующих интервалов. Таким образом, каждому измеренному интервальному значению  $[y]_i$  соответствует интервальное значение входной величины  $[x]_i$ . Известно, что ошибки измерения как входной, так и выходной переменных не превышают известных величин:

$$|\Delta x| \leq \varepsilon_1; \quad |\Delta y| \leq \varepsilon_2, \quad (7)$$

где  $\Delta x$  – ошибка измерений  $x_i$ ,  $\Delta y$  – ошибка измерений  $y_i$ ,  $\varepsilon_1$  и  $\varepsilon_2$  – верхние границы оценок  $\Delta x$  и  $\Delta y$  соответственно. Наша задача определить точечные и интервальные значения параметра линейной функции вида  $y = a + bx$  при наличии информации об  $x_i, y_i, \Delta x$  и  $\Delta y$  [1, 2, 3].

Согласно принципам интервально-статистического анализа [9, 10] все интервальные точки должны удовлетворять системе интервальных уравнений:

$$[y]_i = [a] + [b] \cdot [x]_i. \quad (8)$$

Система уравнений (2.58) приводит к системе неравенств:

$$y_i^- = \bar{y}_i - \varepsilon_1 \leq y_i \leq \bar{y}_i + \varepsilon_1 = y_i^+ \quad \text{для } i \in \overline{1, n}, \quad (9)$$

где  $\bar{y}_i$  – среднее арифметическое значение измеряемой величины,  $\varepsilon_1$  – верхняя граница ошибки измерения величины  $y_i$ .

Множество решений системы (3) задает на плоскости  $(a, b)$  область возможного изменения параметров  $\Omega$  при заданных интервальных значениях измеряемых величин. Решая систему интервальных уравнений (3), можно показать, что множество  $\Omega$  (множество неопределенности параметров  $(a, b)$ ) имеет вид неправильного многоугольника. Центр тяжести этого многоугольника можно принять за точечные оценки параметров  $a, b$ . При большом числе опытов построение множества  $\Omega$  представляет собой достаточно сложную задачу. Для облегчения работы с многоугольником  $\Omega$  представляет интерес его аппроксимация простыми геометрическими фигурами, в частности прямоугольником и эллипсом. Для аппроксимации множества неопределенности параметров  $\Omega$  прямоугольником запишем систему:

$$[b]_{ij} = \frac{[y]_i - [y]_j}{[x]_i - [x]_j} = \frac{[y_i^- - y_j^+; y_i^+ - y_j^-]}{[x_i^- - x_j^+; x_i^+ - x_j^-]}, \quad i \in \overline{1, n-1}, \quad j \in \overline{2, n}. \quad (10)$$

Используя правила интервальной арифметики, определим

$$b^- \leq b \leq b^+, \quad (11)$$

где

$$b^- = \max_{i,j} b_{ij}^-; \quad b^+ = \min_{i,j} b_{ij}^+, \quad i \in \overline{1, n-1}, \quad j \in \overline{2, n}. \quad (12)$$

и

$$a^- \leq a \leq a^+, \quad (13)$$

где

$$a^- = \max_i a_i^-; \quad a^+ = \min_i a_i^+. \quad (14)$$

Выражения (5) и (8) означают, что прямоугольник  $\Omega_1 = \{(a, b) \in R^2 / a^- \leq a \leq a^+; b^- \leq b \leq b^+\}$  (15)

содержит многоугольник  $\Omega$ .

Для определения точечных оценок параметров  $a, b$  от истинных значений воспользуемся приближенными формулами:

$$\hat{a} = 0.5(a^+ + a^-); \quad \hat{b} = 0.5(b^+ + b^-). \quad (16)$$

Абсолютные отклонения оценок параметров  $a, b$  от истинных значений определяем из соотношений:

$$\varepsilon_a = 0.5(a^+ - a^-); \quad \varepsilon_b = 0.5(b^+ - b^-), \quad (17)$$

а относительные

$$\varepsilon_a^{om} = (100 \cdot \varepsilon_a) / (\min |a^-|, |a^+|), \quad \%, \quad (18)$$

$$\varepsilon_b^{om} = (100 \cdot \varepsilon_b) / (\min |b^-|, |b^+|), \quad \%. \quad (19)$$

Тогда результирующее уравнение прямой с параметрами  $[a], [b]$  и проходящей через все интервальные точки, имеет вид:

$$[y] = [a] + [b] \cdot [x], \quad (20)$$

удобный, для расчета предсказанных значений [1, 10].

Алгоритм погружения множества неопределенности параметров двумерной линейной зависимости в эллипс неопределенности при интервальном задании входных и выходных переменных можно сформулировать следующим образом [4, 7, 10].

При двух измерениях экспериментальные точки должны удовлетворять системе интервальных уравнений:

$$\begin{aligned} [y]_1 &= [a] + b \cdot [x]_1, \\ [y]_2 &= [a] + b \cdot [x]_2. \end{aligned} \quad (21)$$

Область возможного измерения параметров линейной функции имеет вид неправильного четырехугольника, угловые точки которого можно определить, используя правила интервальной арифметики [9, 10–12]. Если функция  $y = a + bx$  является возрастающей, т.е. при  $x_1^+ < x_2^- \Rightarrow y_1^+ < y_2^-$ , то угловые точки четырехугольника неопределенности определяем как

$$\begin{aligned} A_1 &= (a_1, b_1) = \left( \frac{y_1^- x_2^- - y_2^+ x_1^+}{x_2^- - x_1^+}, \frac{y_2^+ - y_1^-}{x_2^- - x_1^+} \right); \\ A_2 &= (a_2, b_2) = \left( \frac{y_1^- x_2^+ - y_2^- x_1^+}{x_2^+ - x_1^+}, \frac{y_2^- - y_1^-}{x_2^+ - x_1^+} \right); \\ A_3 &= (a_3, b_3) = \left( \frac{y_1^+ x_2^- - y_2^+ x_1^-}{x_2^- - x_1^-}, \frac{y_2^+ - y_1^+}{x_2^- - x_1^-} \right); \\ A_4 &= (a_4, b_4) = \left( \frac{y_1^+ x_2^+ - y_2^- x_1^-}{x_2^+ - x_1^-}, \frac{y_2^- - y_1^+}{x_2^+ - x_1^-} \right). \end{aligned} \quad (22)$$

В случае, если функция вида  $y = a + bx$  является убывающей, т.е. при  $x_1^+ < x_2^- \Rightarrow y_1^- > y_2^+$ , то угловые точки четырехугольника неопределенности определяем из соотношений:

$$\begin{aligned} A_1 &= (a_1, b_1) = \left( \frac{y_1^- x_2^- - y_2^- x_1^-}{x_2^- - x_1^-}, \frac{y_2^- - y_1^-}{x_2^- - x_1^-} \right); \\ A_2 &= (a_2, b_2) = \left( \frac{y_1^- x_1^+ - y_2^+ x_1^-}{x_2^+ - x_1^-}, \frac{y_2^+ - y_1^-}{x_2^+ - x_1^-} \right); \\ A_3 &= (a_3, b_3) = \left( \frac{y_1^+ x_2^+ - y_2^+ x_1^+}{x_2^+ - x_1^+}, \frac{y_2^+ - y_1^+}{x_2^+ - x_1^+} \right); \\ A_4 &= (a_4, b_4) = \left( \frac{y_1^+ x_2^+ - y_2^- x_1^+}{x_2^+ - x_1^+}, \frac{y_2^- - y_1^+}{x_2^+ - x_1^+} \right). \end{aligned} \quad (23)$$

Для определения центра тяжести четырехугольника неопределенности можно воспользоваться методом наименьших квадратов. Тогда, для определения координат центра тяжести, имеем соотношения

$$\bar{a}_0 = \frac{x_2 y_1 - x_1 y_2}{x_2 - x_1}; \quad \bar{b}_0 = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}, \quad (24)$$

При поступлении новой информации об изучаемом объекте происходит уточнение параметров эллипса и сокращение его площади. [4, 7, 10].

В качестве примера рассмотрим массив данных, который представлен в табл. 1. Используя данные табл. 1, определим точечные и интервальные оценки параметров прямоугольником в ОМЦН и эллипсом в МЦН.

Таблица 1. Исходные данные числового примера

$i$	1	2	3	4	5
$x$	1.55	2.9	4.35	6.15	8.85
$\mathcal{E}_x$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
$y$	23.2	39.5	56.1	76.5	114.2
$\mathcal{E}_y$	0.5	1	1.5	2	2.5

Так как при  $x_i < x_j \Rightarrow y_i < y_j$ , то для оценки интервальных значений параметра  $b_{ij}$  прямоугольником в МЦН воспользуемся соотношением (3):

$$b_{ij}^- = \frac{y_i^+ - y_j^-}{x_i^- - x_j^+} \leq b_{ij} \leq \frac{y_i^- - y_j^+}{x_i^- - x_j^+} = b_{ij}^+ \quad \text{для } i = \overline{1,4}; \quad j = \overline{2,5}. \quad (25)$$

Тогда интервальная оценка параметра  $b$ , в соответствии с (4):

$$b^- \leq b \leq b^+, \quad (26)$$

где  $b^- = \max_{i,j} b_{ij}^- = b_{15}^- \approx 11.13924$ ;  $b^+ = \min_{i,j} b_{ij}^+ = b_{14}^+ \approx 13.60976$ .

Далее, используя соотношения (2.64) и (2.68), определим значения  $a_i^-$ ,  $a_i^+$ , а затем, в соответствии с (2.70), получим:

$$a^- \leq a \leq a^+, \quad (27)$$

где  $a^- = \max_i a_i^- \approx 2.28208$ ;  $a^+ = \min_i a_i^+ \approx 5.75698$ .

Динамика изменения точечных и интервальных оценок параметров линейной функции представлена в табл. 2.

Таблица 2. Динамика изменения точечных и интервальных оценок параметров линейной функции

$i$	$b^-$	$b^+$	$\hat{b}$	$\varepsilon_b$	$a^-$	$a^+$	$\hat{a}$	$\varepsilon_a$	$S$
2	8.96970	16.95238	12.96069	3.99134	1.31486	4.907	3.11093	1.79607	7.16873
3	9.65625	14.54167	12.09896	2.44271	2.73672	6.15651	4.44662	1.70990	4.17679
4	9.96078	13.60976	11.78527	1.82449	3.25431	6.1136	4.93284	1.67853	3.06246
5	11.13924	13.60976	12.3745	1.23526	2.28208	5.75698	4.019525	1.73745	2.14620

Как видно из табл. 2, с увеличением числа опытов происходит уточнение точечных и интервальных оценок параметров линейной функции и сокращение площади неопределенности параметров.

В соответствии с алгоритмами эллипса в ОМЦН найдем точечные оценки параметров линейной зависимости, а также параметры и площади аппроксимирующих эллипсов. Для расчетов также используем исходные данные из табл. 1.

В табл. 3 приведены зависимости точечных оценок параметров линейной функции и параметров эллипсов неопределенности от объема поступающей экспериментальной информации.

Таблица 3. Зависимость точечных оценок параметров линейной функции и параметров эллипса неопределенности в зависимости объема поступающей экспериментальной информации

$i$	$a$	$b$	$F_i$	$Q_i$	$D_i$	$S$
2	4.19263	12.19251	0.65145	0.71640	0.65235	15.48849
3	3.98554	12.40591	0.01514	0.11638	0.03445	4.66232
4	4.45591	12.11035	0.0024	0.08433	0.01432	1.23983
5	5.14888	11.98370	0.00018	0.01513	0.00167	0.28656

Как видно из табл. 2 и 3, оценки площадей неопределенности параметров зависят от количества экспериментальных точек. Площади как прямоугольников, так и эллипсов уменьшаются с увеличением объема поступающей экспериментальной информации. Необходимо отметить, что площади эллипсов неопределенности меньше площадей соответствующих прямоугольников неопределенности. Результирующие уравнения регрессии:

прямоугольником

$$\hat{y} = 4.019525 + 12.3745x; \quad (28)$$

эллипсом

$$\hat{y} = 5.14888 + 11.9837x; \quad (29)$$

В табл. 4 представлены точечные оценки выходной величины  $\hat{y}$ , вычисленные по результирующим уравнениям связи (22–23).

Таблица 4. Точечные оценки по прямоугольнику и эллипсу в МЦН

$i$	прямоугольник			эллипс		
	$\bar{y}_j$	$\varepsilon_{yi}$	$\varepsilon_y^{om}, \%$	$\bar{y}_j$	$\varepsilon_{yi}$	$\varepsilon_y^{om}, \%$
1	23.2	0	0	23.724	0.524	2.26
2	39.906	0.406	1.03	39.902	0.402	1.02
3	57.849	1.749	3.12	57.28	1.18	2.10
4	80.123	3.623	4.74	78.849	2.349	3.07
5	113.534	-0.666	0.58	111.205	-2.995	2.62

Необходимо отметить, что изменения в размерах областей неопределенности зависят как от объема экспериментальной информации, так и от метода оценки параметров линейной функции. С появлением каждой новой экспериментальной точки (параметры эллипсов) и длин сторон прямоугольников

неопределенности монотонно убывают. Следовательно, каждая новая экспериментальная точка приводит к уточнению параметров  $a$ ,  $b$  линейной функции и уменьшению области неопределенности параметров.

### **Заключение**

Все расчеты были выполнены с использованием программ «ИСМ» и «ИСМ 2» [8, 9]. При поступлении новой информации об изучаемом объекте происходит уточнение параметров эллипса и сокращение его площади, что представляет перспективы для новых направлений исследований [1–14].

### *ЛИТЕРАТУРА*

1. Белов, В. М. Об общей постановке задач оценки параметров аппроксимирующих функций методом центра неопределенности / В. М. Белов, В. В. Евстигнеев, С. А. Гончаров // Вестник Алтайского научного центра Сибирской Академии наук высшей школы. – 2000. – № 3. – С. 31 – 34.
2. Алгоритмы прямоугольника в методе центра неопределенности для оценивания параметров линейных функций / В. М. Белов, С. А. Гончаров, В.И. Пролубников, Ф. Г. Унгер, М. Ф. Лукьянцева. – Томск: Препринт ТНЦ СО РАН, 2001. – 36 с.
3. Выбор аппроксимирующей линейной функции методом центра неопределенности / С. А. Гончаров, В. М. Белов, В. В. Евстигнеев, М. В. Лукьянцева // Измерения, автоматизация и моделирование в промышленности и научных исследованиях: межвуз. сборник. – Бийск, 2001. – С. 10–13.
4. Гончаров, С. А. Оценка области неопределенности параметров линейных функций эллипсом неопределенности / С. А. Гончаров, В. М. Белов, Н. Л. Гончарова // Междунар. научно-практ. конф. «Валихановские чтения - 7». – Кокшетау, 2002. – Т.7. – С. 3–5.
5. Гончаров, С. А. Оценка параметров линейной функции прямоугольником и эллипсом в обобщенном методе центра неопределенности (ОМЦН) / С. А. Гончаров, А. В. Гончаров // Междунар. научно-практ. конф. «Перспективы инновационного развития в агротехнических и энергетических системах». – Балашиха, 2025. – С. 208 – 212.
6. Гончаров, С. А. Оценивание параметров зависимости вязкости глицерина от температуры методом прямоугольника в ОМЦН / С. А. Гончаров, А. В. Гончаров // Междунар. научно-практ. конф. «Перспективы инновационного развития в агротехнических и энергетических системах». – Балашиха, 2024. – С. 240–247.
7. Гончаров, С. А. Оценка параметров линейной функции эллипсом неопределенности / С. А. Гончаров, Е. А. Дудник, С. В. Шарапов // IV Науч.-техн. конф. студентов и аспирантов. – Рубцовск, 2002. – С. 5–9.
8. Аппроксимация экспериментальных данных линейной функцией («ИСМ») / С. А. Гончаров, В. М. Белов, В. В. Смородский, В. В. Евстигнеев // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2001610878 от 24.07.01. – М.: Роспатент.
8. Аппроксимация экспериментальных данных линейной функцией («ИСМ 2») / С. А. Гончаров, В. М. Белов, В. В. Евстигнеев, С. В. Шарапов // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2002611564 от 11.09.02. – М.: Роспатент.
10. Хомутов, О. И. Оценивание параметров эмпирических зависимостей обобщенным методом центра неопределенности: монография / О. И. Хомутов, В. М. Белов, С. А. Гончаров // АлтГТУ им. И. И. Ползунова. – Барнаул.: Изд-во АлтГТУ, 2006. – 137 с.
11. Шокин, Ю. И. Интервальный анализ / Ю. И. Шокин. – Новосибирск: Наука, 1981. – 112 с.
12. Кузнецов, В. П. Интервально-статистические модели / В. П. Кузнецов. – М.: Радио и связь, 1989. – 454 с.
13. Ушаков, О. В. «Цифровые технологии» в АПК / О. В. Ушаков, Е. Н. Закабунина, А. В. Гончаров // Междунар. научно-практ. конф. «Современные проблемы энергоэффективности агроинженерных исследований в условиях цифровой трансформации». – Балашиха, 2024. – С. 178–182.
14. Визуализация как инструмент бережливого производства и средство повышения производительности труда / О. В. Ушаков, Е. Е. Можаяев, Е. Н. Закабунина, А. В. Гончаров // Вестн. Екатеринбургского ин-та. – 2023. – №3 (63). – С. 54–60.

*Научно-методический журнал «Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии» публикует результаты научных исследований сотрудников УО «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия», других научных учреждений и организаций в области аграрной экономики, земледелия, селекции, растениеводства, мелиорации и землеустройства, механизации и сельскохозяйственного машиностроения, инновационных образовательных технологий.*

## ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

Научная статья, написанная на белорусском, русском или английском языках, должна являться оригинальным произведением, неопубликованным ранее в других изданиях.

Статья предоставляется в редакцию в распечатанном виде на бумаге формата А4 и в электронном варианте отдельным файлом на флеш-карте, либо высылается на электронный адрес редакции: vestnik-bгаа@baa.by.

**К статье должны быть приложены:** рецензия-рекомендация специалиста в соответствующей области, кандидата или доктора наук; сопроводительное письмо дирекции или ректората соответствующего учреждения (организации); **контактная информация:** фамилия, имя, отчество автора, занимаемая должность, ученая степень и звание, полное наименование учреждения (организации) с указанием города или страны, номер телефона и адреса (почтовый и электронный). Если статья написана коллективом авторов, сведения должны подаваться по каждому из них отдельно.

**Требования, предъявляемые к оформлению статей:** объем 14000–16000 печатных знаков (считая пробелы, знаки препинания, цифры и т.п., или 4–5 страниц воспроизведенного авторского иллюстрационного материала); набор в текстовом редакторе **Microsoft Word**, шрифт **Times New Roman**, размер шрифта 11, через 1 интервал, абзацный отступ 0,5 см; список литературы, аннотация, таблицы, а также индексы в формулах набираются 9 шрифтом; поля: верхнее, левое и правое – 20 мм, нижнее – 25 мм, страницы не должны быть пронумерованы: номера страниц проставляются карандашом на оборотной стороне листа; ориентация страниц только книжная; использование автоматических концевых и обычных сносок в статье не допускается; **таблицы** набираются непосредственно в программе **Microsoft Word** и нумеруются последовательно, ширина таблиц – 100 %; **формулы** составляются в редакторе формул **MathType** (собственным редактором формул **Microsoft Office 2007** и выше пользоваться нельзя, т. к. в редакционно-издательском процессе он не поддерживается); греческие буквы необходимо набирать прямо, латинские – курсивом; **рисунки** вставляются в текст в формате **JPEG** или **TIFF** (разрешение 300–600 dpi, формат не более 100x150 мм); **список литературы** должен быть оформлен в соответствии с действующими требованиями Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь; ссылки на цитируемую в статье литературу нумеруются в порядке цитирования, порядковые номера ссылок пишутся внутри квадратных скобок с указанием страницы (например, [1, с. 125], [2]).

Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

**Структура статьи:** индекс по Универсальной десятичной классификации (УДК);

**название** должно отражать основную идею выполненных исследований, быть по возможности кратким; **инициалы и фамилия автора (авторов); аннотация** (200–250 слов) должна ясно излагать содержание статьи и быть пригодной для опубликования в аннотациях к журналам отдельно от статьи; **ключевые слова** (рекомендуемое количество – 5–7); **введение** должно указывать на нерешенные части научной проблемы, которой посвящена статья, сформулировать ее цель (содержание введения должно быть понятным также и неспециалистам в исследуемой области); **анализ источников**, используемых при подготовке научной статьи, должен свидетельствовать о достаточно глубоком знании автором (авторами) научных достижений в избранной области, автору (авторам) необходимо выделить новизну и свой вклад в решение научной проблемы, следует при этом ссылаться на оригинальные публикации последних лет, включая и зарубежные; **а также учитывать опыт ученых БГСХА, что должно быть отражено при оформлении пристатейного списка литературы;** здесь же указывается цель исследования; **основная часть** статьи должна содержать описание методики, аппаратуры, объектов исследования и подробно освещать содержание исследований, проведенных автором (авторами), полученные результаты должны быть проанализированы с точки зрения их достоверности и научной новизны и сопоставлены с соответствующими известными данными; **заключение** должно в сжатом виде показать основные полученные результаты с указанием их научной новизны и ценности, а также возможного применения с указанием при необходимости границ этого применения.

В конце статьи автору (авторам) необходимо поставить дату и подпись.

*Редколлегия оставляет за собой право отклонять статьи, не соответствующие профилю и требованиям журнала, содержащие устаревшие (5–7-летней давности) результаты исследований, однолетние данные и оформленные не по правилам.*

*Статьи аспирантов, докторантов и соискателей последнего года обучения публикуются вне очереди при условии их полного соответствия данным требованиям. Единоличные статьи аспирантов, докторантов и соискателей предоставляются с подписью научного руководителя.*

*Редакционная коллегия журнала осуществляет дополнительное рецензирование поступающих рукописей статей (двойное слепое рецензирование: автор не знает рецензента, рецензент не знает автора). Возвращение статьи автору на доработку не означает, что она принята к печати, переработанный вариант снова рассматривается редколлекцией.*

*Датой поступления считается день получения редакцией окончательного варианта статьи. Редакция может принять решение о публикации статьи без рецензирования, если качество представленного исследования дает достаточно оснований для такой оценки. Публикация статей в журнале бесплатная.*

*Ответственность за точность представленных материалов несут авторы и рецензенты, за направление в редакцию уже ранее опубликованных статей или статей, принятых к печати другими изданиями, – авторы.*

*Подвая статью в редакцию журнала, автор подтверждает, что редакции передается бессрочное право на оформление, издание, передачу журнала с опубликованным материалом автора для целей реферирования статей из него в любых Базах данных, распространение журнала/авторских материалов в печатных и электронных изданиях, включая размещение на выбранных, либо созданных редакцией сайтах в сети интернет, в целях доступа к публикации любого заинтересованного лица из любого места и в любое время, перевод статьи на любые языки, издание оригинала и переводов в любом виде и распространение по территории всего мира, в том числе по подписке.*

*Статьи, не отвечающие вышеперечисленным требованиям, редакцией не рассматриваются (без дополнительного информирования автора).*

*Редакция оставляет за собой право сокращать текст и вносить редакционную правку.*

## Редакционный совет

**Великанов В. В.**, кандидат ветеринарных наук, доцент, ректор учреждения образования «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия» (Беларусь).

**Папаскири Т. В.**, доктор экономических наук, кандидат сельскохозяйственных наук, профессор, врио ректора Государственного университета по землеустройству (Россия).

**Казарян Э. С.**, доктор экономических наук, профессор, президент Центра аграрной науки, образования и инноваций (Армения).

**Титова В. И.**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой агрохимии и агроэкологии биоэкологического факультета Нижегородского государственного агротехнологического университета (Россия).

**Адилов М. М.**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры овощеводства и организации тепличного хозяйства Ташкентского государственного аграрного университета (Узбекистан).

**Завалин А. А.**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик Российской академии наук, академик-секретарь отделения сельскохозяйственных наук РАН (Россия).

**Гончаров А. В.**, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, профессор кафедры экологии и биоресурсов ФГБОУ ВО Министерства сельского хозяйства Российской Федерации «Российский государственный университет народного хозяйства имени В. И. Вернадского».

## Редакционная коллегия

**Главный редактор Великанов В. В.**, кандидат ветеринарных наук, доцент, ректор учреждения образования «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия».

**Зам. главного редактора Колмыков А. В.**, доктор экономических наук, доцент, первый проректор.

## Члены редколлегии

**Астахов В. С.**, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры эксплуатации машинно-тракторного парка.

**Буць В. И.**, доктор экономических наук, доцент, профессор кафедры математического моделирования экономических систем агропромышленного комплекса.

**Бушуева В. И.**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры селекции и биотехнологии растений.

**Дубежинский Е. В.**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий межвузовской научно-исследовательской лабораторией мониторинга и управления качеством высшего аграрного образования.

**Иванистов А. Н.**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, начальник научно-исследовательской части.

**Желязко В. И.**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры мелиорации и водного хозяйства.

**Карташевич А. Н.**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой тракторов, автомобилей и машин для природообустройства.

**Ленькова Р. К.**, доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры математического моделирования экономических систем агропромышленного комплекса.

**Лихацевич А. П.**, доктор технических наук, профессор, член-корреспондент НАН Беларуси, главный научный сотрудник РУНИП «Институт мелиорации НАН Беларуси».

**Персикова Т. Ф.**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры агрохимии и почвоведения.

**Саскевич П. А.**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры защиты растений.

**Тибец Ю. Л.**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, проректор по научной работе.

**Шелюто Б. В.**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры кормопроизводства и хранения продукции растениеводства.

**Ведущий редактор Савчиц Е. П.**

**Редактор технической Серякова Т. В.**

**Английский перевод Щербов А. В.**

*Подписные индексы: 75037 – индивидуальный, 750372 – ведомственный.*

*Подписку можно оформить в любом отделении связи*

**Адрес редакции:**

213407, Республика Беларусь, Могилевская область, г. Горки,  
ул. Мичурина, 5, корпус № 9, аудитория 528. Тел. (8-02233) 7-96-99  
e-mail: vestnik-bгаа@baa.by

© **Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 2026**

*Подписано в печать 10.03.2026 Дата выхода 11.03.2026 Формат 60/84<sup>1/8</sup>*

*Усл. печ. л. 20,46 Уч.-изд. л. 17,15 Заказ Тираж 50 экз.*

**Отпечатано с оригинал-макета в отделении ризографии и художественно-оформительских работ  
центра научно-методического обеспечения учебного процесса УО БГСХА**

*213407, Могилевская область, г. Горки, ул. Мичурина, 5*