

ВЕСТНИК

БЕЛОРУССКОЙ ГОСУДАРСТВЕННОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ АКАДЕМИИ

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

2025 № 4

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

- И. В. Журова, Е. Н. Клипперт.** Организационно-методические положения начисления амортизации по продуктивным животным основного стада крупного рогатого скота 5
- В. В. Липницкая, А. В. Чирич.** Организационно-экономический механизм повышения эффективности выращивания и переработки семян льна 8
- Н. А. Лопатин.** Сущность бизнес-процессов в сельском хозяйстве 14

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ, СЕЛЕКЦИЯ, РАСТЕНИЕВОДСТВО

- В. В. Скорина, Дэн Жуцзе.** Оценка интродуцированных сортов дайкона по параметрам адаптивной способности и среды как фона для отбора 19
- А. А. Блохин, Т. В. Сачивко.** Эффективность способов размножения лаванды узколистной .. 25
- Е. В. Иванова, Е. Л. Андроник.** Разработка модели сорта льна масличного, адаптированной к условиям Республики Беларусь 31
- В. Ю. Лагоненко.** Характеристика осмотолерантности, эпифитной приспособленности и вирулентных свойств штаммов *Pseudomonas sp* 36
- М. Е. Рулинская, В. В. Васеха, Ж. В. Шибут.** Хозяйственная и экономическая эффективность проведения прореживания завязи на сортах яблони со смешанным типом плодоношения... 42
- Чжао Сюэпин, Б. В. Шелюто.** Анализ минеральных элементов в сальфии пронзеннолистной первого года жизни 49
- Н. М. Белоусов.** Критический период вредоносности сорных растений в посевах моркови столовой..... 55

МЕХАНИЗАЦИЯ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

- А. Н. Каргашевич, П. Ю. Малышкин.** Газовое оборудование для автотракторной техники.. 60

Чжан Сяньлэй, С. В. Курзенков. Очистка и селективная сортировка зерна, как ключевые операции производства семенного материала в Китае	67
Конг Цзяли, Лян Эньцян, В. С. Астахов, Г. О. Иванчиков. Глубокое исследование аэродинамической оптимизации горизонтального распределителя для повышения точности посева кукурузы	72
И. С. Крук, А. А. Анищенко, О. В. Гордеенко, В. И. Сорока. Особенности проектирования конструкций ветрозащитных устройств факелов распыла рабочих растворов пестицидов к полевым опрыскивателям	78
М. В. Цайц, И. А. Гращенко, И. И. Сергеева, Е. Л. Ионас, И. А. Савченко. Предпосылки исследования свойств ворса барабана роторно-бильного аппарата при уборке льна	85
Лян Эньцян, Конг Цзяли, В. С. Астахов, Г. О. Иванчиков. Исследование состояния и перспектив развития вакуумных устройств точного посева кукурузы	91
Цзюньянь Лу, С. В. Курзенков. Перспективы применения микроволновой предпосевной обработки зернобобовых культур и анализ ее параметров	96
В. С. Астахов, В. А. Левчук, Г. О. Иванчиков. Научно-методический обзор технологий отбора почвенных проб для повышения эффективности дифференцированного внесения удобрений в условиях Беларуси	101
Д. А. Михеев, Чжан Юн. Исследование математической модели распыления жидкости центробежным дисковым распылителем	106
А. В. Ленский, А. А. Жешко. К вопросу разработки методики сравнительной оценки мероприятий по защите кукурузы от насекомых-вредителей при помощи агродронов и наземных опрыскивателей	114
Д. А. Михеев, Чжан Юн. Определение физико-механических свойств семян кукурузы Denghai 618	124

МЕЛИОРАЦИЯ И ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВО

А. В. Колмыков, А. Н. Авдеев. Оценка количественного изменения площади сельскохозяйственных земель Минской области и основные направления повышения эффективности их использования	131
Д. А. Дрозд, А. В. Строчкий, Г. И. Выберанец, В. С. Гардеева. Влияние различных режимов орошения на результаты кадастровой оценки сельскохозяйственных земель	138

СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ

Т. Ф. Персикова, М. В. Царёва, М. Л. Радкевич, С. К. Исаева, А. А. Шостак. Сквозь призму времени: роль Д. Н. Прянишникова в развитии научных исследований и агрохимического образования в Белорусской государственной сельскохозяйственной академии	144
--	-----

ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЙ КРУГОЗОР

Ф. В. Зиновьев, И. Ф. Зиновьев. Подходы к оценке деятельности кафедры	152
--	-----

BULLETIN

OF THE BELARUSSIAN STATE AGRICULTURAL ACADEMY

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

2025 № 4

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

- I. V. Zhurova, E. N. Klippert.** Organizational and methodological provisions for accrual depreciation of productive animals of the main herd of cattle 5
- V. V. Lipnitskaya, A. V. Chirich.** An organizational and economic mechanism for increasing the efficiency of flaxseed cultivation and processing..... 8
- N. A. Lopatin.** The essence of business processes in agriculture 14

FARMING AND PLANT-GROWING

- V. V. Skorina, Den Rujie.** Evaluation of introduced daikon varieties by adaptive capacity parameters and the environment as a selection background 19
- A. A. Blokhin, T. V. Sachivko.** Effectiveness of lavender propagation methods..... 25
- E. V. Ivanova, E. L. Andronik.** Development of an oil flax variety model adapted to the conditions of the Republic of Belarus..... 31
- V. Yu. Lagonenko.** Characteristics of osmotolerance, epiphytic adaptation, and virulent properties of *Pseudomonas sp* strains..... 36
- M. E. Rulinskaya, V. V. Vasekha, Z. V. Shibut.** Economic efficiency of ovary thinning in apple varieties with mixed fruit-bearing types 42
- Zhao Xueping, B.V. Sheluto.** Mineral analysis of *silvia perfolia* in the first year of life..... 49
- N. M. Belousov.** Critical period for weed injury in carrot crops 55

MECHANIZATION AND POWER ENGINEERING

- A. N. Kartashevich, P. Yu. Malyshkin.** Gas equipment for automotive and tractor equipment 60

Zhang Xianlei, S. V. Kurzenkov. Grain cleaning and selective sorting as key operations in seed production in China	67
Cong Jiali, Liang enqian, V. S. Astakhov, G. O. Ivanchikov. An in-depth study of aerodynamic optimization of a horizontal distributor to improve the accuracy of corn sowing.....	72
I. S. Kruk, A. A. Anishchenko, O. V. Gordeenko, V. I. Soroka. Design features of windshield devices for spray torches for pesticide working solutions for field sprayers.....	78
M. V. Tsayts, I. A. Grashchenko, I. I. Sergeeva, E. L. Ionas, I. A. Savchenko. Background to re-searching the properties of rotor beating machine drum pile in flax harvesting	85
Liang Enqian, Kong Jiali, V. S. Astakhov, G. O. Ivanchikov. A study of the status and develop-ment prospects of vacuum precision seeding devices for corn.....	91
Lyu Junyan, S. V. Kurzenkov. Prospects for the use of microwave pre-sowing treatment of grain leguminous crops and analysis of its parameters.....	96
V. S. Astakhov, V. A. Levchuk, G. O. Ivanchikov. A scientific and methodological review of soil sampling technologies to improve the efficiency of various fertilizer application in Belarus	101
D. A. Mikheev, Zhang Yun. Study of a mathematical model of liquid spraying with a centrifugal disc atomizer.....	106
A. V. Lensky, A. A. Zheshko. On the development of a method for the comparative evaluation of corn protection measures from insect pests using agrodrones and ground sprayers	114
D. A. Mikheev, Zhang Yun. Determining the physical and mechanical properties of Denghai 618 corn seeds	124

MELIORATION AND LAND USE PLANNING

A. V. Kolmykov, A. N. Avdeev. Assessment of quantitative change in agricultural land area in Minsk region and main directions for improving the efficiency of its use.....	131
D. A. Drozd, A. V. Strotsky, G. I. Vyberanets, V. S. Gardeeva. The impact of various irrigation regimes on the results of cadastral valuation of agricultural lands.....	138

PAGES OF HISTORY

T. F. Persikova, M. V. Tsareva, M. L. Radkevich, S. K. Isaeva, A. A. Shostak. Through the prism of time: D. N. Pryanishnikov's role in the development of scientific research and agrochemical education at the Belarusian state agricultural academy	144
--	-----

PROFESSIONAL OUTLOOK

F. V. Zinoviev, I. F. Zinoviev. Approaches to evaluating department performance	152
--	-----

АГРАРНАЯ ЭКОНОМИКА

УДК 657.372.3:636.22/.28

ОРГАНИЗАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ НАЧИСЛЕНИЯ АМОРТИЗАЦИИ ПО ПРОДУКТИВНЫМ ЖИВОТНЫМ ОСНОВНОГО СТАДА КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА

И. В. ЖУРОВА, Е. Н. КЛИППЕРТ

УО «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции
и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия»,
г. Горки, Республика Беларусь, 213407, e-mail: 01021871@mail.ru

(Поступила в редакцию 03.10.2025)

Животноводство является одной из важнейших отраслей сельского хозяйства Республики Беларусь, которая характеризуется высокой технологичностью и быстрыми темпами развития. В то же время принятие эффективных решений по управлению этой отраслью базируется на данных бухгалтерского учета. С точки зрения экономики, особым объектом учета в сельском хозяйстве являются продуктивные животные основного стада. Это обусловлено тем, что животные основного стада имеют ряд специфических характеристик, которые следует принять во внимание бухгалтеру. Особенностью является то, что, с одной стороны, животные основного стада являются основными средствами организации, т.е. средством труда, с другой стороны, животные проходят биологический цикл (от рождения до старения), в течение которого их полезные свойства не всегда постоянны (например, болезнь), и в конце срока их использования они нуждаются в замене. Для постепенного отнесения стоимости основных средств на получаемую от них продукцию в бухгалтерском учете предусмотрены амортизационные отчисления. Однако в соответствии с действующим законодательством сельскохозяйственные организации вправе предусмотреть в учетной политике возможность не начислять амортизацию по продуктивным животным основного стада. Таким правом пользуется подавляющее большинство предприятий. В статье рассмотрены актуальные вопросы начисления амортизации по продуктивным животным основного молочного стада крупного рогатого скота для рационального распределения затрат между двумя видами продукции: молоком и приплодом. Добиться перераспределения затрат предлагается за счёт начисления амортизации по основному молочному стаду крупного рогатого скота, что позволит учесть при оценке результатов деятельности отрасли соответствие фактического срока продуктивного использования нормативному.

Ключевые слова: начисление амортизации, продуктивный скот, биологические активы, амортизируемая стоимость, учетная политика.

Animal husbandry is one of the most important sectors of agriculture in the Republic of Belarus, characterized by high technology and rapid development. At the same time, effective management decisions in this sector are based on accounting data. From an economic perspective, productive animals of the main herd are a special accounting object in agriculture. This is due to the fact that animals of the main herd have a number of specific characteristics that accountants should take into account. The peculiarity is that, on the one hand, the animals of the main herd are the main means of the organization, i.e. the means of labor, on the other hand, the animals go through a biological cycle (from birth to aging), during which their useful properties are not always constant (for example, illness), and at the end of their useful life they need to be replaced. To gradually allocate the cost of fixed assets to the products obtained from them, depreciation charges are provided in accounting. However, in accordance with current legislation, agricultural organizations have the right to include in their accounting policy the option of not accruing depreciation on productive animals of the main herd. The vast majority of enterprises enjoy this right. This article examines current issues of accruing depreciation on productive animals of the main dairy herd of cattle for the rational allocation of costs between two types of output: milk and offspring. It is proposed to achieve cost redistribution by accruing depreciation on the main dairy herd of cattle, which will allow for the compliance of the actual productive life with the standard when assessing the industry's performance.

Key words: depreciation accrual, productive livestock, biological assets, depreciable cost, accounting policy.

Введение

Животные, как неотъемлемая часть сельскохозяйственного производства, в настоящее время рассматриваются в качестве биологического актива. Животные сельскохозяйственного назначения подразделяются на две большие группы: животные основного стада и животные на выращивании и откорме. В зависимости от того, к какой группе относятся животные, отражение их в учете и отчетности, включая порядок их оценки, имеет существенные отличия.

Продуктивные животные основного стада представляют собой особую группу активов. Это связано с тем, что животные основного стада имеют ряд специфических характеристик, которые следует принять

во внимание бухгалтеру. Особенностью является то, что, с одной стороны, животные основного стада являются основными средствами организации, т.е. средством труда, с другой стороны, животные проходят биологический цикл (от рождения до старения), в течение которого их полезные свойства не всегда постоянны (например, болезнь), и в конце срока их использования они нуждаются в замене.

Научное исследование базируется на научных трудах отечественных и зарубежных ученых в области бухгалтерского управленческого учета в организациях АПК, нормативно-правовых актах по учету основных средств, начислению по ним амортизации [1–9]. В ходе исследования применялись методы: монографический, системного и сравнительного анализа, экспертных оценок.

Целью исследования стало исследование организационно-методических положений начисления амортизации по продуктивным животным основного стада крупного рогатого скота.

Основная часть

В настоящее время перед сельскохозяйственными организациями стоит важная проблема, связанная с тем, что в большинстве хозяйств реализация молока является стабильно прибыльной, а живой массы скота – убыточной. Таким образом, для поддержания на достаточном уровне показателей эффективности деятельности отрасли животноводства, основное внимание со стороны руководства предприятий и специалистов отводится разработке мероприятий, направленных на увеличение рентабельности молока, а не на повышение интенсивности выращивания молодняка на мясо, несмотря на достаточно благоприятную конъюнктуру на рынке говядины и племенного молодняка.

Однако следует отметить, что убытки, получаемые от реализации животных, возникают не в результате его неэффективного производства, но, в основном, вследствие несовершенства сложившейся практики списания стоимости продуктивных животных основного стада в течение срока их эксплуатации.

В Республике Беларусь порядок начисления амортизации по основным средствам регулируется Инструкцией о порядке начисления амортизации основных средств и нематериальных активов № 37/18/6 от 27.02.2009 (далее – Инструкция 37/18/6) [3]. В соответствии с ч. 6 ст. 13 гл. 2 Инструкции 37/18/6 организации, в том числе организации, имеющие филиалы или иные обособленные подразделения, осуществляющие предпринимательскую деятельность по производству сельскохозяйственной продукции, и индивидуальные предприниматели, осуществляющие производство сельскохозяйственной продукции, вправе не включать в состав амортизируемых основных средств для начисления амортизации животных основного стада (кроме рабочего скота), что должно быть оговорено в положении об учетной политике организации.

Анализ положений учетной политики сельскохозяйственных организаций Горецкого района показал, что все исследуемые предприятия используют в своей деятельности предоставленное им право и амортизацию по основному продуктивному стаду крупного рогатого скота не начисляют. Такая тенденция прослеживается и в других районах Республики Беларусь.

При сложившейся системе учета затраты на молодняк, понесенные сельскохозяйственными организациями до перевода его в основное стадо, списываются на себестоимость животных в момент их реализации после выбраковки. Таким образом, возможность не производить начисление амортизации по животным основного стада крупного рогатого скота целесообразна только в том случае, если выручка от реализации выбракованных животных и цена приплода восполняют первоначальную стоимость основного средства.

В настоящее время принцип покрытия стоимости животных основного стада выручкой от их реализации в большинстве сельскохозяйственных организаций не соблюдается в результате чего реализация молока является прибыльной, а живой массы скота в большинстве случаев убыточной.

В соответствии со справочником нормативных сроков службы основных средств, утвержденных постановлением Министерства экономики Республики Беларусь от 30.09.2011 № 161 [6] нормативный срок службы объектов основных средств по подгруппе «Скот рабочий и животные основного стада» вид «Коровы» составляет 7 лет. Таким образом, на основании данных сельскохозяйственных организаций Горецкого района за 2022 год применение линейного способа начисления амортизации по продуктивным животным позволит получить следующие результаты (таблица).

Формирование учетной политики организации осуществляется на основании профессионального суждения главного бухгалтера и определяет значения многих отчетных показателей деятельности и финансового положения организаций и, соответственно, влияет на их дальнейшую деятельность, способность привлекать требующиеся источники финансирования. Для повышения качества отчетных показателей, их достоверности и полезности для всех заинтересованных сторон, включая руководство самой организации, необходимо иметь какие-либо подтверждающие расчеты, демонстрирующие правильность выбора того или иного способа учета.

Расчет прогнозных показателей финансовых результатов от реализации скота с учетом амортизационных отчислений

Показатель	В среднем по Горещкомскому району за 2022 г.	В среднем по Горещкомскому району за 2024 г.
Стоимость продуктивных животных основного стада крупного рогатого скота на начало года, тыс. руб.	18828	44489
Норма амортизационных отчислений в год, %	14,285714	14,285714
Сумма амортизационных отчислений по продуктивным животным основного стада крупного рогатого скота в год, тыс. руб.	2689,71	6355,57
Сумма амортизационных отчислений по продуктивным животным основного стада крупного рогатого скота в год, относимых на молоко тыс. руб.	2420,74	5720,01
Сумма амортизационных отчислений по продуктивным животным основного стада крупного рогатого скота в год, относимых на приплод тыс. руб.	268,97	635,56
Себестоимость реализованного молока, тыс. руб.:		
– без учета начисленной амортизации	25470	49396
– с учетом начисленной амортизации	27538	54574
Выручка от реализации молока, тыс. руб.	34226	61385
Прибыль от реализации молока, тыс. руб.:		
– без учета начисленной амортизации	8756	11989
– с учетом начисленной амортизации	6688	6811
Себестоимость реализованного скота, тыс. руб.:		
– без учета начисленной амортизации	12720	27906
– с учетом начисленной амортизации*	3425	12474
Выручка от реализации скота, тыс. руб.	5514	12837
Прибыль от реализации скота, тыс. руб.:		
– без учета начисленной амортизации	-7206	-15069
– с учетом начисленной амортизации*	2089	363
Себестоимость переводимых в основное стадо животных, тыс. руб.		
– без учета начисленной амортизации	9134	16887
– с учетом начисленной амортизации**	9403	17523

* при реализации полностью с амортизированного продуктивного скота, выбракованного из основного стада; ** при 100 % отнесении амортизационных отчислений на животных, направляемых на возобновление основного стада продуктивных животных

Как показывают данные, приведенные в таблице, применение в учетной практике сельскохозяйственных организаций линейного способа начисления амортизации по продуктивным животным основного стада крупного рогатого скота, позволит снизить убыточность реализации скота, за счет равномерного списания их стоимости в течение всего срока использования на получаемую продукцию. Прирост стоимости животных, направляемых на возобновление основного стада, составит около 3 % на голову.

Заключение

Таким образом, при использовании в производственной деятельности продуктивных животных основного стада крупного рогатого скота сельскохозяйственным организациям следует применять метод, принятый по отношению к другим основным средствам производства (исчисление амортизации), поскольку балансовая (первоначальная) стоимость животных основного стада не полностью возмещается ликвидационной их стоимостью, т. е. денежной выручкой от реализации выбракованного скота. Применяемый в настоящее время порядок определения балансовой стоимости животных, переводимых в основное стадо, приводит к частичной амортизации продуктивного скота, т. е. включению части затрат в размере 10 % на его содержание на получаемый в процессе производства молодняк.

ЛИТЕРАТУРА

1. Апакова, А. В. Особенности учета основного стада и животных на выращивании и откорме в сельском хозяйстве / А. В. Апакова // Молодой ученый. – 2020. – № 48 (338). – С. 480–483.
2. О бухгалтерском учете и отчетности: Закон Респ. Беларусь от 12 июля 2013 г. № 57-3; в ред. от 11 окт. 2022 г. № 210-3 // Бизнес-Инфо: аналит. правовая система – URL: <https://bii.by/docs/zakon-12-07-2013-57-z-o-bukhgalterskom-uchete-i-otchetnosti> (дата обращения: 08.09.2025).
3. Об утверждении Инструкции о порядке начисления амортизации основных средств и нематериальных активов: постановление М-ва финансов Респ. Беларусь от 27 фев. 2009 г. № 37/18/6 // Бизнес-Инфо: аналит. правовая система. – URL: <https://bii.by/docs/postanovlenie-27-02-2009-37-18-6-ob-utverzhenii-instruktsii-o-poryadke-nachisleniya-amortizatsii> (дата обращения: 08.09.2025).
4. Об утверждении Национального стандарта бухгалтерского учета и отчетности «Запасы»: постановление М-ва финансов Респ. Беларусь от 28 дек. 2022 г. № 64 // Бизнес-Инфо: аналит. правовая система. – URL: <https://bii.by/docs/postanovlenie-28-12-2022-64-o-bukhgalterskom-uchete-zapasov> (дата обращения: 08.09.2025).
5. 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 // Бизнес-Инфо: аналит. правовая система – URL: <https://bii.by/docs/postanovlenie-10-12-2013-80-ob-uchetnoj-politike-organizatsii-izmeneniyakh-v-uchetnykh> (дата обращения: 08.09.2025).
6. Об установлении Нормативных сроков службы основных средств и признании утратившими силу некоторых постановлений Министерства экономики Республики Беларусь: постановление М-ва экономики Респ. Беларусь от 30 сент. 2011 № 161 // Бизнес-Инфо: аналит. правовая система – URL: <https://bii.by/docs/postanovlenie-30-09-2011-161-ob-ustanovlenii-normativnykh-srokov-sluzhby-osnovnykh-sredstv> (дата обращения: 08.09.2025).
7. Пузыня, Т. А. Методика начисления амортизации по продуктивному скоту / Т. А. Пузыня // Вестник ВГУ. Серия, Экономика и управление. – 2012. – №1. – С. 160–164.
8. Ундов, А. А. Обоснование бухгалтерского суждения в рамках хозяйственной деятельности экономического субъекта / А. А. Ундов // Аудиторские ведомости. – 2025. – №1. – С. 23–30.
9. Чернявская, С. А. Экономический анализ затрат в животноводстве: пути оптимизации и повышения эффективности / С. А. Чернявская, Д. В. Подлужный, А. Е. Бартули // Промышленная экономика. – 2025. – №2. – С. 152–161.

ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ МЕХАНИЗМ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЫРАЩИВАНИЯ И ПЕРЕРАБОТКИ СЕМЯН ЛЬНА

В. В. ЛИПНИЦКАЯ

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,
г. Минск, Республика Беларусь», 220012, e-mail: valipnitska@gmail.com

А. В. ЧИРИЧ

ГУО «Институт бизнеса БГУ»,
г. Минск, Республика Беларусь», 220004, e-mail: annachirich@tut.by

(Поступила в редакцию 07.10.2025)

Масличный лен на глобальном рынке является нишевой культурой, имеет постоянный спрос и широкий рынок сбыта за рубежом, минимально зависит от внешних факторов. Семена льна, благодаря широкому спектру возможного их применения, традиционно востребованы на мировом рынке, а ограниченное их производство поддерживает цену на стабильно высоком уровне. Масличный лен не является популярной среди белорусских производителей и переработчиков культурой, но имеет высокий спрос среди зарубежных потребителей. В статье проведен анализ и дана оценка современного состояния рынка семян льна в Беларуси, исследованы условия и выявлены факторы роста спроса и предложения на внутреннем рынке льносемян, аргументирована важность увеличения их предложения для импортозамещения и формирования экспортных позиций. С учетом современного состояния внутреннего рынка льносемян в Республике Беларусь обоснована необходимость формирования организационно-экономического механизма повышения эффективности производства и переработки льносемян как системы экономических рычагов и инструментов, позволяющих максимально задействовать существующие конкурентные преимущества для создания наиболее благоприятных условий и стимулов при производстве, переработке и продаже полученной из семян льна продукции, предложен комплекс мер, способствующих устойчивому росту рынка льносемян и продуктов их переработки в средне- и долгосрочной перспективе. В статье приведены веские доказательства и подкреплена расчетами необходимость выделения дополнительных площадей сельскохозяйственных угодий для размещения посевов льна при различном уровне концентрации их посевов на землях, требующих повышения уровня экономического плодородия и предложено приспособить для этих целей ныне эксплуатируемые низкопродуктивные участки и давно неиспользуемые земли в умирающих деревнях, бывшие ранее в хозяйственном пользовании личных подсобных хозяйств. Также в результате исследования установлено, что для максимального раскрытия потенциала эффективного функционирования организаций, производящих и перерабатывающих семена льна, приоритетными направлениями являются совершенствование применяемых технологий и увеличение глубины переработки для роста выхода продукции с единицы используемого сырья, что позволит получить дополнительный народнохозяйственный эффект за счет расширения ассортимента выпускаемой продукции с высокой добавленной стоимостью, а также социальный эффект, связанный с обогащением рационов питания населения доступным высококачественным растительным белком, более дешевым по сравнению с животными белками.

Ключевые слова: семена льна, организационно-экономический механизм, спрос на семена льна, предложение льносемян, льняное масло, глубокая переработка семян льна, импортозамещение.

Oilseed flax is a niche crop in the global market, enjoying constant demand and a large international market, and is minimally dependent on external factors. Flaxseed, due to its wide range of possible applications, has traditionally been in demand globally, and its limited production maintains a consistently high price. Oilseed flax is not a popular crop among Belarusian producers and processors, but it is in high demand among international consumers. This article analyzes and assesses the current state of the flaxseed market in Belarus, examines the conditions and identifies the factors driving supply and demand growth in the domestic flaxseed market, and argues for the importance of increasing supply for import substitution and the development of an export position. Considering the current state of the domestic flaxseed market in the Republic of Belarus, the need to develop an organizational and economic mechanism for increasing the efficiency of flaxseed production and processing is substantiated. This mechanism represents a system of economic levers and tools that maximize existing competitive advantages to create the most favorable conditions and incentives for the production, processing, and sale of flaxseed products. A set of measures is proposed to promote sustainable growth in the flaxseed and processed product market in the medium and long term. The article presents compelling evidence and supports calculations for the need to allocate additional agricultural land for flax crops, with varying levels of concentration on lands requiring increased economic fertility. It also proposes adapting currently exploited low-yield plots and long-unused land in dying villages, previously used for private farming, for these purposes. The study also found that, to maximize the potential for effective flaxseed production and processing, the priority areas are improving existing technologies and increasing processing depth to increase yield per unit of raw material used. This will yield additional economic benefits by expanding the range of high-value-added products, as well as social benefits associated with enriching the population's diet with affordable, high-quality plant protein, which is less expensive than animal proteins.

Key words: flaxseed, organizational and economic mechanisms, flaxseed demand, flaxseed supply, flaxseed oil, advanced flaxseed processing, import substitution.

Введение

Реалии сегодняшнего дня показывают, что современный агробизнес все активнее берется за выращивание нишевых сельскохозяйственных культур, т.е. культур, которые занимают относительно небольшую долю посевных площадей, но обладают высокой добавленной стоимостью. И это стано-

вится трендом, несмотря даже на то, что их производство и рынок сбыта достаточно сложный, плохо освоен и не такой емкий, как у традиционных сельскохозяйственных культур, например, зерновых или картофеля. Как показывает практика, нишевые культуры выступают «подушкой безопасности» для аграрных предприятий, с помощью которой они могут перекрыть свои убытки, полученные при возделывании отдельных традиционных культур. Рентабельность нишевых культур обеспечивается высокой ценой реализации и стабильным спросом [1].

Масличный лен на мировом рынке считается нишевой культурой, которая требует глубокой степени переработки и используется во многих сопредельных отраслях, таких как пищевая, фармацевтическая, кондитерская, текстильная, химическая и другие. Низкая по сравнению с иными масличными культурами урожайность и, соответственно, валовой сбор льняных семян, обуславливают нишевой статус как данной продукции, так и продуктов, полученных в результате ее переработки [2].

Сегодня в Беларуси переработка семян льна ведется на трех предприятиях, где получают пищевое и техническое льняное масло, а также льняной жмых, который используется на корм скоту. Однако существующие в мире современные технологии глубокой переработки семян льна, позволяют получать широкий ассортимент продуктов переработки (белковые концентраты, пищевые волокна в виде полисахаридных комплексов и экстрактов и др.), которые могут быть использованы в качестве эмульгаторов, водо- и жиростойких компонентов, регуляторов пищевой и биологической ценности пищевых продуктов [3].

Например, переработка жмыха, остающегося после выработки льняного масла, может дать пищевой белковый концентрат с содержанием протеина более 65 %. Внедрение таких производств позволит стимулировать увеличение внутренней переработки и потребления этого ценного сырья, а также формировать экспортный потенциал страны.

Целью статьи является обоснование необходимости разработки организационно-экономического механизма производства и переработки льносемян, как системы экономических рычагов и инструментов, позволяющих максимально задействовать существующие в республике конкурентные преимущества при производстве, переработке и продаже, полученной из семян льна продукции.

Основная часть

Каждый год в мире увеличивается потребление семян льна и его производных, которые используются для производства продуктов питания, кормов для животных, а также в таких отраслях промышленности, как химическая, фармакологическая, пищевая и других.

Мировое производство семян льна масличного в 2022 г. достигло одного из самых высоких в истории уровней в 3,9 млн тонн, увеличившись на 18,3 % по сравнению с 2021 г., и занимает менее 1 % от общего объема масличных культур [4]. Объем мирового рынка семян льна оценивался в 581,01 млрд долларов США в 2024 году и, как ожидается, достигнет 1335,12 млрд долларов США к 2032 г. при среднегодовом темпе роста 10,96 % в течение прогнозируемого периода [5]. Востребованность масличного льна остается стабильной из-за высокого мирового спроса на пищевые семена льна и льняное масло для пищевой, медицинской, химической и других отраслей промышленности.

Анализ статистических данных показал, что производство семян льна в Беларуси в 2023 г. составило 8,34 тыс. тонн, что на 12,5 % меньше, чем в предыдущем году. Объем производства семян льна в Беларуси в период 2019–2023 гг. сократился на 1995 т, или на 23,9 %. При этом сокращение производства семян льна по годам происходило неравномерно. Наибольший валовой сбор был получен в 2019 г. и составил 10,34 тыс. т, что на 3,666 тыс. т, или на 54,5 % больше, чем в 2021 г., на 0,798 тыс. т, или на 7,8 % больше, чем в 2022 г. и на 1,995 тыс. т, или 23,9 % больше, чем в 2023 г. [6].

Сокращение валового сбора семян льна связано, с одной стороны, с сокращением площади уборки льна, с другой стороны, наблюдаемыми сильными колебаниями урожайности семян льна по годам, что показывает высокую зависимость его производства от погодных условий, уровня агротехники и качества применяемого посевного материала.

В 2022 г. урожайность льносемян в Беларуси составила 3,7 ц/га, увеличившись по сравнению с 2018 г. на 0,49 ц/га. Более низкая урожайность, чем в Беларуси за анализируемый период, наблюдалась только в Эквадоре и Узбекистане (по 3,3 ц/га), Эритрее (3,2 ц/га) и Боливии (2,5 ц/га) [7].

Как показали исследования, в республике идет сокращение доли семян льна-долгунца и увеличение доли семян масличного льна-кудряша, из которого получают льняное масло. Так, в структуре валового сбора льносемян в Беларуси наибольший удельный вес занимают семена льна-долгунца (81,5 % в 2023 г.), а семена льна-кудряша – 18,5 % в 2023 г. За 2019–2023 гг. производство семян льна-кудряша возросло в 1,6 раза, что обусловило рост его валового сбора на 581 т. Наряду с этим, объем выращивания семян льна-долгунца сократился на 2567 т или на 37,9 %. Тем не менее, несмот-

ря на изменение структуры производства семян льна, фактический метрический их объем (8340 т в 2023 г.) является крайне низким, неспособным сформировать надежную основу устойчивого функционирования и развития организаций льнопродуктового подкомплекса в средне- и долгосрочной перспективе [8].

Поэтому для повышения эффективности выращивания и переработки семян льна следует разработать и практически применить организационно-экономический механизм как систему экономических рычагов и инструментов, обеспечивающих взаимосвязанное и эффективное их использование для создания наиболее благоприятных условий и стимулов при производстве, переработке и продаже полученной из семян льна продукции.

По нашему мнению, важными составными элементами организационно-экономического механизма, которые окажут прямое воздействие на повышение эффективности процессов выращивания и переработки семян льна, должны стать:

1) комплекс мер по формированию устойчивого стабильного в средне- и долгосрочной перспективе спроса населения и субъектов хозяйствования на семена льна и продукты их переработки;

2) совокупность мер по стимулированию увеличения рыночного предложения семян льна и их производных;

3) развитие технологий углубленной переработки, расширение и изменение структуры ассортимента выпускаемой из льняных семян продукции: льняного масла, пригодного на пищевые, медицинские и технические цели, продуктов питания (для людей всех возрастных групп), кормовых добавок из дополнительной продукции для скота, рыбы и птицы, приведение его в соответствие с требованиями рынка и нормативами питания для здорового образа жизни.

Комплексное использование указанных выше элементов организационно-экономического механизма на рынке льносемян позволит скоординировать действия по цепочке «поставщик-переработчик», что сделает целесообразным увеличение валового сбора льносемян; а также позволит увеличить емкость внутреннего рынка, за счет появления новых видов продукции, полученных в результате глубокой переработки семян льна, и расширения вариантов их использования в Беларуси. Следует отметить, что понимание важности расширения возможностей использования продукции переработки семян льна на внутреннем рынке будет мультипликативно способствовать наращиванию экономического и социального эффекта рынка льносемян, служить инструментом устойчивого его развития.

Таким образом, мерами, которые создадут условия и поспособствуют динамичному увеличению валового сбора и формированию устойчивого объема предложения льносемян, по нашему мнению, могут быть:

– углубление переработки сырья и расширение ассортимента вырабатываемой из него продукции;

– экспорт части, изготовленной из семян льна продукции посредством площадки Белорусской универсальной товарной биржи (БУТБ).

Однако эффект от реализации системы мер по стимулированию спроса и предложения не будет получен в краткосрочный период, здесь действия свободного рыночного механизма недостаточно, и поэтому для активизации спроса и предложения на рынке льносемян положительную роль должно сыграть государство. По нашему мнению, следует разработать и реализовать целевую комплексную Государственную программу повышения уровня экономического плодородия почв, одним из элементов которой может стать выращивание льна на семена на истощенных и требующих рекультивации землях, т.е. как элемента комплекса мер по фито- и агролесомелиорации территории.

Возделывание льна на истощенных и требующих рекультивации землях обеспечит снижение плотности данных земель, улучшит их структуру и воздушный режим, фитосанитарное состояние полей, устранит разрушение плужной подошвы прямым воздействием корневой системы и выполнит функцию фитомелиоранта. Для этого целесообразно использовать часть из ныне необрабатываемых и нуждающихся в рекультивации земель и поэтапно, равномерно вводить их в сельскохозяйственный оборот при условии параллельного выполнения всего текущего запланированного объема мелиоративных работ.

По нашим расчетам, за счет данного источника, при условии соблюдения семипольного севооборота, размер сельскохозяйственных угодий ежегодно может дополнительно увеличиться на 197,4 тыс. га (таблица). Имеющегося запаса льносемян урожая 2023 года, предназначенных для обеспечения воспроизводства, а также нереализованных и непереработанных товарных запасов из фактического по итогам 2023 г. валового сбора семян, будет достаточно для осуществления посева на дополнительной площади.

Резерв роста производства семян при различных вариантах насыщения дополнительной площади сельхозугодий посевами льна

	Варианты		
	при 5%-ном уровне концентрации посевов	при 7%-ном уровне концентрации посевов	при 10%-ном уровне концентрации посевов
Дополнительная площадь посевов, га	9870,0	13818,0	19740,0
Прогнозная урожайность, т/га	0,9	0,9	0,9
из нее на семена, т/га	0,11	0,11	0,11
Валовой сбор семян с дополнительной площади, т	8883,0	12436,2	17766,0
из него на семена, т	1085,7	1519,98	2171,4
на переработку, т	7797,3	10916,22	15594,6
% к фактическому уровню производства 2023 г.	106,5	149,1	213,0
Общий прогнозный объем сбора (факт + дополнительный сбор), т	17223,0	20776,2	26106,0
Прогнозный объем семян, предназначенных на переработку, т	14302,5	17421,42	22099,8
Стоимость прогнозного объема семян, предназначенных на переработку, тыс. руб. в ценах 2023 г.	51753,6	63039,4	79968,1
Резерв роста объемов производства, т	15555,0	19108,2	24438,0
в т.ч. за счет увеличения площади посевов, т	8883,0	12436,2	17766,0
за счет динамики урожайности, т	6672,0	6672,0	6672,0

Примечание: собственная разработка.

При условии, что концентрация посевов льна на рекультивируемой площади сельхозугодий сложится на уровне 5 % дополнительный объем сбора семян составит 8883 т. Максимальный эффект будет достигнут при 10%-ной концентрации – 17766 т, что в 2,1 раза выше фактического значения 2023 г. Получение такого объема позволит не только сформировать сырьевую основу и максимально реализовать потенциал функционирования отраслей промышленной переработки семян льна, но и создать задел для обеспечения роста производства в перспективе.

Кроме дополнительных площадей сельхозугодий, для размещения посевов льна в рамках выполнения Государственной программы повышения уровня экономического плодородия почв можно задействовать ныне эксплуатируемые низкопродуктивные участки и давно неиспользуемые земли в умирающих деревнях, бывшие ранее в хозяйственном пользовании личных подсобных хозяйств.

Субъектами реализации государственной политики в части проведения мер по фито- и агролесомелиорации, кроме сельскохозяйственных организаций и крестьянских (фермерских) хозяйств, могут стать райагросервисы и предприятия мелиоративных систем (районные ПМС).

Кроме того, для развития технологий углубленной переработки льносемян, расширения и изменения структуры ассортимента выпускаемой из льняных семян продукции, целесообразна реализация двух групп инвестиционных проектов, направленных:

- 1) на совершенствование применяемых технологий изготовления льняного масла и его составляющих;
- 2) на увеличение глубины переработки и рост выхода продукции с единицы сырья.

Приоритетными направлениями совершенствования применяемых технологий на заводах, перерабатывающих семена льна, по нашему мнению, могут стать:

- совершенствование технологии переработки растительных масел и жиров на основании изменения технологических режимов производства и организации контроля содержания контаминантов в продукции, что позволит произвести продукцию с увеличенными сроками ее хранения и годности, повышенной степенью безопасности и расширение состава выпускаемой продукции и функциональных направлений ее использования;

- использование новых биотехнологических и физических методов воздействия на сырье для развития импортозамещения и роста экспорта, а также повышения выхода масла и роста его качества с сохранением исходных физиологически активных компонентов [9];

- внедрение современных методов гидрогенизации, фракционирования и переэтерификации с целью получения масложировой продукции с требуемой функциональностью, углубления степени переработки и увеличения номенклатуры и выхода продукции с единицы сырья, что позволит добиться эффекта импортозамещения и роста экспорта [10];

- автоматизация технологических процессов, которая приведет к сокращению затрат за счет уменьшения потребности в труде.

По нашему мнению, реализация указанных выше проектов создаст необходимые условия и приведет не только к получению максимального результата от углубления переработки сырья, но и позволит повысить потенциал его эффективного использования, который, как известно, в настоящий момент задействован далеко не полностью.

Успешной реализации проектов данной группы будут содействовать созданная научная и научно-техническая база, представленная НПЦ НАН Беларуси по продовольствию, Белорусским государственным университетом пищевых и химических технологий, Учреждением БГУ «Научно-исследовательский институт физико-химических проблем», Институтом биоорганической химии НАН Беларуси, Институтом физико-органической химии НАН Беларуси и др.

Как показали исследования, увеличение глубины переработки семян льна позволит достичь ряда эффектов в масштабах национальной экономики, таких как:

1) импортозамещение. В 2023 году объем импортированной в Беларусь продукции углубленной переработки льна составил более 530 млн долл. США в т.ч. жирных кислот – 2,238 млн долл. США, эмульгаторов – 1,014 млн долл. США, стеариновой кислоты – 2,1 млн долл. США, глицерина – 6,4 млн долл. США, нейромедиаторов – 24,5 млн долл. США, клетчатки – 23,7 млн долл. США, сухих майонезов – 18 млн долл. США, гидроколлоидов – 9,145 млн долл. США и др. Поэтому наращивание объемов производства льняного масла и его производных оправдано и будет способствовать импортозамещению;

2) повышение размеров экспортных поставок продукции в средне- и долгосрочной перспективе. Отметим, что для успешных и долговременных поставок любой пищевой продукции, в том числе льняного масла, необходимо соблюдать требования страны-импортера по части безопасности и качества. Цвет, запах и вкус каждого продукта должны быть характерными и соответствовать всем необходимым требованиям. Как показала практика, в основном полученные при углублении переработки новые виды продукции обладают значительным экспортным потенциалом, а благодаря широкому спектру возможного их применения традиционно востребованы на глобальном рынке. Так, например, размер рынка капсулированных масел в 2029 г. оценивается в 20,43 млрд долл. США, эмульгаторов – в 5,32 млрд долл. США [11], жирных спиртов – в 8,49 млрд долл. США [12], кондитерских и др. специальных жиров – в 94,16 млрд долл. США [13], фитостеролов – в 1,45 млрд долл. США, белково-липидных добавок – в 28,02 млрд долл. США [14], глицерина – в 4,2 млрд долл. США, стериннов – в 0,724 млрд долл. США;

3) способствование повышению уровня технологичности национальной экономики в целом и льнопродуктового подкомплекса АПК, в частности.

Особенно в данной связи важно и перспективно освоение технологий, способствующих:

– выпуску продукции фармацевтического и медицинского назначения, например, новых видов БАД («Льняное масло + Коэнзим Q10», «Льняное масло + селен + витамин Е», «Льняное масло + Бета-каротин», а также капсулированного льняного масла), обладающих повышенной антиоксидантной активностью, а также антивирусными, антибактериальными и противогрибковыми свойствами лигнанных соединений;

– изготовлению производных мыла: *экологически безопасных* средств защиты растений, пропиток древесины и технических смазок, в т.ч. СОЖ;

– выработке продуктов углубленной переработки жирных кислот: аминов, эфиров, солей жирных кислот, жирных спиртов, технических спиртов и др.

Технологии производства новых видов продукции в Беларуси имеются. Поэтому с увеличением выпуска отечественного продукта уменьшится ввоз других видов масел из-за рубежа, что приведет к экономии валюты, возрастут мощности наших перерабатывающих предприятий, будут созданы новые рабочие места, произойдет увеличение доходов работников и рост поступлений в бюджет.

Заключение

Сейчас для наращивания объемов внутреннего рынка и экспорта льняных семян и продуктов его переработки в Беларуси государству и бизнесу необходима консолидация усилий для решения ряда отраслевых задач.

Одна из них – появление в Беларуси новых предприятий, которые смогут производить в промышленном объеме продукцию с высокой добавленной стоимостью: льняное масло, льняную муку, льняной шрот и другие продукты углубленной переработки льносемян.

Несмотря на значительный экспортный потенциал, внутренний рынок новых видов продукции, полагаем, должен быть целевым для субъектов углубленной переработки семян льна. Это не только поспособствует максимальной реализации потенциала их использования, но и приведет к еще большему расширению емкости рынка.

Источниками финансирования реализации выделенных проектов могут стать собственные средства организаций, кредитные ресурсы банков Беларуси, кредитные ресурсы Евразийского банка развития, средства консолидированного бюджета, кредитные ресурсы банков и прямые инвестиции биз-

неса КНР, Египта, ЮАР, Индии, Турции, стран Персидского залива, что также может способствовать выходу на внешние рынки, налоговые льготы реализующим проекты организациям и другие.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нишевые культуры. Новый тренд в Агробизнесе. – URL: <https://sanfloro-zhatki.ru/news/nisevi-kulturi-novij-trend-v-agrobiznesi> (дата обращения: 12.06.2025).
2. Льняное масло: новый экспортный продукт ближайшего будущего? – <https://oleo-scope.com/analytics/injanoe-maslo-povuj-jekspornuj-produkt-blizhajshego-budushhego/> (дата обращения: 17.06.2025).
3. Миневич, И. Э. Научное обоснование и разработка научно-практических основ технологий глубокой переработки семян льна с получением ингредиентов для создания продуктов здорового питания / И. Э. Миневич. – Тверь, 2022.
4. Обзор ВЭД: мировой рынок семян льна. – URL: <https://aemcx.ru/2024/07/03/obzor-ved-mirovoj-gynok-semyan-lna> (дата обращения: 12.06.2025).
5. Отчет об анализе размера, доли и тенденций мирового рынка семян льна – обзор отрасли и прогноз до 2032 года. – URL: <https://www.databridgemarketresearch.com/ru/reports/global-flaxseeds-market> (дата обращения: 12.06.2025).
6. Сельское хозяйство Беларуси, 2024. Статистический буклет//: <https://www.belstat.gov.by/> (дата доступа: 19.06.2025).
7. FAOSTAT / Food and Agriculture Organization of the United Nations. – URL: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC> (дата обращения: 03.09.2025).
8. Гануш, Г. И. Развитие рынка льносемян в Республике Беларусь в контексте современных мировых тенденций / Г. И. Гануш, В. В. Липницкая, А. В. Чирич // Агропанорама. – 2024. – № 6. – С. 41–45.
9. Едимечева, И. П. Применение природных и синтетических антиоксидантов для повышения окислительной устойчивости льняного масла / И. П. Едимечева, А. А. Сосновская, О. И. Шадыро // Пищевая промышленность: наука и технологии. – 2020. – № 13(4). – С. 41–51.
10. Моргунова, Е. М. Разработка рецептурных композиций масла растительного – смеси, оптимизированного по жирнокислотному составу / Е. М. Моргунова, А. В. Пчельникова, В. Н. Бабодей // Пищевая промышленность: наука и технологии. – 2022. – № 15(3). – С. 13–220.
11. Мировой рынок жирных спиртов. – URL: <https://exactitudeconsultancy.com/ru/reports/18266/fatty-alcohols-market>. (дата обращения: 02.06.2025).
12. Мировой рынок жиров и масел – тенденции отрасли и прогноз до 2028 года. – URL: <https://www.databridgemarketresearch.com/ru/reports/global-normal-and-specialty-fats-market> (дата обращения: 14.06.2025).
13. Лен масличный как сырье для производства биологически активных добавок. – URL: <https://foodindustry.belal.by/jour/article/view/533/527> (дата обращения: 04.07.2025).
14. Глобальный рынок липидного питания (питательные липиды) по типу (Omega-3, Omega-6), по применению (диетические добавки и нутрицевтика, детская формула), географическая область и прогноз. – URL: <https://www.verifiedmarketreports.com/ru/product/lipid-nutrition-nutritional-lipids-market/> (дата обращения: 18.06.2025).

СУЩНОСТЬ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Н. А. ЛОПАТИН

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

(Поступила в редакцию 13.10.2025)

В статье систематизированы теоретико-методологические подходы к понятию и структуре бизнес-процессов применительно к сельскому хозяйству. Проведён системный обзор исторического развития процессного подхода и современных концепций процессного управления, включая вопросы реинжиниринга и цифровой трансформации. Особое внимание уделено отраслевой специфике агропроизводства: биологической детерминации производственных циклов, выраженной сезонности операций, высокой зависимости от природно-климатических факторов и необходимости учёта экологической устойчивости при проектировании регламентов. По результатам исследования предложено авторское определение бизнес-процесса в сельском хозяйстве, в котором формализованы входные категории (биологические, материальные и информационные ресурсы), ключевые этапы трансформации и двойной критерий результата – товарная ценность и вклад в устойчивое воспроизводство агро-экосистемы. Научная новизна исследования заключается в синтезе процессного и отраслевого подходов и формализации биологических параметров в модели бизнес-процесса. Практическая значимость работы состоит в возможности использования полученных результатов при разработке регламентов управления и внедрении цифровых решений, направленных на повышение эффективности и устойчивости сельскохозяйственных организаций.

Ключевые слова: бизнес-процесс, сельское хозяйство, процессный подход, процессный подход, цифровизация, классификация.

This article systematizes theoretical and methodological approaches to the concept and structure of business processes as applied to agriculture. A systematic review of the historical development of the process approach and modern concepts of process management is provided, including issues of reengineering and digital transformation. Particular attention is paid to the industry-specific features of agricultural production: the biological determination of production cycles, the pronounced seasonality of operations, high dependence on natural and climatic factors, and the need to consider environmental sustainability when developing regulations. Based on the research results, the author proposes a definition of a business process in agriculture that formalizes input categories (biological, material, and information resources), key stages of transformation, and a dual outcome criterion—commodity value and contribution to the sustainable reproduction of the agro-ecosystem. The scientific novelty of this study lies in the synthesis of process and industry approaches and the formalization of biological parameters in a business process model. The practical significance of the work lies in the potential use of the obtained results in the development of management regulations and the implementation of digital solutions aimed at improving the efficiency and sustainability of agricultural organizations.

Key words: business process, agriculture, process approach, digitalization, classification.

Введение

Актуальность исследования определяется тем, что в условиях цифровизации экономики процессный подход становится основой эффективного управления предприятиями, включая сельскохозяйственные организации. Управление бизнес-процессами обеспечивает прозрачность и адаптивность деятельности, что особенно важно в аграрной сфере, характеризующейся высокой зависимостью от природно-климатических факторов и сезонности [1 с. 178; 2 с. 63]. Научная проблема заключается в отсутствии общепринятого определения бизнес-процесса, адекватно отражающего специфику сельскохозяйственного производства.

Классические труды Ф. Тейлора [3 с. 45], А. Файоля [4 с. 112], а также М. Хаммера и Д. Чампи [5, с. 55] заложили фундаментальные основы процессного подхода, однако они не учитывают отраслевые особенности АПК. Белорусские учёные – О. Н. Родцевич [6, с. 40], О. Л. Сапун [7, с. 112] – подчёркивают необходимость адаптации процессного подхода к аграрной специфике. Подобный вывод согласуется с исследованиями О. В. Лускатовой [8, с. 73] и концепцией цепочек ценности М. Портера [9, с. 212].

Цель исследования заключается в раскрытии сущности бизнес-процессов в сельском хозяйстве с учетом его отраслевой специфики и в обосновании логики классификации и формализации процессов для условий цифровой трансформации АПК.

Теоретическая и методологическая база исследования включает труды зарубежных и отечественных авторов в области управления и процессного подхода (Ф. Тейлор [3, с. 45], А. Файоль [4, с. 112], М. Хаммер и Д. Чампи [5, с. 55], М. Портер [9, с. 212], О. Н. Родцевич [6, с. 40], Н. В. Козловская [7, с. 45], С. М. Бычкова [1, с. 180], В. С. Петров [2, с. 63], О. В. Лускатова [8, с. 73] и др.), а также использование методов анализа и синтеза, сравнительного и логического подходов, формализации понятийного аппарата.

Основная часть

Современные условия хозяйствования требуют принципиально новых подходов к организации производственной деятельности в агропромышленном комплексе, основанных на процессном управлении.

Как показали проведенные исследования, существует многообразие подходов к пониманию сущности категории «бизнес-процесс». Так, применительно к условиям аграрной отрасли В. С. Петров определяет их как «систему взаимосвязанных операционных действий, ориентированных на генерацию добавочной стоимости продукции сельскохозяйственного производства и способствующих обеспечению устойчивого функционирования субъектов хозяйствования данной отрасли» [2, с. 56]. В сравнении с промышленными предприятиями, хозяйственно-экономическая деятельность в АПК подвержена существенному влиянию сезонности, высокой степени зависимости от внешних природных условий и физиологических особенностей животных и растений, что требует разработки адаптированных механизмов управления производственными процессами.

По мнению С. М. Бычковой, учетное обеспечение в сельскохозяйственных организациях функционирует на трёх уровнях – внутрихозяйственном, общехозяйственном и внешнем, формируя основу информационного поля для управленческих решений. Эти уровни тесно взаимосвязаны с бизнес-процессами, поскольку именно учетные данные отражают результаты ключевых операционных действий и обеспечивают обратную связь для их корректировки.

На внутрихозяйственном уровне учетное обеспечение фиксирует первичную информацию о затратах и результатах работы подразделений (полеводческих, животноводческих, технических). Эта информация непосредственно интегрируется в операционные бизнес-процессы – планирование посевных работ, кормопроизводства, эксплуатации техники. Таким образом, учетные данные позволяют оптимизировать использование ресурсов и выявлять «узкие места» в текущем процессе.

На общехозяйственном уровне учет обеспечивает агрегирование данных по всем подразделениям и их трансляцию в систему управления хозяйством в целом. Здесь учетное обеспечение становится элементом управления ключевыми бизнес-процессами – логистикой, сбытом, управлением персоналом, финансовыми потоками. Интеграция учетной информации позволяет увязать внутренние процессы в единую систему, что способствует росту операционной эффективности.

На внешнем уровне учетная информация формализуется в бухгалтерской и финансовой отчетности, что связано с процессами взаимодействия с государственными органами, банками, инвесторами и партнерами. Эти данные отражают результаты бизнес-процессов организации в целом, формируя основу для привлечения инвестиций, кредитования и участия в государственных программах поддержки аграрного сектора. [1, с. 13]. Данный подход свидетельствует о наличии системообразующей взаимосвязи между учетным обеспечением и бизнес-процессами, интеграция которых способствует повышению операционной эффективности.

Проведенный анализ исторической трансформации концепции бизнес-процессов, основанный на изучении фундаментальных трудов ведущих ученых XVIII – XXI веков (таблица), позволяет выявить закономерности развития процессного подхода в экономике и менеджменте. Систематизация различных научных взглядов и подходов представляет значительный интерес для современной экономической науки, особенно в контексте цифровой трансформации [10, с. 416].

Эволюция теоретико-методологических подходов к изучению проблемы управления бизнес-процессами

Авторы	Подходы к проблеме бизнес-процессов	
	направления	Рассматриваемые аспекты
(XVIII–XIX вв.)		
Адам Смит 1776 г. Карл Маркс 1867 г. [10, с. 25–30, 11, с. 180–185]	Классическая экономическая теория	Введение идеи разделения труда что предшествует формированию процессного подхода. Анализ производственных процессов
XX век		
Фредерик Тейлор 1911 г. Генри Форд 1922 г. Питер Друкер 1954 г. [3, с. 45–50, 12, с. 67–72, 13, с. 120–125]	Научный менеджмент и процессный подход	Оптимизация рабочих процессов, формирование процессного подхода «управление по целям»
Конец XX – начало XXI века		
Майкл Хаммер и Джеймс Чампи ГОСТ ISO 9000 – 2015 APQC (Американская ассоциация качества) [5, с. 50–55, 14, с. 10–15, 15, с. 5–10]	Формализация бизнес-процессов	Определение бизнес-процесса как набора связанных действий, формирующих ценность для клиента, введение процессного подхода в управление качеством, разработка классификации бизнес-процессов
Современные концепции и классификации		
Ойхман Е. Г. Попов Э. В. Робсон М. Уллах Ф. Девенпорт Т. [16, с. 80–85, 17, с. 30–35, 18, с. 45]	Определение методик моделирования, формирование классификаций	Классифицирование бизнес-процессов Определение роли IT – технологий в управлении процессами

Исследования А. Смита и К. Маркса заложили теоретические основы процессного подхода. Однако данные работы носили преимущественно описательный характер, не предлагая конкретных механизмов управления процессами. [10, с. 416, 11, с. 180]. В то время как в начале XX в. разрабатывались именно практические методы оптимизации производственных процессов, Ф. Тейлор подчёркивал, что «научное управление требует точного анализа каждого элемента работы», что в последствии стало основой развития процессного подхода. Его подход был механистическим, так как не учитывался человеческий фактор [3, с. 50, 12, с. 67, 13, с. 120].

Работы М. Хаммера и Дж. Чампи, Т. Дэвенпорта позволили сформировать целостную концепцию управления бизнес-процессами, суть которой заключается в переосмыслении и радикальной реорганизации ключевых процессов деятельности организации с целью достижения значительного улучшения таких показателей, как стоимость, качество, уровень обслуживания и скорость выполнения операций. Основное внимание в данной концепции уделяется сквозным бизнес-процессам, охватывающим деятельность различных функциональных подразделений, при этом управление фокусируется не на отдельных функциях, а на комплексных потоках создания ценности для потребителя. Такой подход предполагает отказ от избыточной иерархичности и бюрократизации, переход к гибким и адаптивным организационным структурам, основанным на процессной логике, что особенно важно в условиях высокой динамики внешней среды и роста конкурентного давления [5, с. 55, 14, с. 10, с. 176].

Особого внимания заслуживает определение, предложенное Хаммером: «Бизнес-процесс – это совокупность взаимосвязанных действий, преобразующих входы в выходы значимые для клиента». Ученый акцентирует внимание на результативности и целевой направленности организационной деятельности, где основным критерием эффективности процессов выступает создание ценности для конечного потребителя. Таким образом, в рамках процессного подхода объектом управления становится не отдельное подразделение или функция, а вся цепочка действий, необходимых для достижения конкретного результата, имеющего значимость с точки зрения внешнего или внутреннего клиента.

Как показали проведенные исследования, процессный подход в управлении организацией представляет собой современную методологию, ориентированную на системное управление совокупностью взаимосвязанных процессов, обеспечивающих достижение стратегических целей и создание потребительской ценности. Формирование данной парадигмы явилось результатом эволюции управленческой мысли и обусловлено необходимостью повышения адаптивности организаций к условиям внешней среды, характеризующейся высокой степенью нестабильности и неопределённости [19]. Проведенная систематизация научных взглядов экономистов свидетельствует, что эволюция управленческих теорий первоначально развивалась в направлении углубления функционального подхода к управлению. Постепенно в исследовательской среде сформировалось понимание процессного характера производственно-управленческой деятельности как её объективной характеристики. Целенаправленная деятельность, производственная или управленческая, может быть декомпозирована на отдельные структурные элементы что было обосновано ещё классиками научного менеджмента такими как Ф. Тейлор, А. Файоль, Г. Эмерсон [3, с. 45; 4, с. 112; 20, с. 184.].

Установлено, что дальнейшее развитие процессного подхода к управлению связано с формированием и внедрением прикладных методик, обеспечивающих эффективную организацию устойчивого функционального управления, ориентированного на достижение заданных параметров качества продукции и их постоянное совершенствование. Особого внимания в данном контексте заслуживают труды У. Шухарта, Э. Деминга и Д. Джурана, внесших существенный вклад в формирование современных представлений о процессном управлении. Именно они заложили методологические основы управления качеством, в рамках которого процессный подход получил наиболее полное и последовательное развитие. Как отмечается в работах У. Шухарта [21, с. 216], формализация процессов и статистический контроль их стабильности положили начало научному обоснованию функционального управления. В дальнейшем эти идеи были значительно развиты Э. Демингом [22, с. 251] и Д. Джураном [23, с. 438], которые предложили методологические подходы к непрерывному совершенствованию процессов и интеграции управления качеством в общую систему менеджмента организации. Бизнес-процесс в сельском хозяйстве – это системно организованная последовательность взаимосвязанных операций (действий), преобразующих входящие ресурсы (материальные, трудовые, информационные) в продукцию или ценность для потребителя, при этом интегрированная с цифровыми технологиями и учётно-информационным обеспечением, и ориентированная на повышение эффективности аграрных операций, снижение издержек и устойчивое развитие предприятия [25, с. 10, 26, с. 11].

Анализируя определения различных авторов, нами предложено определение категории «бизнес-процесс в сельском хозяйстве», под которой понимается устойчиво повторяющаяся и управляемая система целенаправленных действий, происходящих во взаимосвязи с биологическими циклами, сезонными условиями и природно-климатическими рисками, в рамках которой происходит координированное преобразование биологических, материальных и информационных ресурсов в сельскохозяйственную продукцию или услуги, представляющие ценность как для потребителя, так и для агроэкосистемы как элемента устойчивого воспроизводства. В данном определении ключевые отличия от универсальных трактовок заключаются в отраслевой специфике.

- Акцентируется внимание на том, что реализация бизнес-процесса в сельскохозяйственной отрасли невозможна без учёта природных и биологических условий – факторов, не поддающихся прямому контролю, но критически влияющих на результат.

- Подчёркнута необходимость гибких управленческих решений и корректировок процесса в реальном времени в ответ на нестабильную внешнюю среду.

- В отличие от традиционных моделей «вход-выход», в определение включены не только материальные и трудовые, но и биологические и информационные ресурсы, характерные именно для сельскохозяйственной деятельности.

- Результат бизнес-процесса рассматривается не только как товарная ценность для потребителя, но и как вклад в устойчивость и воспроизводство агроэкосистемы.

В рамках процессного подхода основное внимание сосредоточено на совокупности бизнес-процессов, обеспечивающих формирование прибыли предприятия, которые рассматриваются как сквозные цепочки взаимосвязанных действий и операций, проходящих через всю организационную структуру.

Функциональный подход к управлению демонстрирует высокую эффективность в условиях простой организационной структуры, когда бизнес-процесс либо полностью, либо в значительной степени реализуется в пределах одной структурной единицы.

Следует подчеркнуть, что функциональный и процессный подходы к управлению не являются взаимоисключающими. В современной управленческой практике возможно их эффективное сочетание, в том числе в рамках матричных организационных структур [24, с. 268].

Заключение

Проведённое исследование позволило выявить ключевые особенности применения процессного подхода в сельском хозяйстве и обосновать необходимость адаптации традиционных управленческих концепций к специфике аграрной отрасли. Установлено, что классические определения бизнес-процесса, разработанные в рамках индустриальной парадигмы, не в полной мере учитывают биологическую детерминацию производственных циклов, сезонность, климатическую зависимость и требования к экологической устойчивости агросистем. Автором предложено уточнённое определение бизнес-процесса в сельском хозяйстве, отражающее как экономические, так и биологические аспекты функционирования предприятий. Результаты исследования имеют прикладное значение для разработки адаптивных регламентов и внедрения цифровых решений в аграрных организациях, что способствует росту конкурентоспособности и устойчивому развитию сельскохозяйственного сектора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бычкова, С. М. Бухгалтерский учет в сельском хозяйстве: учебное пособие для студентов, обучающихся по специальности «Бухгалтерский учет, анализ и аудит» / С. М. Бычкова, Д. Г. Бадмаева. – М.: ЛитРес [поставщик], 2008. – 359 с.
2. Петров, В. С. Теоретико-методологические основы обеспечения эффективности развития промышленных предприятий: монография / В. С. Петров. – М.: Проспект, 2020. – 96 с.
3. Тейлор, Ф. У. Принципы научного менеджмента: учебник / Ф. У. Тейлор – Москва, 1991 – URL: <https://gtmarket.ru/library/basis/3631/3633/> (дата обращения: 28.07.2025).
4. Файоль, А. Общее и промышленное управление: учебник / пер. с франц.; под ред. и с предисл. проф. А. М. Емельянова – Москва, 1923. – URL: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_007987755/ Общее и промышленное управление.pdf (дата обращения 12.03.2025).
5. Хаммер, М., Чампи Дж. X 18 Реинжиниринг корпорации: Манифест революции в бизнесе. Пер. с англ. – СПб.: Издательство С.-Петербургского университета, 1997. – 332 с.
6. Родцевич, О. Н. Определение понятия «бизнес-процесс»: история возникновения и современное представление / О. Н. Родцевич // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия D: Экономические и юридические науки, 2015. – № 13. – С. 40–48.
7. Сапун, О. Л. Реинжиниринг бизнес-процессов предприятий агропромышленного комплекса в условиях цифровизации экономики / О. Л. Сапун // Актуальные проблемы экономики и управления: материалы Международной научно-практической конференции (Минск, 2024 г.) / Белорусский национальный технический университет. – Минск: БНТУ, 2024. – С. 112–118.
8. Лускатова, О. В. Современные проблемы реинжиниринга бизнес-процессов: учеб. пособие / О. В. Лускатова, М. В. Робертс: Владим. гос. унт. Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2011. – 146 с.

9. Портер, М. Э. Конкуренция / М. Э. Портер; перевод с англ.: уч. пос. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2000. – 495 с.
10. Смит, А. Исследование о природе и причинах богатства народов / А. Смит. – М.: Эксмо, 2007. – 960 с. – URL: <https://nonews.co/wp-content/uploads/2022/05/the-wealth-of-nations.pdf> (дата обращения: 09.02.2025).
11. Марк, К. Капитал: критика политической экономии: в 3 т / К. Маркс. – М.: Госполитиздат, 1955. – Т. 1. – 797 с.
12. Форд, Г. Моя жизнь, мои достижения / Г. Форд. – Минск: Попурри, 2017. – 352 с.
13. Друкер, П. Ф. Практика менеджмента / П.Ф. Друкер. – СПб.: Вильямс, 2003. – 398 с.
14. Библиотека нормативной документации [Электронный ресурс]. – URL: <https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293759/4293759338.htm>. (дата обращения: 12.07.2025).
15. APQS [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.apqc.org/resource-library/resource-listing/apqc-process-classification-framework-pcf-cross-industry-pdf-12> (дата обращения: 12.07.2025).
16. Ойхман, Е. Г. Реинжиниринг бизнеса: реинжиниринг организаций и информационные технологии / Е. Г. Ойхман, Э. В. Попов. – М.: Финансы и статистика, 1997. – 334 с.
17. Практическое руководство по реинжинирингу бизнес-процессов / Пер. с англ. под ред. Н. Д. Эриашвили. – М.: Аудит, ЮНИТИ, 1997. – 224 с.
18. Дейвенпорт, Т. Внедрение искусственного интеллекта в бизнес-практику: Преимущества и сложности: практическое руководство / Т. Дейвенпорт. – М.: Альпина Паблишер, 2021. – 316 с.
19. Гайдова, М. В. Процессный, системный и ситуационный подходы к управлению организацией [Электронный ресурс] // Полоцкий государственный университет. – 2019. – URL: <https://elib.psu.by/handle/123456789/24065> (дата обращения 12.07.2025).
20. Эмерсон, Г. Двенадцать принципов производительности. Пер. с англ. Изд. стереотип. / Г. Эмерсон, – М.: URSS, 2025. – 224 с.
21. Shewhart, Walter Andrew. Economic control of quality of manufactured product (англ.). – D. Van Nostrand Company, 1931. – P. 501.
22. Деминг, Э. Выход из кризиса. Новая парадигма управления людьми, системами и процессами / Э. Деминг, Э. В. Попов. – М.: Альпина Паблишер, 2007. – 623 с.
23. Джуран, Дж. М. Справочник по управлению качеством: В 2 т. / Дж. М. Джуран, А. Б. Годфрей; пер. с англ. – М.: Альянс, 2004. – Т. 1. – 736 с.; Т. 2. – 832 с.
24. Управление – это наука и искусство / А. Файоль, Г. Эмерсон, Ф. Тейлор, Г. Форд. – М.: Республика, 1992. – 351 с.
25. Казакевич, П. Концептуальные основы развития цифрового сельского хозяйства / П. Казакевич, А. Пилипук, А. Такун // Наука и инновации. – 2022. – № 6. – С. 10–15.
26. Такун, А. Методологические аспекты оценки эффективности цифровых технологий в точном земледелии / А. Такун, С. Макрак, С. Такун // Наука и инновации. – 2021. – № 3. – С. 11–16.

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ, СЕЛЕКЦИЯ, РАСТЕНИЕВОДСТВО

УДК 631.526.32:635.153

ОЦЕНКА ИНТРОДУЦИРОВАННЫХ СОРТОВ ДАЙКОНА ПО ПАРАМЕТРАМ АДАПТИВНОЙ СПОСОБНОСТИ И СРЕДЫ КАК ФОНА ДЛЯ ОТБОРА

В. В. СКОРИНА, ДЭН ЖУЦЗЕ

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

(Поступила в редакцию 04.09.2025)

Разнообразие культивируемых растений теоретически позволяет решить проблему обеспечения населения овощной продукцией путем введения в культуру новых видов растений. Ряд исследователей отмечают, что при создании сортов экологической стабильностью значимое место следует уделять выявлению устойчивых форм к неблагоприятным условиям внешней среды.

В статье представлена информация по оценке параметров адаптивной способности и экологической стабильности и среды как фона для отбора с целью выявления перспективных сортов дайкона по признаку «масса корнеплода», представляющих интерес в селекции культуры. Обобщение результатов оценки среды как фона для отбора на стабильность позволяет определить оптимальные пункты для ведения работы на разных этапах селекции. Для корректировки оценки генотипов необходим ежегодный контроль за параметрами среды, так как их изменчивость в значительной степени связана с ежегодными колебаниями погоды.

В результате исследований по оценке интродуцированных сортов дайкона установлено, что между сортами по степени реакции на условия среды наблюдается значительная дифференциация. Высоким значением параметра (X_i) по признаку «масса корнеплода» характеризовались сорта Чунбао, Красный Подмосковный, Сердце Подмосковья, Чжэцзян Дачанг, Московский белый, Байючунь, Ханьцзян Сюэлянь, Фэнцян. Разница между минимальным и максимальным значением у генотипов по массе корнеплода составляла 2,24–4,4 раза. Среди сортов дайкона с округлой и цилиндрической формой корнеплода по параметрам X_i , OAC_i и Sg_i выделены Сердце Подмосковья, Чунбао, Чунбайю, Мал, Гуань Ши Чуньцзе, Гуань Ши Цуй Цин, Дэгэоцин, Хунхуаюйцуй, Чуньлиган, Ханьцзян Сюэлянь, Фэнцян, Гастинец, которые обладают стабильностью в изменяющихся условиях среды и могут быть рекомендованы для дальнейшей селекционной работы в качестве источников стабильности по изучаемому признаку. Исследованиями выявлено разнообразие среди генотипов по основным параметрам адаптивности, в том числе по СЦГ.

При оценке параметров среды как фона для отбора установлено, что условия среды 2023 и 2024 гг. обладали наиболее высоким значением параметра продуктивности среды (d_k), типичностью и наименьшим значением относительной дифференцирующей способности среды.

Ключевые слова: дайкон, сорт, корнеплод, масса, интродукция, генотип, стабильность, среда, продуктивность, типичность, предсказуемость.

The diversity of cultivated plants theoretically makes it possible to solve the problem of providing the population with vegetable produce by introducing new plant species into cultivation. A number of researchers note that when developing varieties with ecological stability, significant attention should be paid to identifying forms resistant to adverse environmental conditions.

This article presents information on assessing the parameters of adaptive capacity, ecological stability, and the environment as a selection background to identify promising daikon varieties based on the root weight trait, which are of interest in crop breeding. Summarizing the results of assessing the environment as a selection background for stability allows us to determine optimal work points at different stages of breeding. To adjust genotype assessments, annual monitoring of environmental parameters is necessary, as their variability is largely related to annual weather fluctuations.

Research evaluating introduced daikon varieties revealed significant differentiation in their response to environmental conditions. The varieties Chongbao, Krasny Podmoskovny, Serdtse Podmoskovya, Zhijiang Dachang, Moskovsky Bely, Baiyuchun, Hanjiang Xuelian, and Fengqiang were characterized by high values of the parameter (X_i) for the root weight trait. The difference between the minimum and maximum values for root weight in genotypes ranged from 2.24 to 4.4 times. Among daikon varieties with round and cylindrical root shapes, the following were identified based on the X_i , OAC_i , and Sg_i parameters: Serdtse Podmoskovya, Chunbao, Chunbaiyu, Mal, Guan Shi Chunjie, Guan Shi Cui Qing, Degaoqing, Honghuayucui, Chunligang, Hanjiang Xuelian, Fengqiang, and Gastinets. These varieties exhibit stability under changing environmental conditions and can be recommended for further breeding as sources of stability for the studied trait. Research revealed diversity among genotypes in key adaptability parameters, including SCG_i.

When assessing environmental parameters as a background for selection, it was found that the environmental conditions of 2023 and 2024 had the highest values for the environmental productivity parameter (d_k), typicality, and the lowest relative differentiating ability of the environment.

Key words: daikon, variety, root crop, weight, introduction, genotype, stability, environment, productivity, typicality, predictability.

Введение

Одно из важнейших научных направлений повышения эффективности овощеводства – развитие селекции. В современных условиях теоретические исследования направлены на разработку инновационных методов и технологий, создание и оценку исходного материала, и его дальнейшее использование в селекционной работе. Кроме того, новые сорта должны обладать высокой урожайностью, устойчивостью к абиотическим и биотическим факторам среды.

Данное направление, как отмечают исследователи [1], требует глубоких знаний и взаимосвязей в системе «растение – среда», выявления и создания сортов и гибридов, хорошо адаптированных к определенным экологическим условиям.

Результаты ряда проведенных исследований [2, 3, 4] показали, что при создании сортов с экологической стабильностью особое место следует уделять разработке методов селекции и выявлению устойчивых форм к неблагоприятным условиям внешней среды. В тоже время имеется ряд недостатков, главным из которых является длительность изучения селекционного материала.

Изучением методов оценки взаимодействия генотипа и среды занимались многие исследователи [5–13 и др.]. Адаптация к новым условиям произрастания может происходить как за счет модификационной, так и генетической изменчивости, т.е. путем перестройки комплекса физиологических, биохимических и морфологических признаков самого растения и (или) образования новых норм реакции в процессе естественного или искусственного отбора [14].

Решение проблемы повышения адаптивного потенциала культивируемых видов основывается на совершенствовании принципов и методов адаптивной селекции, изучении экологических аспектов современного селекционного процесса, преодолении наметившейся тенденции к частичной утрате приспособленности у сортов интенсивного типа, разработке методических основ селекции сортов с заданными экологическими свойствами, экологической целенаправленности селекции на совокупность производственных условий, ориентации не на потенциальную, а на реальную продуктивность [15]. Разнообразие возделываемых растений теоретически позволяет решить проблему обеспечения населения разнообразной овощной продукцией путем введения в культуру новых видов растений, находивших очень ограниченное применение.

Среди возделываемых овощных культур дайкон обладает хорошими вкусовыми качествами, отсутствием остроты, наличием комплекса витаминов, ферментов и других веществ. В Беларуси культура в последние годы становится все более популярной, не только из-за высокой урожайности, но и относительно короткого вегетационного периода (30–70 дней) [16, 17].

Выделяют сорта дайкона, различающиеся как по скороспелости, так размеру и форме корнеплодов. Форма корнеплодов чаще всего цилиндрическая, округлая или овальная. Диаметр корнеплодов составляет от 5 до 40 см, длина от 10 до 60 см. Отдельные корнеплоды могут достигать длины 1,5 м. Одним из методов распространения дайкона для его успешного возделывания является интродукция сортов культуры [18–21].

Установлено, что при интродукции в новых экологических условиях растения изменяют не только морфологию роста и развития, но также урожайность и качество продукции.

Значительный вклад в теоретическое и экспериментальное обоснование экологических методов селекции ряда сельскохозяйственных культур и реализации их в практической селекции внесли исследования ряда ученых [12–20, 22].

Цель исследований – оценка параметров адаптивной способности, экологической стабильности и среды как фона для отбора по массе корнеплода интродуцированных сортов дайкона.

Основная часть

Исследования проводили на опытном поле кафедры плодовоовощеводства Белорусская государственная сельскохозяйственная академия в 2022–2024 гг. Почва дерново-подзолистая среднесуглинистая. Повторность опытов трехкратная, размещение делянок рандомизированное [23].

Объектами исследований являлись интродуцированные сорта дайкона.

В задачу входило определение параметров адаптивной способности, экологической стабильности и среды как фона для отбора генотипов дайкона и выделение среди них сорта с высоким значением признака «масса корнеплода». Экологическим фоном являлись годы испытания. Погодные

условия варьировали по годам, что способствовало объективному изучению реакции интродуцированных сортов дайкона на изменяющиеся факторы внешней среды.

Параметры адаптивной способности и экологической стабильности и среды как фона для отбора генотипов определяли по методике А. В. Кильчевского, Л. В. Хотылевой [24, 25].

Определяли следующие параметры:

X_i – среднее значение признака i -го образца в совокупности сред;

OAC_i – общая адаптивная способность i -го образца по изучаемому признаку, равная отклонению среднего значения признака i -го образца от среднего значения признака во всех образцах по опыту;

S_{gi} – относительная стабильность i -го генотипа по изучаемому признаку, показатель, аналогичный коэффициенту вариации при изучении генотипа в ряде сред, который позволяет сопоставить результаты исследований с разным набором признаков;

b_i – коэффициент регрессии, реакция сорта на улучшение (ухудшение) условий выращивания; при $b_i > 1$ генотип имеет большее значение признака по сравнению с другими сортами в лучших условиях, при $b_i < 1$ – в худших условиях, при $b_i = 0$ не реагирует на изменение условий среды;

$СЦГ_i$ – селекционная ценность i -го генотипа по изучаемому признаку. Параметр, позволяющий определить сочетание в генотипе высокого значения признака с его устойчивостью, то есть вести отбор на OAC с учетом стабильности.

Для оценки параметров среды как фона для отбора использовали коэффициент предсказуемости (P_k), комплексный показатель, позволяющий ранжировать среды по их пригодности в качестве селекционного фона:

$$P_k = t_k * S_{ek} / 100\%,$$

где t_k – коэффициент типичности k -й среды; S_{ek} – относительная дифференцирующая способность k -й среды.

При оценке сортов дайкона в различных условиях установлено, что сроки испытания в значительной степени влияют на параметры.

Параметры адаптивной способности и экологической стабильности и среды как фона для отбора определяли у сортов дайкона с округлой и цилиндрической формой корнеплода. У сортов с округлой формой корнеплода (табл. 1) высоким значением параметра (X_i) по признаку «масса корнеплода» характеризовались сорта Чунбао (608,8), Красный Подмосковский (595,4) и Сердце Подмосковья (575,3). По рангу данные генотипы занимали 1,2 и 3 места. Разница между минимальным и максимальным значением у генотипов по массе корнеплода составляла 2,24 раза. Значение параметра OAC_i у выше названных генотипов также было выше.

Таблица 1. Параметры адаптивной способности генотипов дайкона по массе корнеплода, г, (2022–2024 гг.)

Генотипы	X_i , г	OAC_i	S_{gi}	b_i	$СЦГ_i$
520	271,0	-181,65	38,50	0,510	130,9
Сердце Подмосковья	575,3	122,68	38,54	1,503	276,6
Красный Подмосковский	595,4	142,73	64,64	2,702	76,95
Чунбао	608,8	156,12	24,96	0,006	404,0
Ман Танхонг	317,7	-134,90	48,46	1,083	110,3
Саша (контроль)	347,6	-104,98	7,59	0,194	312,1

По фактору А – 8,30; по фактору В – 5,87; общее НСР₀₅– 14,38.

Отзывчивость на улучшение условий среды проявляли сорта Сердце Подмосковья ($b_i = 1,503$), Красный Подмосковский ($b_i = 2,702$), Ман Танхонг ($b_i = 1,083$). По комплексному показателю ($СЦГ_i$) выделились генотипы Чунбао (404,0), Саша (312,1), Сердце Подмосковья (276,6), что свидетельствует об их стабильности.

При изучении реакции генотипов на среду (b_i) из 6 генотипов 50,0 % отличались нестабильностью с положительной реакцией на среду, 50,0 % характеризовались как стабильные. Генотипы 520, Саша (контроль) и Чунбао отличались стабильностью. Сорт дайкона Чунбао обладал стабильностью и по реакции на среду (b_i) занимал промежуточное положение. По параметрам X_i и OAC_i (общая адаптивная способность) среди генотипов установлены достоверные различия.

По параметру S_{gi} (относительная стабильность), самый низкий показатель, имели генотипы Саша (7,59), Чунбао (24,96), образец 520 (38,50), Сердце Подмосковья (38,54).

Е. Н. Синская [26] подразделила фоны на три группы по их способности выявлять изменчивость: стабилизирующий фон, в котором полиморфизм не проявляется; анализирующий фон, способствующий выявлению изменчивости в популяции; нивелирующий фон, угнетающий различия между ними.

При сравнительной оценке параметров адаптивной способности и экологической стабильности (табл. 2) у сортов с цилиндрической формой корнеплода наиболее высокое значение параметра X_i по массе корнеплода отмечено у сортов Чунбайю Санчибай, DF Биючун, Чжзцзян Дачанг, Гуань Ши Чуньцзе, Хунхуаюйцуй, Московский белый, Байючунь, Ханьцзян Сюэлянь, Санчибай, Фэнцян.

Следует выделить генотипы с наиболее высоким показателем по массе корнеплода: Чжзцзян Дачанг – 1029,5 г, Московский белый – 110,7 г, Байючунь – 1267,6 г, Ханьцзян Сюэлянь – 1013,4 г, Фэнцян – 1010,0 г. Для выделенных генотипов характерно и высокое значение параметра OAC_i – от 429,2 до 586,1.

Стабильностью признака «масса корнеплода» (S_{gi}) характеризовались сорта Чунбайю, Мал, Гуань Ши Чуньцзе, Гуань Ши Цуй Цин, Дэгаоцин, Хунхуаюйцуй, Чуньлиган, Ханьцзян Сюэлянь, Фэнцян, Гастинец (контроль), которые также отличались высоким значением параметра селекционная ценность генотипа ($СЦГ_i$), что свидетельствует об их стабильности в данных условиях возделывания.

При изучении реакции генотипов на среду в 2022–2044 гг. признаку «масса корнеплода» из 23 образцов (8) или 34,7 % отличались нестабильностью с положительной реакцией на среду, 65,2 % (15) характеризовались стабильностью.

Таблица 2. Параметры адаптивной способности генотипов дайкона по урожайности, т/га (2022–2024 гг.)

Генотипы	X_i , г	OAC_i	S_{gi}	b_i	$СЦГ_i$
Московский белый	11 10,7	429,2	25,75	3,89	328,3
Чунбайю	775,9	94,42	4,65	0,502	677,1
Дуанье 13	669,6	-11,85	29,06	2,38	137,3
DF Биючун	742,5	61,0	24,72	0,37	240,4
Цзиньша Наньпань чжоу	571,9	-109,5	27,48	0,37	141,9
Чунбулао Цзюэцинъван	414,7	-266,7	23,32	0,70	150,1
Мал	612,1	348,0	7,24	-0,62	490,7
Чжзцзян Дачанг	1029,5	-283,4	21,22	3,04	431,8
Сякан 40	398,0	49,85	37,81	0,58	-13,6
Гуань Ши Чуньцзе	731,3	-146,3	10,57	1,15	519,8
Да Хонгпао	535,1	50,87	48,75	2,41	-178,4
Лу Тоицин	732,3	-284,6	22,0	1,03	291,5
Гуань Ши Цуй Цин	396,8	-42,64	12,08	0,70	265,6
Дэгаоцин	638,8	211,5	15,14	1,43	374,1
Хунхуаюйцуй	893,0	-387,1	6,70	0,62	729,2
Да Хунфэн	294,3	-380,3	12,26	0,503	195,5
Чуньлиган	341,1	-340,3	4,75	0,29	296,8
Байючунь	1267,6	586,1	21,39	3,69	525,6
Ханьцзян Сюэлянь	1013,4	331,9	7,65	0,15	801,2
Кесинтия	451,5	-229,9	32,77	-2,13	46,8
Санчибай	755,8	74,3	13,46	0,51	477,4
Фэнцян	1010,0	328,5	7,63	1,14	799,2
Гастинец (контроль)	287,6	-393,8	3,95	0,24	256,5

По фактору А – 11,86; по фактору В – 4,28; общее $НСР_{05}$ – 20,54.

Самыми нестабильными (S_{gi}) (наибольший показатель по признаку «масса корнеплода») оказались сорта Сякан 40 (37,81), Да Хонгпао (48,75), Кесинтия (32,77). Из указанных генотипов наибольшее значение параметра (b_i), проявление реакции на условия среды, у Да Хонгпао – 2,41.

Наибольшим значением параметра селекционная ценность генотипа ($СЦГ_i$) обладали Чунбайю, Мал, Чжзцзян Дачанг, Гуань Ши Чуньцзе, Хунхуаюйцуй, Байючунь, Ханьцзян Сюэлянь, Санчибай, Фэнцян, что свидетельствует об их стабильности. Разница между сортами по массе корнеплода составила 4,4 раза.

Приспособительная реакция растений определена генотипом, но в значительной степени зависит от биотических и абиотических факторов среды, для чего необходимо заранее выявить наиболее информативные фоны и использовать их в соответствии с задачей каждого этапа селекционного процесса.

Таблица 2. Параметры среды как фона для отбора

Среда	d_k	S_{ek}	t_k	P_k
1 набор				
2022	0,521	56,65	-162,4	0,295
2023	0,743	40,49	101,98	0,301
2024	0,969	43,30	60,46	0,419
2 набор				
2022	0,933	40,48	-74,06	0,377
2023	0,922	39,31	15,28	0,362
2024	0,964	48,51	56,78	0,467

При оценке параметров среды как фона для отбора следует отметить, что условия 2023 и 2024 гг. обладали наиболее высоким значением параметра продуктивности среды (d_k) в первом наборе, 2022 и 2024 гг. – во втором наборе генотипов.

Наиболее типичной для выращивания дайкона оказалась среда 2022 г. как при первом, так и втором наборе, а наименьшее значение параметра относительной дифференцирующей способности среды (S_{ek}) в 2023 г. По комплексному показателю коэффициент предсказуемости (P_k), наилучшими оказались условия среды 2024 г. при первом и втором наборе сортов дайкона.

Заключение

Высоким значением параметра (X_i) по признаку «масса корнеплода» характеризовались сорта с круглой формой корнеплода Чунбао (608,8), Красный Подмосковный (595,4) и Сердце Подмосковья (575,3).

Отзывчивость на улучшение условий среды проявляли сорта Сердце Подмосковья ($b_i = 1,503$), Красный Подмосковный ($b_i = 2,702$), Ман Танхонг ($b_i = 1,083$). По комплексному показателю (СЦГ_i) выделены генотипы Чунбао (404,0), Саша (312,1), Сердце Подмосковья (276,6), что свидетельствует об их стабильности. По параметру S_{gi} (относительная стабильность), самый низкий показатель, отмечен у генотипов Саша (7,59), Чунбао (24,96), Сердце Подмосковья (38,54), образца 520 (38,50).

У сортов с цилиндрической формой корнеплода по параметру X_i выделены генотипы Чжзцзян Дачанг – 1029,5 г, Московский белый – 110,7 г, Байючунь – 1267,6 г, Ханьцзян Сюэлянь – 1013,4 г, Фэнцян – 1010,0 г. Для данных генотипов характерно и высокое значение параметра OAc_i – от 429,2 до 586,1. Стабильностью признака (S_{gi}) характеризовались сорта Чунбайю, Мал, Гуань Ши Чуньцзе, Гуань Ши Цуй Цин, Дэгаоцин, Хунхуаюйцуй, Чуньлиган, Ханьцзян Сюэлянь, Фэнцян, Гастинец (контроль), которые отличались высоким значением параметра селекционная ценность генотипа (СЦГ_i), что свидетельствует об их стабильности в данных условиях возделывания.

Анализ полученных данных при изучении реакции генотипов на среду показал, что по признаку «масса корнеплода» из 23 образцов (8), или 34,7 %, отличались нестабильностью с положительной реакцией на среду, 65,2 % (15) обладали стабильностью.

Наибольшим значением параметра селекционная ценность генотипа обладали сорта Чунбайю, Мал, Чжзцзян Дачанг, Гуань Ши Чуньцзе, Хунхуаюйцуй, Байючунь, Ханьцзян Сюэлянь, Санчибай, Фэнцян. Разница между сортами по массе корнеплода минимальным и максимальным значением у генотипов составляла 2,24–4,4 раза.

При оценке параметров среды как фона для отбора установлено, что условия 2023 и 2024 гг. обладали высокой продуктивностью среды (d_k) в первом наборе и 2022 г. и 2024 г. – во втором наборе генотипов. Наиболее типичной для выращивания дайкона оказалась среда 2022 г. как при первом, так и втором наборе, наименьшее значение параметра относительной дифференцирующей способности среды (S_{ek}) характерно для условий 2023 г., По комплексному показателю коэффициент предсказуемости (P_k), в качестве селекционного фона наилучшими оказались условия среды 2024 г.

Таким образом, исследованиями выявлено разнообразие среди генотипов по основным параметрам адаптивности и среды как фона для отбора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пивоваров, В. Ф. Экологическая селекция сельскохозяйственных растений / В. Ф. Пивоваров, Е. Г. Добруцкая, Н. Н. Балашова. – М., 1994. – 204 с.
2. Жученко, А. А. Экологическая генетика культурных растений / А. А. Жученко. – Кишинев: Штиинца, 1980. – 587 с.
3. Жученко, А. А. Селекция растений (эколого-генетические аспекты) / А. А. Жученко. – Кишинев: Штиинца, 1986 б. – 35 с.
4. Кильчевский, А. В. Моделирование влияний условий среды на эффективность отбора и экологическую стабильность генотипов / А. В. Кильчевский // Доклады АН Республики Беларусь. – 1995. – Т.39, № 2. – С. 90–93.
5. Скорина, В. В. Сравнительная оценка образцов укропа пахучего по урожайности и экологической стабильности / В. В. Скорина, А. В. Петренко // Овощи России. – 2022. – № 2. – С. 20–65.
6. Бобкова, О. Н. Оценка параметров адаптивной способности и экологической стабильности при выращивании салата / О. Н. Бобкова, В. В. Скорина // Земледелие и защита растений, 2019 – № 2. – С. 58–63.
7. Скорина В. В. Комплексная оценка параметров адаптивной способности и экологической стабильности генотипов для селекции чеснока озимого / В. В. Скорина, Вит. В. Скорина // Овощи России. – № 4. – 2023. – С. 58–61.
8. Скорина, В. В. Селекция фасоли овощной (*Phaseolus vulgaris* L.) на продуктивность и эко-логическую стабильность / В. В. Скорина, Е. В. Панкруская // Вестник Белорус. гос. сельскохозяй. академии. – 2023. – № 4.
9. Кильчевский, А. В. Экологическая селекция растений / А. В. Кильчевский, Л. В. Хотылева. – Минск: Технология, 1997. – 372 с.
10. Пивоваров, В. Ф. Экологическая селекция сельскохозяйственных растений / В. Ф. Пивоваров, Е. Г. Добруцкая, Н. Н. Балашова. – М., 1994. – 204 с.
11. Скорина, В. В. Селекция на адаптивность овощных и пряно-вкусовых культур / В. В. Скорина. – Горки, 2005. – 205 с.

12. Скорина, В. В. Экологическая оценка параметров адаптивной способности и среды при выращивании овощных и пряно-вкусовых культур / В. В. Скорина // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии –2004.– №1. – С. 22–27.
13. Кильчевский, А. В. Информативность среды для оценки сортов томата в Государственном сортоиспытании и их адаптивная способность / А. В. Кильчевский, В. В. Скорина // Земляробства і ахова раслін. – 2004. – №2 – С. 51–52.
14. Жученко, А. А. Стратегия адаптивной интенсификации сельскохозяйственного производства: роль науки в повышении эффективности растениеводства / А. А. Жученко, А. Д. Урсул; АН МССР. Отд-ние генетики растений, отд-ние философии и права. – Кишинев: Штиинца, 1983. – 304 с.
15. Кильчевский, А. В. Генотип и среда в селекции растений / А. В. Кильчевский, Л. В. Хотылева; Ин-т генетики и цитологии АН БССР. – Минск: Наука и техника, 1989. – 191 с.
16. Кононков, П. Ф. Новые овощные растения / П. Ф. Кононков, М. С. Бунин, С. Н. Конокова. 3-е изд., перераб. и доп. – М.: «Нива России», 1992. – С. 58–68.
17. Дэн Жуцзе Морфо-биологическая оценка сортообразцов дайкона в северо-восточной части Беларуси / Дэн Жуцзе, В. В. Скорина // Вестник Белорус. гос. сельскохоз. академии. – 2025. – № 2. – С. 85–89.
18. Бунин, М. С. Интродукция дайкона в Нечерноземье / М. С. Бунин, С. М. Сычѳв // Картофель и овощи. – 1994. – №3. – С. 24–26.
19. Бунин, М. С. Дайкон – качественно новый для России овощ / М. С. Бунин // Картофель и овощи. – 1992. – № 5–6. – С. 10–14.
20. Лудилов, В. А. Всѳ об овощах / В. А. Лудилов, М. И. Иванова. – М., 2010. – С. 98–100.
21. Гвоздѳв, М. В. Формирование показателя урожайности сортов дайкона в зависимости от срока посева / М. В. Гвоздѳв, С. В. Жаркова // International Journal of Humanities and Natural Sciences, 2019. – vol. 9–1.
22. Кильчевский, А. В. Экологическая селекция растений / А. В. Кильчевский, Л. В. Хотылева. – Минск: Технология, 1997. – 372 с.
23. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. – 5-е изд., доп. и перераб. М.: Агропромиздат, 1985.– 351 с.
24. Кильчевский, А. В. Комплексная оценка среды как фона для отбора в селекционной программе / А. В. Кильчевский // Доклады АН БССР. – 1986. –Т. 30, № 9. – С. 846–849.
25. Кильчевский, А. В. Метод оценки адаптивной способности и стабильности генотипов, дифференцирующей способности среды. Сообщение I. Обоснование метода / А. В. Кильчевский, Л. В. Хотылева // Генетика. – 1985. –Т. 21, № 9. – С. 1481–1490.
26. Синская, Е. Н. Динамика вида / Е. Н. Синская. – М.; Л.: Сельхозиздат, 1948. – 527 с.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ СПОСОБОВ РАЗМНОЖЕНИЯ 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 08.09.2025)

Лаванда узколистная (*Lavandula angustifolia* Mill.) является перспективной эфирно-масличной, лекарственной и пряно-ароматической культурой для возделывания в почвенно-климатических условиях Республики Беларусь. Эфирное масло лаванды узколистной используется в парфюмерно-косметической промышленности при производстве духов, туалетной воды, шампуней, дезодорантов и мыла. Эфирное масло проявляет также широкий спектр фармакологического действия, в том числе спазмолитическое, седативное, антисептическое и противовоспалительное, что обуславливает его ценность в фитотерапии и ароматерапии. Цветки лаванды узколистной как пряность употребляются в кулинарии. Лаванда узколистная относится, кроме того, к ценным декоративным растениям и является хорошим нектароносом.

В полевых исследованиях на окультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в Белорусской государственной сельскохозяйственной академии изучены семенной (рассадой) и вегетативные (черенкованием) способы размножения районированного сорта лаванды узколистной Лазурная. В результате исследований установлено, что наибольшие показатели продуктивности (высота растения, количество побегов, масса одного растения), урожайность зеленой массы (первый год возделывания – 805–910 г/м²; второй год возделывания – 1178–1202 г/м²; третий год возделывания – 2753–2823 г/м² в зависимости от способа стратификации) и чистый доход (в среднем за три года исследований 3,10–3,22 руб/м²) получены при семенном способе размножения рассадой лаванды узколистной. При вегетативном способе размножения черенками урожайность зеленой массы лаванды узколистной в зависимости от класса черенков в первый год возделывания составила 525–548 г/м², во второй год возделывания – 863–887 г/м², на третий год возделывания – 2683–2788 г/м² при чистом доходе в среднем за три года исследований 2,57–2,70 руб/м².

Ключевые слова: лаванда узколистная, способы размножения, продуктивность, зеленая масса, урожайность, экономическая эффективность.

Lavender (*Lavandula angustifolia* Mill.) is a promising essential oil, medicinal and spice-aromatic plants for cultivation in the soil and climatic conditions of the Republic of Belarus. The essential oil of lavender is used in the perfumery and cosmetic industry for the production of perfumes, toilet water, shampoos, deodorants and soap. The essential oil also exhibits a wide range of pharmacological effects, including antispasmodic, sedative, antiseptic and anti-inflammatory properties, which determine its value in phytotherapy and aromatherapy. Flower of lavender are used as a spice in cooking. In addition, lavender is a valuable ornamental plant and a good nectar source.

Field studies on cultivated sod-podzolic light loamy soil at the Belarussian State Agricultural Academy investigated the seed (seedlings) and vegetative (cutting) methods of propagating the zoned lavender variety Lazurnaya. As a result of the research, it was found that the highest productivity indicators (plant height, number of shoots, mass of a single plant), green mass yield (first year of cultivation – 805–910 g/m², second year of cultivation – 1178–1202 g/m², third year of cultivation – 2753–2823 g/m² depending on the stratification method), and net income (average over three years of research 3.10–3.22 rub/m²) were obtained using the seed propagation method with lavender seedlings. With vegetative propagation using cutting, the yield of lavender green mass, depending on the class of cutting, was 525–548 g/m² in the first year of cultivation, 863–887 g/m² in the second year and 2683–2788 g/m² in the third year, with an average net income over the three years of study of 2.57–2.70 rub/m².

Key words: lavender, breeding methods, productivity, green mass, yield, economic efficiency.

Введение

Лаванда узколистная (*Lavandula angustifolia* Mill.) относится к ценным эфирно-масличным, пряно-ароматическим и лекарственным культурам, эфирное масло, цветки и зеленая масса которой с успехом применяются в различных отраслях экономики: парфюмерии и косметологии, традиционной и народной медицине, кулинарии и пищевой промышленности, декоративном садоводстве и садово-парковом строительстве [1–10].

При возделывании пряно-ароматических и эфирно-масличных культур, в т. ч. и лаванды узколистной, важное значение имеют способы их размножения, что позволяет получать высокие и устойчивые урожаи товарной продукции, а также вести семеноводство этих культур, в почвенно-климатических условиях Республики Беларусь [11–22].

Размножается лаванда узколистная вегетативным и семенным способом. Исследования показали, что при семенном размножении образуется крайне неоднородное потомство, отличающееся по це-

лomu ряду признаков (морфологическому строению куста, срокам цветения, содержанию эфирного масла и т. п.) [13, 22].

В Государственный реестр сортов Республики Беларусь в настоящее время внесено 2 сорта лаванды узколистной (*Lavandula angustifolia* Mill.), рекомендуемых для товарного производства и приусадебного возделывания: Краевая (2014 г.), Лазурная (2014 г.) [23].

Цель исследования – изучить агроэкономическую эффективность различных способов возделывания лаванды узколистной.

Основная часть

Исследования по оценке различных способов размножения у лаванды узколистной 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_{KCl} 6,1–6,2, P₂O₅ (0,2 М HCl) – 173–182 мг/кг, K₂O (0,2 М HCl) – 205–212 мг/кг, гумус (0,4 н K₂Cr₂O₇) – 2,5–2,7 % (индекс агрохимической окультуренности 0,85) [24].

Наступление основных фенологических фаз: 1) бутонизация (набухание цветочных почек); 2) цветение (вступление в фазу 10 % растений); 3) полное цветение (вступление в фазу 75 % растений); 4) созревание семян определяли по методике И. Н. Бейдеман [25].

В исследованиях изучали сорт лаванды узколистной Лазурная селекции Ботанического сада НАН Беларуси [23].

Схемы опытов предусматривали варианты с различными способами семенного (рассадой) и вегетативного (черенкованием) размножения.

Полевые исследования, проведение лабораторных измерений и статистическую обработку результатов проводили согласно существующим методикам [26–30].

При возделывании лаванды узколистной сорта Лазурная производили обязательную стратификацию семян в течение 45 дней. Посев семян на рассаду проводили в ящики в зависимости от метода стратификации (по 100 семян в четырехкратной повторности): 1) для классического метода в ноябре наполняли емкость грунтом, хорошо увлажняли почву, сверху насыпали слой песка толщиной 1,0–1,5 см. По всей поверхности грунта равномерно распределяли слой снега. На снег размещали семена, которые сверху также присыпали снегом. Под действием низкой температуры снега семена проходят быструю естественную стратификацию, а когда снег тает, опускаются на почву; 2) для метода стратификации с обработкой семян перекисью водорода в феврале семена размещали в чашках Петри, перекись водорода не только обеззараживает семена, но и размягчает их оболочку, насыщает семена кислородом и ускоряет прорастание: использовали 5 мл перекиси водорода на 200 мл воды. Полученным раствором увлажняли кусочки ткани с семенами – экспозиция на 30 минут, затем убрали в холодильник на 30 минут; 3) для метода стратификации в термостате при температуре (+3...+5 °С): укладывали ватный диск в чашку Петри и смачивали его из пульверизатора. Насыпали семена на влажный ватный диск. Сверху накрывали вторым ватным диском, смоченным водой. Укладывали увлажненные ватные диски с семенами внутри в полиэтиленовый пакет и помещали в нижний ящик холодильника (температура +3...+5 °С) на 1–2 месяца; 4) способ шоковой стратификации: упаковку с семенами укладывали в морозильную камеру (температура -18 °С) на 7 дней; 5) для метода стратификации в термостате под СВЧ излучением (частотой 2,45 ГГц) семена размещали в чашках Петри при длительности предпосевной обработки семян СВЧ в течение 30 секунд.

Вегетативное размножение осуществляли однолетними черенками на участке Ботанического сада УО БГСХА. Посадку осуществляли во второй половине октября и ноября. Черенки заготавливали в питомнике-маточнике, который является главным звеном при производстве чистосортного посадочного материала. При этом кусты на маточнике были хорошо развиты, чтобы из них можно было получить максимальное количество черенков (в среднем 15–25 черенков). Для этого в питомнике растения лаванды имели максимальную площадь питания (1,0 × 0,5–1,0 м). Черенки нарезали (длина 9–12 см, толщина от 2 и более мм) и высаживали в заранее подготовленную гряду. Весной саженцы выкапывали и сортировали. Саженцам присваивали классность по развитию корневой системы: саженцы первого класса имели от шести и более развитых корней, второго класса – от четырех до пяти корней, третьего класса – от одного до трех развитых корней. Саженцы высаживали на постоянное место во второй декаде мая (одновременно с высадкой рассады, схема 30 × 30 см).

Как показали результаты исследования, способы размножения оказали значительное влияние на рост и развитие лаванды узколистной (табл. 1–2).

В первый год возделывания лаванды узколистной при размножении ее рассадой в зависимости от способа стратификации семян высота растений составила 14–25 см, количество побегов – 6–7 шт., масса одного растения – 69–75 г, урожайность зеленой массы – 805–910 г/м². Во второй год возделывания высота растений в зависимости от способа стратификации возросла до 38–40 см, количество побегов – до 40–41 шт., масса одного растения – до 101–103 г, урожайность зеленой массы – до 1178–1202 г/м². В третий год возделывания получены максимальные показатели продуктивности лаванды узколистной: высота растений – 47–48 см, количество побегов – 45–46 шт., масса одного растения – 236–242 г, урожайность зеленой массы – 2753–2800 г/м². Способ стратификации семян оказал некоторое влияние на основные продуктивные показатели лаванды узколистной только в первый год возделывания, когда урожайность зеленой массы лаванды узколистной в фазу цветения в варианте со стратификацией семян в термостате существенно превысила аналогичный показатель в других вариантах (кроме варианта при шоковом методе стратификации). Во второй и третий год возделывания урожайность зеленой массы при всех способах стратификации семян находилась в пределах НСР.

Таблица 1. Продуктивность лаванды узколистной при семенном способе размножения рассадой в зависимости от метода стратификации

Год возделывания	Высота растения, см	Количество побегов, шт.	Масса одного растения, г	Фаза цветения	Зеленая масса, г/м ²
Классический метод стратификации					
1 год	19	6	70	+	817
2 год	40	41	103	+	1202
3 год	48	45	240	+	2800
Среднее	36	31	138		1606
Шоковый метод стратификации					
1 год	25	6	75	+	875
2 год	38	40	101	+	1178
3 год	48	45	236	+	2753
Среднее	37	30	137		1602
Обработка семян перекисью водорода					
1 год	23	7	71	+	828
2 год	39	40	102	+	1190
3 год	47	45	238	+	2777
Среднее	36	31	137		1598
Стратификация в термостате					
1 год	25	7	78	+	910
2 год	40	41	103	+	1202
3 год	48	46	242	+	2823
Среднее	38	31	141		1645
Стратификация под СВЧ излучением					
1 год	14	6	69	+	805
2 год	40	41	102	+	1190
Среднее	27	23	85		997
НСР ₀₅	1,8	1,5	6,5		76,3

При вегетативном способе размножения черенками в зависимости от класса черенков высота растений лаванды узколистной в первый год возделывания составила 27–28 см, количество побегов – 7–8 шт., масса одного растения – 45–47 г, урожайность зеленой массы – 525–548 г/м². Во второй год возделывания лаванды узколистной при размножении черенками высота растений оказалась 37–38 см, количество побегов – 31 шт., масса одного растения – 74–76 г, урожайность зеленой массы – 863–887 г/м².

В третий год возделывания лаванды узколистной при размножении черенками также, как и при семенном способе размножения, отмечены максимальные показатели продуктивности: высота растений составила 47–48 см, количество побегов – 45–46 шт., масса одного растения – 230–239 г, урожайность зеленой массы – 2683–2788 г/м².

Черенки более высокого класса имели некоторую тенденцию влияния на основные показатели продуктивности лаванды узколистной, однако существенное превышение урожайности зеленой массы отмечено только на третий год возделывания при использовании черенков I класса в сравне-

нии с черенками III класса. При этом существенного отличия между черенками I и II класса, а также II и III класса не выявлено.

Сравнивая семенной и вегетативный способы размножения лаванды узколистной, следует отметить более высокие показатели массы одного растения и урожайности зеленой массы при рассадном способе размножения, что особенно проявилось в 1 и 2 год возделывания. На 3 год возделывания лаванды узколистной урожайность зеленой массы в значительной степени нивелировалась и практически уже не зависела от способа размножения.

Таблица 2. Продуктивность лаванды узколистной при вегетативном способе размножения черенками в зависимости от присвоенного класса

Год возделывания	Высота растения, см	Количество побегов, шт.	Масса одного растения, г	Фаза цветения	Зеленая масса, г/м ²
I класс					
1 год	28	8	47	+	548
2 год	38	31	76	+	887
3 год	48	46	239	+	2788
Среднее	38	28	121		1408
II класс					
1 год	27	7	47	+	548
2 год	38	31	75	+	875
3 год	48	46	234	+	2730
Среднее	38	28	119		1384
III класс					
1 год	27	7	45	+	525
2 год	37	31	74	+	863
3 год	47	45	230	+	2683
Среднее	37	28	116		1357
НСР ₀₅	1,9	1,4	5,9		69,2

Наряду с показателями продуктивности, важное значение в оценке эффективности различных агротехнических приемов, в т. ч. и способов возделывания, имеют показатели экономической эффективности [31–32]. Так как фаза цветения у лаванды узколистной наступала во все годы исследований независимо от способа размножения, расчет чистого дохода возделывания лаванды узколистной мы провели в среднем за три года исследований. Средние оптовые закупочные цены за 1 кг зеленой массы лаванды узколистной брали из расчета 2,5 руб.

Следует, однако, отметить, что величина закупочных цен может значительно варьировать в зависимости востребованности культуры, а также сезонности и емкости рынка сбыта товарной продукции [32].

Как показали результаты исследований, при возделывании лаванды узколистной рассадным способом, величина чистого дохода в зависимости от способа стратификации составила 3,10–3,22 руб/м², при размножении черенками – 2,57–2,70 руб/м² (табл. 3).

Таблица 3. Экономическая эффективность возделывания лаванды узколистной в зависимости от способа размножения, среднее за 2023–2025 гг.

Способ размножения (в зависимости от метода стратификации и классности)	Урожайность зеленой массы, ц/га	Стоимость продукции, руб/га	Затраты, руб/га	Чистый доход	
				руб/га	руб/м ²
Рассадой					
Естественный	160,6	40150	8943,3	31206,7	3,12
Шоковый	160,2	40050	8943,3	31106,7	3,11
Обработка перекисью водорода	159,8	39950	8943,3	31006,7	3,10
В термостате	164,5	41125	8943,3	32181,7	3,22
Черенками					
I класс	140,8	35200	8225,8	26974,2	2,70
II класс	138,4	34600	8225,8	26374,2	2,64
III класс	135,7	33925	8225,8	25699,2	2,57

Основные качественные показатели лаванды узколистной отличались определенной вариабельностью, но в большей мере зависели не от способа размножения, а от года возделывания [1, 33–38].

Так, среднее содержание эфирных масел варьировало в пределах 0,78–2,15 %, сырого протеина – 10,5–15,1 %, сырого жира – 1,2–3,2 %, сырой золы – 8,8–15,0 %, сырой клетчатки – 22,3–30,0 %, ви-

тамина С – 23,7–31,4 мг/100 г, каротина – 42,3–54,7 мг/кг, азота – 1,68–2,41 %, фосфора – 0,24–0,36 %, калия – 1,28–2,12 %, кальция – 1,00–1,06 %, магния – 0,25–0,42 %, меди – 5,3–7,5 мг/кг, цинка – 19,6–29,2 мг/кг, марганца – 18,0–43,0 мг/кг.

Заклучение

В исследованиях на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве установлено, что большие показатели массы одного растения и урожайности зеленой массы лаванды узколистной сорта Лазурная (первый год возделывания – 805–910 г/м²; второй год возделывания – 1178–1202 г/м²; третий год возделывания – 2753–2823 г/м² в зависимости от метода стратификации семян) получены при семенном размножении рассадой.

При вегетативном способе размножения черенками урожайность зеленой массы в зависимости от состояния черенков в первый год возделывания составила 525–548 г/м², во второй год возделывания – 863–887 г/м², третий год возделывания – 2683–2788 г/м².

Максимальные показатели чистого дохода получены при возделывании лаванды узколистной рассадным способом – 3,10–3,22 руб/м² в зависимости от метода стратификации семян. При вегетативном размножении черенками чистый доход при возделывании лаванды узколистной в среднем за три года исследований составил 2,57–2,70 руб/м².

ЛИТЕРАТУРА

1. Генетические ресурсы растений. Пряно-ароматические и эфирно-масличные культуры / Т. В. Сачивко, Н. А. Дуктова, О. А. Порхунцова [и др.]. – Горки: БГСХА, 2021. – 22 с.
2. Корзун, О. С. Декоративное садоводство / О. С. Корзун, А. С. Бруйло, Т. В. Сачивко. – Гродно: ГГАУ, 2024. – 256 с.
3. Маланкина, Е. Л. Лекарственные и эфирномасличные культуры / Е. Л. Маланкина, А. Н. Цицилин. – М.: Инфра-М, 2024. – 368 с.
4. Перспективные лекарственные и пряно-ароматические растения / В. В. Титок, Л. В. Кухарева, И. Н. Тычина [и др.]. – Минск: Беларуская навука, 2023. – 287 с.
5. Сачивко, Т. В. Сухоцветы ботанического сада / Т. В. Сачивко, В. П. Моисеев, О. П. Суринович. – Горки: БГСХА, 2020. – 25 с.
6. Сачыўка, Т. У. Вострасмакавыя культуры ў ландшафтным будаўніцтве / Т. У. Сачыўка, В. М. Босак // Лесное хозяйство. – Минск: БГТУ, 2024. – С. 440–442.
7. Сачыўка, Т. У. Перспектыўныя накірункі выкарыстання вострасмакавых і эфірна-алеіных культур / Т. У. Сачыўка, В. М. Босак // Лесное хозяйство. – Минск: БГТУ, 2025. – С. 478–480.
8. 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. 82–84.
9. Biosynthesis and therapeutic properties of Lavandula essential oil constituents / G. Woronuk, Z. Demissie, M. Rheault, S. Mahmoud // *Planta Medica*. – 2011. – Vol. 77. – P. 7–15.
10. Kivrak, S. Essential oil composition and antioxidant activities of eight cultivars of Lavender and Lavandin from western Anatolia / S. Kivrak // *Industrial Crops and Products*. – 2018. – Vol. 117. – P. 88–96.
11. Блохин, А. А. Подзимнее черенкование лаванды узколистной / А. А. Блохин, Т. В. Сачивко // Технологические аспекты возделывания сельскохозяйственных культур. – Горки: БГСХА, 2022. – С. 36–39.
12. Блохин, А. А. Способы размножения душицы обыкновенной / А. А. Блохин, Т. В. Сачивко // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2025. – № 3. – С. 66–70.
13. Влияние типа черенков на их укореняемость и выход саженцев лаванды узколистной / О. Б. Скипор, С. С. Бабанина, В. А. Золотилова, О. М. Золотилова // Достижения науки и техники АПК. – 2017. – Т. 31, № 5. – С. 40–42.
14. Сачивко, Т. В. Влияние росторегулирующих препаратов на укореняемость черенков иссопа лекарственного и руты душистой / Т. В. Сачивко, В. Н. Босак // Технологические аспекты возделывания сельскохозяйственных культур. – Горки: БГСХА, 2023. – С. 223–224.
15. Сачивко, Т. В. Особенности размножения коллекционных интродукций листовных растений / Т. В. Сачивко, А. П. Гордеева, В. Н. Босак // Плодоводство, семеноводство, интродукция древесных растений. – 2018. – Т. 21. – С. 215–217.
16. Сачивко, Т. В. Особенности способов размножения *Hyssopus officinalis* L. и *Ruta graveolens* L. / Т. В. Сачивко, В. Н. Босак, Е. В. Яковлева // Вестник аграрной науки. – 2023. – № 2. – С. 49–56.
17. Сачивко, Т. В. Особенности технологии возделывания базилика / Т. В. Сачивко, В. Н. Босак // Сельское хозяйство – проблемы и перспективы. – Гродно: ГГАУ, 2015. – Т. 29. – С. 134–139.
18. Сачивко, Т. В. Приемы возделывания иссопа лекарственного / Т. В. Сачивко // Сельское хозяйство – проблемы и перспективы. – Гродно: ГГАУ, 2023. – Т. 62. – С. 127–133.
19. Сачивко, Т. В. Различные способы стратификации лаванды узколистной / Т. В. Сачивко, А. А. Блохин // Технологические аспекты возделывания сельскохозяйственных культур. – Горки: БГСХА, 2025. – С. 275–277.
20. Сачивко, Т. В. Рассадный и семенной способы возделывания базилика / Т. В. Сачивко, В. Н. Босак // Сельское хозяйство: проблемы и перспективы. – Гродно: ГГАУ, 2017. – Т. 38. – С. 201–207.

21. Сачивко, Т. В. Эффективность и особенности способов размножения пряно-ароматических и эфирно-масличных культур / Т. В. Сачивко, В. Н. Босак // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2023. – № 3. – С. 64–69.
22. Элементы технологии размножения лаванды узколистной сорта Синева / О. Б. Скипор, В. А. Золотилова, О. М. Золотилова, М. В. Савченко // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2017. – № 67. – С. 229–235.
23. Государственный реестр сортов Республики Беларусь / Государственная инспекция по испытанию и охране сортов растений. – Минск, 2024. – 292 с.
24. Почвенная характеристика опытного участка «Полигон» / В. Н. Босак, Е. Ф. Валеяша, Т. В. Сачивко [и др.] // Технологические аспекты возделывания сельскохозяйственных культур. – Горки: БГСХА, 2024. – С. 28–30.
25. Бейдеман, И. Н. Методика изучения фенологии растений и растительных сообществ / И. Н. Бейдман. – Новосибирск: Наука, 1974. – 153 с.
26. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б. А. Доспехов. – Москва: Альянс, 2011. – 352 с.
27. Козловская, И. П. Производственные технологии в агрономии / И. П. Козловская, В. Н. Босак. – Москва: Инфра-М, 2016. – 336 с.
28. Литвинов, С. С. Методика полевого опыта в овощеводстве / С. С. Литвинов. – Москва: ВНИИО, 2011. – 650 с.
29. 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.
30. 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.
31. Босак, В. Н. Агроэкономическая эффективность возделывания пряно-ароматических и эфирно-масличных культур / В. Н. Босак, Т. В. Сачивко // Сельское хозяйство – проблемы и перспективы. – Гродно: ГГАУ, 2023. – Т. 62. – С. 37–44.
32. 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.
33. 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.
34. Блохин, А. А. Особенности биохимического состава душицы обыкновенной и лаванды узколистной / А. А. Блохин // Технологические аспекты возделывания сельскохозяйственных культур. – Горки: БГСХА, 2025. – С. 23–25.
35. 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.
36. Блохин, А. А. Элементный состав пряно-ароматических растений душицы обыкновенной и лаванды узколистной / А. А. Блохин, Н. В. Барбасов // Наука и инновационные технологии в решении проблем продовольственной безопасности. – Горки: БГСХА, 2025. – Ч. 1. – С. 49–52.
37. Содержание и вынос элементов питания зелеными, пряно-ароматическими и эфирно-масличными культурами на дерново-подзолистых почвах / В. Н. Босак, Т. В. Сачивко, О. А. Цыркунова, А. А. Блохин // Овощеводство. – 2022. – Т. 30. – С. 6–13.
38. Цыркунова, О. А. Лекарственные растения. Химический состав лекарственных растений / О. А. Цыркунова, Т. В. Сачивко. – Горки: БГСХА, 2023. – 72 с.

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ СОРТА ЛЬНА МАСЛИЧНОГО, АДАПТИРОВАННОЙ К УСЛОВИЯМ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Е. В. ИВАНОВА, Е. Л. АНДРОНИК

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

(Поступила в редакцию 08.09.2025)

Лён масличный относится к важным сельскохозяйственным культурам мирового земледелия. Экспортный спрос является стимулом к увеличению производства семян льна масличного в Беларуси. Актуальной задачей для устойчивого повышения урожайности и качества продукции с единицы площади является создание сортов сельскохозяйственных культур с высокой потенциальной продуктивностью. Однако ее реализация зависит как от условий возделывания, так и от способности самих растений противостоять экологическим стрессам. Новые сорта должны обладать устойчивостью к болезням и вредителям, сочетать высокую отзывчивость на плодородие почвы и устойчивость к лимитирующим факторам среды.

В статье представлены результаты изучения 10 сортов льна масличного белорусской селекции по 15 селекционно ценным признакам (урожайность семян, высота растений, техническая длина, период вегетации, устойчивость к болезням, количество коробочек и семян с одного растения, количество семян в коробочке, масса 1000 семян и масса семян с растения, содержание масла и сырого протеина, массовая доля олеиновой, линолевой и линоленовой кислот) в течение 2019–2023 гг. В результате исследований разработана селекционная модель сорта льна масличного, адаптированного к условиям Республики Беларусь. Наряду со средней величиной признака для полной характеристики создаваемой модели были использованы размах вариации и корреляционный анализ, отражающий характер варьирования рядов распределения признаков. Предложенная модель может быть использована в селекции при подборе родительских форм для скрещивания и при оценке селекционного материала на последних этапах селекции.

Ключевые слова: лён масличный, модель сорта, корреляционные взаимосвязи, селекционно ценные признаки, урожайность, масличность, варьирование.

Oil flax is an important agricultural crop in global agriculture. Export demand is driving increased flaxseed production in Belarus. A pressing challenge for sustainably increasing yields and product quality per unit area is the development of crop varieties with high potential productivity. However, this depends both on cultivation conditions and the ability of the plants themselves to withstand environmental stress. New varieties must be resistant to diseases and pests, and combine high responsiveness to soil fertility with tolerance to limiting environmental factors.

This article presents the results of a study of 10 Belarusian-bred oil flax varieties across 15 breeding-valuable traits (seed yield, plant height, technical length, growing season, disease resistance, number of capsules and seeds per plant, number of seeds per capsule, thousand-seed weight and seed weight per plant, oil and crude protein content, and mass fraction of oleic, linoleic, and linolenic acids) from 2019 to 2023. As a result of the study, a breeding model for an oil flax variety adapted to the conditions of the Republic of Belarus was developed. Along with the average trait value, the range of variation and correlation analysis reflecting the nature of variation in the trait distribution series were used to fully characterize the developed model. The proposed model can be used in breeding when selecting parental forms for crossing and when evaluating breeding material at the final stages of selection.

Key words: oil flax, variety model, correlations, valuable breeding traits, yield, oil content, variation.

Введение

В настоящее время селекция растений достигла громадного расцвета и больше не в состоянии совершать гигантских скачков, а всякий ее дальнейший шаг становится все более и более затруднительным. Огромное число селекционеров в различных странах мира создают свои собственные модели новых сортов, что является насущной потребностью при разработке селекционных программ [1]. Интересные модели сортов льна представлены для условий орошения Румынии (А. Тіану, N. Saulescu и др.), Беларуси (С. И. Вакула с соавт., В. З. Богдан с соавт.), России (Т. Н. Лучкина, Е. В. Картамышева).

Опыт селекционной работы со льном в Беларуси достаточно прогрессивен и привел к созданию ряда коммерческих сортов льна масличного, обладающих комплексом хозяйственно ценных показателей, востребованных не только в республике, но и за рубежом [2].

Известно, что наиболее полная реализация наследственных возможностей сорта проявляется лишь в том случае, если он сочетает максимальную приспособленность к условиям конкретной зоны с оптимальными значениями хозяйственно-ценных признаков [3, 4]. Поэтому разработку модели сорта льна масличного для условий Республики Беларусь осуществляли на основе изучения 10 районированных сортов отечественной селекции по 15 селекционно ценным признакам. Наряду со средней величиной признака для полной характеристики создаваемой модели были использованы

размах вариации признаков и корреляционный анализ, отражающий характер варьирования рядов распределения признаков.

Целью научной статьи являлась разработка модели сорта льна масличного и ее обоснование для условий Республики Беларусь.

Основная часть

Сорта льна масличного высевали в 2019–2023 гг. в демонстрационном питомнике на делянках 11 м² с повторениями [5]. Почва участков дерновоподзолистая, среднесуглинистая, подстилаемая с глубины 1 метра моренным суглинком. Агрохимические показатели почвы за годы исследований: рН (KCl) – 5,0–5,3 ед., содержание подвижных фосфатов (P₂O₅) – 190,0–280,0 мг/1 кг почвы, обменного калия (K₂O) – 195,8–259,0 мг/1 кг почвы, содержание гумуса – 1,6 %.

В Республике Беларусь лен масличный используют для получения семян и масла, поэтому разрабатываемый вариант модели сорта льна масличного учитывал его назначение.

Урожайность является сложным признаком, предопределяющимся многими факторами [6, 7]. В модели сорта селекционеры часто закладывают продуктивность, труднодостижимую при современных экономических условиях, что приводит к резкому разрыву между урожайностью при оценке ее максимально возможных значений в Государственном сортоиспытании и реальной урожайностью в производстве (оазисный эффект, А. А. Жученко, 2009). Так, например, у контрольного сорта льна масличного Салют за 2019–2021 гг. урожайность семян в ГСИ РБ в среднем составляла 14,5 ц/га (при абсолютном максимуме в ГСИ – 30,3 ц/га).

Средняя урожайность отечественных сортов льна масличного в демонстрационном питомнике за годы изучения составила 11,44±3,87 ц/га. Среди проанализированных сортов наибольшей средней урожайностью семян выделяются Альянс (урожайность за годы исследований – 12,18±3,94 ц/га), Славянин (12,72±4,13 ц/га) и Бонус (13,20±4,64 ц/га). Разрабатываемая модель сорта льна масличного предполагала формирование биотипа, который при реализации указанных параметров, сможет превзойти по этому признаку существующий контрольный сорт на 10–15 %, однако такая урожайность будет недостаточной для обеспечения высокого экономического эффекта от выращивания культуры, поэтому в модели сорта заложена урожайность на уровне 18–20 ц/га.

Коэффициент вариации признака «высота растений» за годы исследований у белорусских сортов льна масличного составила 12,0 %. Признак важен в условиях с нестабильными погодными условиями, поскольку коррелирует с урожайностью. Сорта льна масличного имели высоту растений в среднем по годам исследований в пределах 50,8–57,6 см, и достоверно не отличались, поэтому за основу для модели сорта взята высота районированных сортов на уровне 50–55 см, принятая оптимальной согласно европейскому стандарту возделываемых сортов льна на семена [8].

Значимую прямую корреляционную связь с урожайностью обеспечивала общая высота растений ($r=0,70$). Техническая длина имела с урожайностью отрицательную корреляцию ($r=-0,64$), поэтому увеличение урожайности у отечественных сортов должно происходить в основном за счет развития соцветия. Повышение урожайности льна масличного возможно с помощью селекционного улучшения генотипов по признакам ее структуры, которые являются ключевыми в ее формировании и непосредственными составляющими.

Установлено, что из всех элементов структуры наиболее значимое влияние на урожайность у исследуемых сортов оказывала масса семян с одного растения ($r=0,51$), в меньшей степени – количество коробочек ($r=0,35$) и количество семян на одном растении ($r=0,28$).

Варьирование большинства признаков структуры урожая по сортам было высоким ($C_v=27,20\%$ – 41,73 %), в особенности – количества коробочек на растении (варьирование от 4 до 14 штук на растении (рис. 1). Минимальная вариация отмечена у сортов по признаку «количество семян в коробочке» ($C_v=11,4\%$ – 25,17 %).

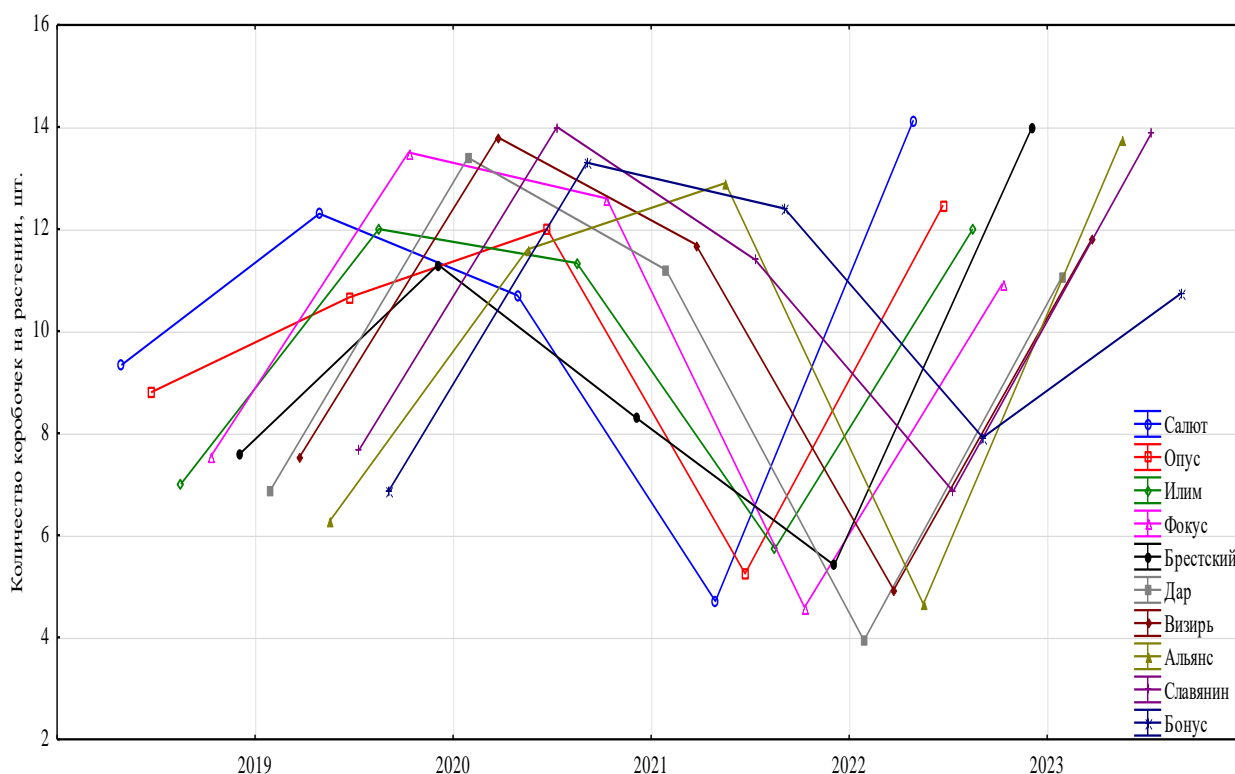


Рис. 1. Диаграмма изменчивости количества коробочек на растении у сортов льна масличного, 2019–2023 гг.

Среднее количество семян с растения у изучаемых сортов колебалось по годам исследований в пределах 78,7–135,0 шт/раст., а среднее количество семян в коробочке составляло 7,2–8,5 шт. Средняя масса семян с растения у генотипов варьировала от 0,638 г до 0,933 г.

Принимая во внимание значимую корреляционную зависимость массы 1000 семян и массы семян с растения ($r=0,48$), имеет перспективу отбор генотипов в селекции по массе 1000 семян с одновременной браковкой по низкой средней массе семян с растения. Рекомендованные параметры модели признаков продуктивности представлены в таблице.

Условная модель сорта льна масличного для северо-восточной части Республики Беларусь, 2019–2023 гг.

Признак	Сорта				Рекомендованные параметры модели
	Салют (контроль в ГСИ до 2022 года)	Славянин (контроль в ГСИ с 2023 года)	Бонус (сорт близкий к модели)	Средняя по 9 сортам	
Продолжительность вегетационного периода, сут.	91,3	90,3	88,9	90,5	85–88
Урожайность, ц/га	11,1	12,7	13,2	11,4	18,0–20,0
Признаки качества семян					
Масличность, %	41,6	42,4	44,5	41,9	> 45,0
Сырой протеин, %	23,6	23,7	24,0	23,7	22,0–24,0
Доля олеиновой кислоты, %	19,6	19,3	18,3	17,9	18,0–20,0
Доля линолевой кислоты, %	15,1	15,3	15,2	16,2	15,0–18,0
Доля линоленовой кислоты, %	56,3	56,0	57,8	56,6	56,0–59,0
Доля полиненасыщенных кислот, %	91,0	90,6	91,3	90,8	90,0–93,0
Элементы структуры урожайности					
Количество коробочек на растении, штук	14,4	15,0	14,8	14,5	15,0–20,0
Количество семян на растении, штук	115,4	123,1	115,1	113,5	130,0–180,0
Количество семян в коробочке, штук	8,0	8,3	7,8	7,9	8,0–9,0
Масса семян с растения, г	0,711	0,793	0,781	0,722	0,900–1,200
Масса 1000 семян, г	6,07	6,39	6,94	6,32	6,0–7,5
Устойчивость к биотическим и абиотическим стрессорам					
Общая высота растений, см	52,7	54,6	52,7	53,5	< 55,0
Техническая длина стебля, см	37,3	38,9	37,8	38,5	< 40,0
Развитие фузариозного увядания, %	19,9	14,3	19,7	16,8	< 20,0

Продолжительность вегетационного периода также может оказывать влияние на реализацию потенциала продуктивности, заложенного в генотипе сорта [9, 10]. Большинство сортов, возделываемых в Республике Беларусь, являются среднеспелыми, с продолжительностью вегетации (от всходов до полной спелости) – 90–100 суток.

В наших исследованиях период вегетации сортов варьировал от 77,3 до 98,3 сут. при среднем показателе $90,46 \pm 4,96$ сут. Ввиду участвовавших в последние годы катаклизмов в виде недостаточного количества осадков и повышенной температуры воздуха в период «всходы–цветение», раннеспелые генотипы, использующие более оптимально запасы почвенной влаги на начальных этапах развития, более предпочтительны. Кроме того, раннеспелый сорт является лучшим предшественником в севообороте, поскольку быстрее освобождает поле под следующую культуру. Принимая во внимание слабую (хоть и достоверную) корреляцию урожайности и продолжительности периода вегетации, в модель введен период вегетации на уровне 85–88 суток.

Масличность является признаком, обусловленным комплексом генов и зависящим от внешних факторов: температурных условий, фотосинтетически активной радиации, обработки почвы, обеспеченности посевов водой и др. [11, 12]. Содержание масла незначительно увеличивалось с повышением числа коробочек на растении ($r=0,28$) и их массы. Этот признак оказался одним из наименее варьирующих ($C_v=5,83$ %). Содержание масла по годам исследований у изучаемых генотипов составляло от 37,5 % до 47,4 %, при среднем показателе $41,92 \pm 2,44$ %. В модели сорта этот параметр должен быть не менее 45 %, что в перспективе позволит увеличить выход масла с единицы площади. Самая высокая средняя масличность была определена у сорта Бонус ($44,54 \pm 2,64$ %).

Биохимический параметр – содержание сырого протеина является важным для переработчиков, а жирнокислотный состав предопределяет направление использования семян того или иного сорта [13]. Содержание сырого протеина варьировало у сортов льна масличного в пределах 21,11 %–25,98 % и отрицательно коррелировало с масличностью ($r=-0,27$). Это объясняется теорией антагонизма – при усилении синтеза белков уменьшается количество углеводов, из которых образуются жиры, и наоборот, интенсивное жиroadобразование по той же причине подавляет биосинтез запасных белков [14]. Поэтому, несмотря на высокие показатели этого признака у сортов, в модель заложены параметры на уровне 22–24 %.

Лен масличный широко известен как источник полиненасыщенных жирных кислот. Эти кислоты относятся к группе незаменимых, а потому имеют высокую пищевую и лечебную ценность [15]. Также в льняном масле присутствует ценная олеиновая кислота — мононенасыщенная, что также благоприятно влияет на пищевые свойства масла. В результате анализа биохимического состава семян по содержанию полиненасыщенных кислот (линолевая и линоленовая кислота), установлено, что самой высокой их суммой обладал сорт Брестский (среднее за 5 лет – 73,3 %).

У остальных сортов сумма варьировала по годам исследований в пределах 65,8 %–76,4 %. Самое высокое содержание олеиновой кислоты было у сортов Славянин (19,29 %) и Салют (19,64 %). Учитывая это, в модель сорта льна масличного введено повышенное содержание олеиновой кислоты на уровне 18–20 %, линолевой на уровне 15–18 % и линоленовой – 56–59 %, а также суммы полиненасыщенных жирных кислот – 90–93 %.

В модель сорта масличного льна также включена устойчивость к комплексу болезней, что является необходимым условием для гарантирования высоких и стабильных урожаев по годам. Устойчивыми считают сорта льна масличного с развитием болезни, не превышающим 20 %, что и было введено в модель. Все изучаемые отечественные сорта льна масличного должны быть высокоустойчивы к полеганию.

Заключение

На основе полевых исследований и данных лабораторных анализов разработана селекционная модель сорта льна масличного, адаптированного к условиям северо-восточной зоны республики. Предложенная модель может быть использована непосредственно в процессе селекции – как при отборе генотипов в поколениях гибридов, так и при оценке линий на последних этапах селекции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бороевич, С. Принципы и методы селекции растений: под ред. и с предисл. А. К. Федорова / С. Бороевич. – М.: Колос, 1984. – 344 с.
2. Андроник, Е. Л. Использование морфофизиологических критериев отбора исходного материала льна масличного в селекции / Е. Л. Андроник, Е. В. Иванова, Н. А. Дуктова; Нац. акад наук Беларуси, Ин-т льна. – Минск: Беларуская навука, 2023, 181с. ISBN 978-985-08-3065-4.
3. Кукунов, В. Г. О моделировании селекционного процесса / В. Г. Кукунов, Р. М. Карамышев // Генетика количественных признаков сельскохозяйственных растений. – М.: Наука, 1978. – С. 10–15.

4. Гудинова, Л. Г. К модели сорта яровой мягкой пшеницы для условий Западной Сибири / Л. Г. Гудинова, В. А. Зыкин, Н. А. Калашник // Применение физиологических методов при оценке селекционного материала и моделировании новых сортов сельскохозяйственных культур: Материалы 1-й Всесоюз. конф. по применению физиол. методов в селекции растений, г. Жодино Мин. обл., 18–19 дек. 1981 г. – М.: Б. и., 1983. – С. 47–52.
5. Павлова, Л. Н. Методические указания по селекции льна-долгунца / Сост. Л. Н. Павлова [и др.], ВНИИЛ, Москва, 2004, 44 с.
6. Черников, В. Г. Влияние факторов окружающей среды на урожай и качество льняного сырья / В. Г. Черников [и др.] // Вестник аграрной науки. – 2020. – №5 (86). – С. 3–10.
7. Полякова, И. А. Влияние условий выращивания на продуктивность льна масличного / И. А. Полякова, В. А. Ручка, О. В. Никитенко – Науч.-техн. бюл. Ин-ту олійних культур УААН, 2005, вип. 10. – С. 179–183.
8. Обоснование оптимальных параметров модели сорта льна масличного для условий Республики Беларусь [Электронный ресурс] // С. И. Вакула [и др.]. Молекулярная и прикладная генетика, 2013, т. 16. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obosnovanie-optimalnyh-parametrov-modeli-sorta-lna-maslichnogo-dlya-usloviy-respubliki-belarus> (дата обращения: 21.03.2024).
9. Репко, Н. В. Анализ зависимости урожайности от продолжительности вегетационного периода сортов озимого ячменя / Н. В. Репко, А. С. Коблянский, Е. В. Хронюк // Научный журнал КубГАУ. – 2017. – №132. – С. 951–964.
10. Иванова, Е. В. Влияние условий вегетации на формирование элементов продуктивности у сортов льна масличного / Е. В. Иванова, Е. Л. Андроник // Земледелие и селекция в Беларуси: сб. науч. труд.; г. Жодино, РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию». – Минск: ИВЦ Минфина, 2022. – Вып. 58. – С. 198–206.
11. Čeh, V. Impact of Linseed Variety, Location and Production Year on Seed Yield, Oil Content and Its Composition [Electronic resource] / V. Čeh [et al.] – Agricultural and Food Sciences (Agronomy), 2020 / – Mode of access: <http://www.mdpi.com/journal/agronomy/> – Date of access: 10.03.2025.
12. Иванова, Е. В. Роль генотипа и условий среды в формировании показателей содержания и качества масла у отечественных сортов и селекционных линий льна масличного / Е. В. Иванова, Е. Л. Андроник // Земледелие и селекция в Беларуси: сб. науч. труд.; г. Жодино, РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию». – Минск: ИВЦ Минфина, 2024. – Вып. 60. – С. 271–278.
13. Брач, Н. Б. Наследование морфологических и хозяйственно-ценных признаков у льна (*Linum usitatissimum*) / Н. Б. Брач, Е. А. Прохорова // Идентифицированный генофонд растений и селекция. – СПб., 2005. – С. 303–327.
14. Дьяков, А. Б. Метод селекции сортов подсолнечника академика В. С. Пустовойта и варианты его описания в разных публикациях [Электронный ресурс] / Масличные культуры. – 2010. – №2 (144–145). – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/metod-selekcii-sortov-podsolnechnika-akademika-v-s-pustovoyta-i-varianty-ego-opisaniya-v-raznyh-publikatsiyah>. – Дата доступа: 12.03.2024.
15. Верещагин, А. Г. Влияние фенотипа и генотипа масличных растений на жирнокислотный состав масла / А. Г. Верещагин // Физиология растений. – 1976. – Т. 23, вып. 3. – С. 600–613.

ХАРАКТЕРИСТИКА ОСМОТОЛЕРАНТНОСТИ, ЭПИФИТНОЙ ПРИСПОСОБЛЕННОСТИ И ВИРУЛЕНТНЫХ СВОЙСТВ ШТАММОВ *PSEUDOMONAS SP*

В. Ю. ЛАГОНЕНКО

РУП «Институт плодоводства»,
аг. Самохваловичи, Республика Беларусь, 223013, e-mail: lagonenkoval@gmail.com

(Поступила в редакцию 11.09.2025)

У патогенных бактерий комплекса *Pseudomonas syringae* (*sensu lato*), которые являются возбудителями бактериозов огромного числа культурных и дикорастущих растений, определенную часть жизненного цикла занимает эпифитная стадия, во время которой бактерии увеличивают свою численность, не вызывая симптомов заболевания, однако, переносят осмотический стресс, вызванный колебаниями влажности. Осмотический стресс может изменять численность эпифитной популяции, что в свою очередь оказывает влияние на патогенез. В данной статье проведен анализ взаимосвязи вирулентных свойств бактерий рода *Pseudomonas*, выделенных из растений с симптомами бактериозов, с возможностью адаптироваться к эпифитному существованию, а также со способностью к росту в средах с различной концентрацией хлорида натрия. В ходе маршрутных обследований плодовых и ягодных насаждений Беларуси выделены патогенные бактерии, относящиеся к комплексу *Pseudomonas syringae*, в том числе и штаммы бактерий-полифагов *Pseudomonas syringae* pv. *syringae*, а также непатогенные бактерии рода *Pseudomonas*. Установлены концентрации соли, оптимальные для роста бактерий: 0,5 % NaCl (для двух исследуемых штаммов), 2,0 % (для четырех штаммов), от 0,5 до 2 % NaCl (для четырех штаммов) и от 0,2 до 4 % (для двух непатогенных штаммов). Выявлены значительные различия в динамике численности эпифитных популяций патогенных и непатогенных штаммов рода *Pseudomonas* на листьях томатов на 3 и 5 сутки инкубации. Установлена взаимосвязь между эпифитной приспособленностью и осмотолерантностью. С применением метода искусственного заражения листьев груши установлены различия в интенсивности развития заболевания растений (от 7,2 до 68,6 %) для штаммов, обладающих различной осмотолерантностью и эпифитной выживаемостью.

Ключевые слова: *Pseudomonas syringae*, фитопатогенные бактерии, вирулентность, осмотолерантность, эпифиты.

Pathogenic bacteria of the Pseudomonas syringae (sensu lato) complex, which cause bacterial diseases in a large number of cultivated and wild plants, spend a certain portion of their life cycle in an epiphytic stage. During this stage, the bacteria increase in numbers without causing disease symptoms, but they tolerate osmotic stress caused by fluctuations in humidity. Osmotic stress can alter the size of the epiphytic population, which in turn influences pathogenesis. This article analyzes the relationship between the virulence properties of Pseudomonas bacteria isolated from plants exhibiting bacterial diseases, their ability to adapt to epiphytic growth, and their ability to grow in environments with varying sodium chloride concentrations. Pathogenic bacteria belonging to the Pseudomonas syringae complex, including strains of the polyphagous Pseudomonas syringae pv. syringae bacteria, as well as non-pathogenic bacteria of the genus Pseudomonas, were isolated during route surveys of fruit and berry plantations in Belarus. Optimal salt concentrations for bacterial growth were established: 0.5 % NaCl (for the two studied strains), 2.0 % (for four strains), 0.5 to 2 % NaCl (for four strains), and 0.2 to 4 % (for two non-pathogenic strains). Significant differences in the dynamics of the epiphytic populations of pathogenic and non-pathogenic strains of the genus Pseudomonas on tomato leaves on days 3 and 5 of incubation were revealed. A relationship between epiphytic adaptation and osmotolerance was established. Using artificial infection of pear leaves, differences in the intensity of plant disease development (from 7.2 to 68.6 %) were observed for strains with varying osmotolerance and epiphytic survival.

Key words: *Pseudomonas syringae*, phytopathogenic bacteria, virulence, osmotolerance, epiphytes.

Введение

Бактерии комплекса *P. syringae* являются возбудителями заболеваний широкого ряда растений – культурных и дикорастущих, древесных и травянистых, овощных, плодовых и орехоплодных культур. Наиболее распространенные симптомы бактериозов, вызванных этими патогенами, на плодовых растениях, в частности, на груше, яблоне, вишне, черешне, фундуке, является внезапное увядание части или всего растения, язвенные поражения ствола, скелетных ветвей и однолетних побегов, некротическая пятнистость листьев и обильное камедетечение (на косточковых культурах).

Часть жизненного цикла фитопатогенных бактерий комплекса *Pseudomonas syringae* приходится на эпифитную стадию, во время которой микроорганизмы, не вызывая симптомов заболевания, активно увеличивают свою численность для последующего внедрения внутрь растений [1]. Бактерии, живущие на поверхности растений, подвергаются постоянному воздействию неблагоприятных факторов – недостатку питательных веществ, УФ-излучению, суточным перепадам температур. Эпифиты также регулярно подвергаются воздействию водного стресса, как результата частых колебаний влажности – от избытка, обусловленного такими факторами, как роса, осадки, до недостатка во время периодических высыханий листовой поверхности. Таким образом, регуляция внутриклеточной осмолярности, а следовательно и устойчивость к осмотическому стрессу является жизненно важным свойством эпифитных микроорганизмов [2].

Таким образом, логично предположить, что данные бактерии обладают способностью развиваться в условиях нехватки воды, в том числе в насыщенных солями растворах, что не только способствует адаптации к эпифитному существованию на высыхающей поверхности листьев, но и к выживаемости в межклеточном пространстве при переходе к эндофитной фазе (в том числе в условиях ограничения воды как компонента защиты растений) [2, 3].

Различия в осмотолерантности могут быть связаны со стратегиями выживания бактерий. Возбудитель бурой пятнистости фасоли – бактерия *P. syringae* pv. *syringae* B728a – в условиях солевого стресса продуцирует различные соединения-осмолиты, повышающие галотолерантность, что позволяет культивировать бактерии при концентрации NaCl от 1 до 3 % [1]. Исследования показали, что эпифитная приспособленность двух патогенных штаммов *P. syringae* (B728a и DC3000) различается, что согласуется с вариациями в осмотолерантности и связано с продукцией экзополисахаридов (в частности левана) и поглощением осмопротекторов [3].

Так как большое значение на патогенез оказывает не только агрессивность штаммов при попадании их внутрь зараженного растения, но и эпифитная выживаемость, целью настоящей работы было определить осмотолерантность бактерий рода *Pseudomonas*, выделенных из растений с признаками бактериозов, а также провести анализ из эпифитной приспособленности и вирулентных свойств.

Основная часть

В работе использовались штаммы, выделенные на территории Республики Беларусь с 2014 по 2025 гг. (табл. 1) из растений с признаками бактериального поражения.

Таблица 1. Список штаммов, использованных в работе

Штамм	Год и место выделения	Растение-хозяин; орган и симптомы	Систематическая принадлежность
<i>Pss11.9</i>	2014 г., Минская область, Минский район	Вишня; участок побега (язвенное поражение)	<i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>syringae</i>
<i>Pss11.12</i>	2014 г., Минская область, Минский район	Груша; лист (некротическая пятнистость)	<i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>syringae</i>
<i>Ps12.20</i>	2014 г., г. Минск	Сирень; лист (некротическая пятнистость черного цвета)	<i>Pseudomonas syringae</i>
<i>Ps43.4</i>	2020 г., Минская область, Минский район	Вишня; лист (быстрое увядание, усыхание отдельных ветвей)	<i>Pseudomonas syringae</i>
<i>Pss50.2</i>	2022 г., Минская область, Минский район	Груша; побег (усыхание соцветий, листьев, симптом «мертвой почки»)	<i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>syringae</i>
<i>Ps89/2</i>	2024 г., Брестская область, Брестский район	Черешня; лист (некротическая пятнистость с хлоротичным ореолом)	<i>Pseudomonas syringae</i>
<i>Ps89/3</i>	2024 г., Брестская область, Брестский район	Черешня; участок побега (язвенные поражения с камедетечением)	<i>Pseudomonas syringae</i>
<i>Ps93/3-2</i>	2024 г., Минская область, Минский район	Актинидия; лист (некротические пятна коричневого цвета с хлоротичным ореолом)	<i>Pseudomonas</i> sp.
<i>Ps96/1</i>	2024 г., Минская область, Минский район	Облепиха; участок побега (усыхание ветвей, мелколистность, язвы)	<i>Pseudomonas syringae</i>
<i>Ps97/1</i>	2024 г., Минская область, Минский район	Лох многоцветковый; участок побега (усыхание ветвей, мелколистность)	<i>Pseudomonas</i> sp.
<i>Ps105/1</i>	2024 г., Минская область, Минский район	Слива; лист (некротическая пятнистость красно-коричневого цвета с выпадением сухой ткани)	<i>Pseudomonas syringae</i>
<i>Ps107/6-2</i>	2024 г., Минская область, Минский район	Слива; лист (красно-коричневая пятнистость с выпадениями сухой ткани)	<i>Pseudomonas syringae</i>
<i>Ps110/1</i>	2025 г., Минская область, Минский район	Груша; побег (язвенное поражение)	<i>Pseudomonas syringae</i>

Выделение бактерий, патогенные свойства, а также принадлежность штаммов к комплексу *P. syringae* или бактерии-полифага *Pseudomonas syringae* pv. *syringae* проводили согласно методическим указаниям [4].

Анализ осмотолерантности проводили согласно модифицированной методике Yang X. [et al.] [5]. Концентрация NaCl в питательном бульоне – от 0,5 до 10 %. Суспензию тестового штамма инокулировали в питательный бульон (до OD₆₀₀ = 0,1) и культивировали в течение 48 ч (24 °С, 120 об/мин). Количество клеток после инкубации определяли по OD₆₀₀ культуральной жидкости.

Эпифитную приспособленность определяли по методике J. Yu [et al.] [6]. Листья томатов погружали в суспензию штаммов (2×10⁸ КОЕ/мл) до полного смачивания, после чего растения помещали

в климатическую камеру (25 °С, с фотопериодом 16/8 ч, и относительной влажностью 60–65 %) на 5 суток. После первых, третьих и пятых суток отбирали по 2 листа, обработанных соответствующими штаммами. Листья обмывали в физиологическом растворе (в 15 мл, 20 мин. на роторной качалке с аэрацией 120 об/мин), после чего проводили разведения в 100 раз и высевали по 20 мкл на плотную среду KingV для подсчета жизнеспособных колоний.

Анализ вирулентных свойств и определение группы вирулентности проводили согласно методике искусственного заражения отдельных листьев [7], [8] при плотности бактериальной культуры всех исследуемых штаммов 1×10^6 КОЕ/мл.

Анализ растительных тканей, собранных в ходе маршрутных обследований плодовых и ягодных насаждений, установил наличие флюоресцирующих бактерий рода *Pseudomonas* в образцах с симптомами внезапного увядания цветков и листьев, усыхания отдельных ветвей или целого растения, некротическими пятнистостями, а также язвенного поражения (рис. 1). Патогенные штаммы *Ps*12.20, *Ps*43.4, *Ps*89/2, *Ps*89/3, *Ps*96/1, *Ps*105/1, *Ps*107/6-2 и *Ps*110/1 идентифицированы как представители комплекса *P. syringae*; штаммы *Pss*11.9, *Pss*11.12 и *Pss*50.2 – как бактерии-полифаги, относящиеся к патовару *syringae*. Штаммы *Ps*93/3-2 и *Ps*97/1, выделенные из растений актинидии и лоха многоцветкового соответственно, не вызвали развития РГ при инокуляции в листья табака, что позволило отнести их к непатогенным штаммам.

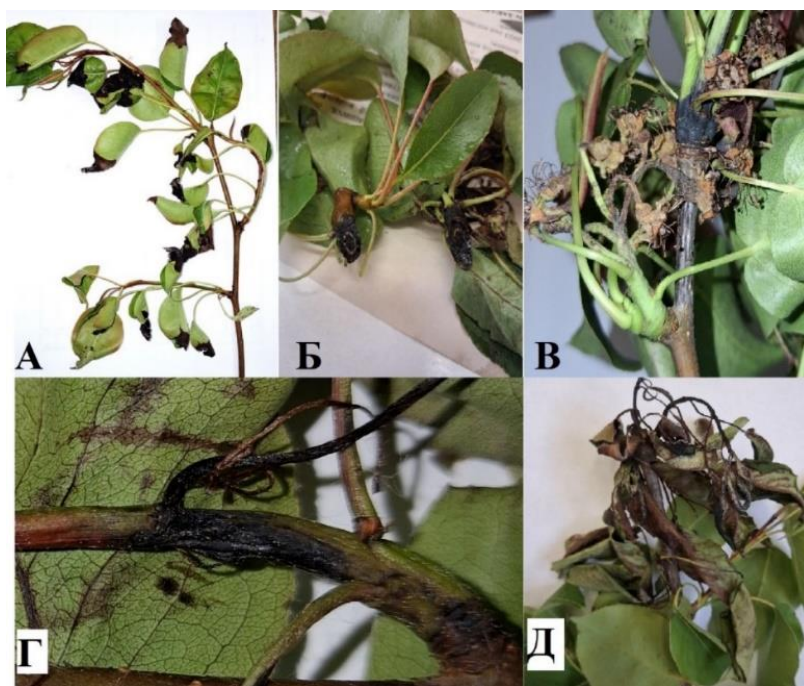


Рис. 1. Симптомы бактериального рака на растениях груши:

А – некроз листьев (сорт Горная красавица); Б – некроз побега; В – некроз побега и цветоножек, усыхание цветков (сорт Горная красавица); Г – продольная язва; Д – увядание верхушки побега (сорт Горная красавица)

Измерение оптической плотности (ОП) исследуемых культур до и после инкубации позволило установить значительные различия в скорости роста бактериальных штаммов в питательной среде с минимальным значением NaCl – 0,5 %. При начальных значениях ОП $0,060 \pm 0,0016$ (λ_{600} нм) для всех бактериальных культур, через 48 ч культивирования в зависимости от штамма значения находилась в диапазоне от 0,170 до 0,450 (рис. 2).

Согласно полученным данным, оптимальная концентрация соли для роста штаммов *Ps*43.4, *Ps*89/2 составляет 0,5 %, для штаммов *Pss*11.12, *Ps*12.20, *Pss*50.2 и *Ps*89/3 – 2 %. Штаммы *Pss*11.9, *Ps*96.1, *Ps*105/1 и *Ps*107/6-2 обладают примерно одинаковой скоростью роста в диапазоне концентраций NaCl от 0,5 до 2 %. Таким образом, вышеперечисленные штаммы можно отнести к слабогалофильным бактериям [9].

Отдельно следует отметить штаммы *Ps*93/3-2 и *Ps*97/1, способные к активному росту в диапазоне концентраций от 2 до 4 % NaCl – величина оптической плотности бактериальной культуры (λ_{600} нм) в этих условиях составляет 0,3–0,5, что соответствует значению в 1×10^6 – 1×10^8 КОЕ/мл. Так как предварительный анализ не выявил наличия у них патогенных свойств, можно предположить, что

данные бактерии являются представителями вида *P. fluorescens*, для которого характерна не только повышенная осмоотолерантность, связанная с исключительно эпифитным существованием, но и более высокая скорость роста.

Также установлено, что в стандартной полноценной питательной среде скорость роста штаммов, проявляющих повышенную осмоотолерантность, в среднем была в 1,6 раза выше, чем у менее толерантных.

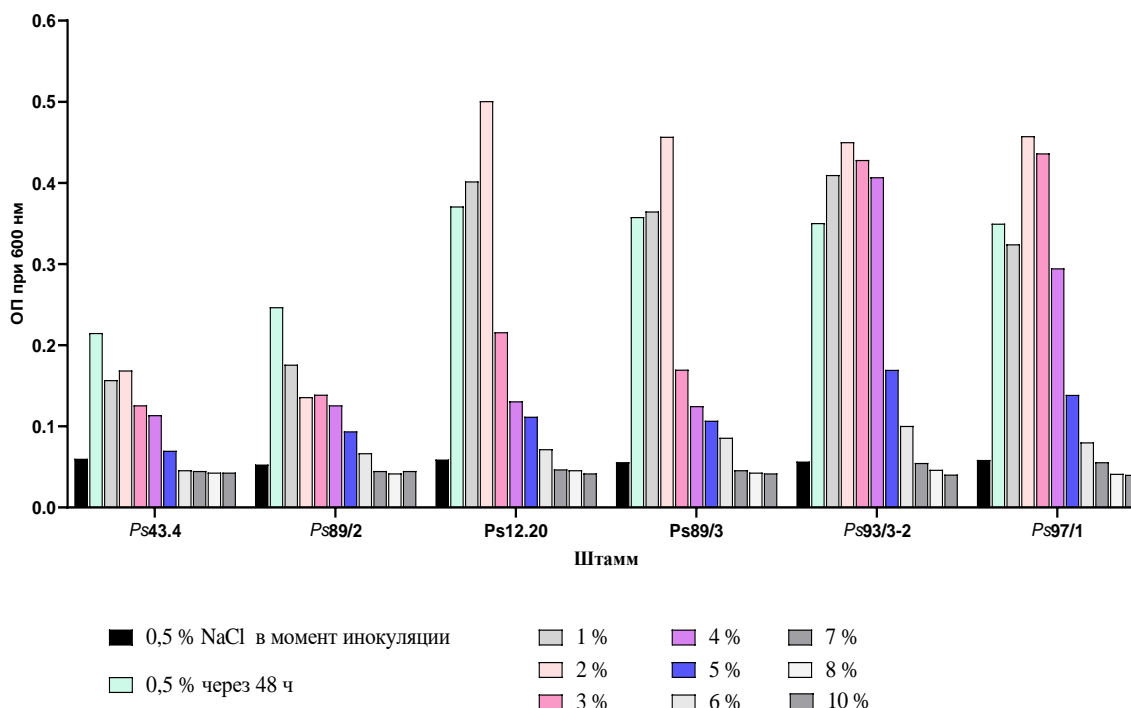


Рис. 2. Рост бактерий *Pseudomonas* sp. при разных концентрациях NaCl

Значения ОП бактериальных культур в диапазоне концентраций NaCl от 7 до 10 % статистически не отличались от ОП до инкубации ($P > 0,05$). При этом 100 % штаммов увеличивали численность популяции в 1,5–3 раза в среде с 5 % NaCl, а в среде с 6 % солью двухкратное увеличение зафиксировано только для штаммов *Ps107/6-2*, *Ps97/1* и *Ps93/3-2*.

Полученные данные позволяют предположить, что штаммы *Pss11.9*, *Pss11.12*, *Ps12.20*, *Pss50.2*, *Ps89/3*, *Ps93/3-2*, *Ps96.1*, *Ps97/1*, *Ps105/1* и *Ps107/6-2* имеют повышенный потенциал к эпифитному выживанию, что может также способствовать успешной колонизации растений-хозяев.

Эпифитная приспособленность. Взаимосвязь между осмоотолерантностью и эпифитной приспособленностью устанавливали для четырех патогенных (*Ps12.20*, *Ps43.4*, *Ps89/2*, *Ps89/3*) и одного непатогенного изолята (*Ps93/3-2*). Эпифитная выживаемость оценивалась на листьях томата, который не является хозяином для большинства штаммов возбудителя бактериального рака (табл. 2).

Таблица 2. Численность эпифитной популяции штаммов *Pseudomonas* sp.

Штамм	24 ч инкубации		72 ч инкубации		120 ч инкубации	
	масса листьев, г	КОЕ/г	масса листьев, г	КОЕ/г	масса листьев, г	КОЕ/г
<i>Ps12.20</i>	0,429	1×10^7	0,542	2×10^5	0,444	2×10^4
<i>Ps43.4</i>	0,402	1×10^7	0,360	2×10^6	0,341	2×10^4
<i>Ps89/2</i>	0,568	1×10^7	0,775	6×10^4	0,239	2×10^4
<i>Ps89/3</i>	0,398	1×10^7	0,437	1×10^5	0,374	5×10^5
<i>Ps93/3-2</i>	0,327	1×10^7	0,343	1×10^5	0,255	2×10^5

Как видно из данных, приведенных в табл. 2, наиболее резкое изменение численности эпифитной популяции наблюдалось у штамма *Ps89/2* – на 3 сутки инкубации (плотность снизилась более чем в 160 раз), тогда как для штамма *Ps43.4* число жизнеспособных клеток сократилось всего в 5 раз.

Анализ плотности популяции штаммов на 5 сутки инкубации показал продолжение снижения численности эпифитных бактерий для штаммов *Ps12.20*, *Ps43.4* и *Ps89/2*, при этом размер популяций штаммов *Ps89/3* и *Ps93/3-2* вырос по сравнению с 3 сутками в 5 и 2 раза соответственно. Таким

образом, по данным за пятые сутки инкубации штаммы, проявившие большую осмотолерантность (за исключением *Ps12.20*) обладают более высокой эпифитной выживаемостью.

Так как вирулентность штаммов бактерий рода *Pseudomonas* определяется несколькими критериями, одним из которых является персистенция (процесс длительного выживания патогена в организме хозяина за счет сопротивления защитным реакциям растения, в том числе и при эпифитном существовании), следующим этапом работы являлось определение вирулентности проанализированных выше штаммов.

Вирулентные свойства штаммов *Pseudomonas* sp.

Для анализа были выбраны штаммы *Ps93/3-2*, *Pss43/4*, *Ps89/2*, *Ps12.20*, *Ps89/3*, а также *Pss11.9* (контрольный умеренно вирулентный штамм) и *Ps110.1* (контрольный высоковирулентный штамм) (табл. 3, рис. 3).

Таблица 3. Группы вирулентности штаммов *Pseudomonas* sp.

Штамм	Значение интенсивности развития заболевания, %	Группа вирулентности
<i>Ps93/3-2</i>	7,2 ^a	Умеренно вирулентные
<i>Pss43/4</i>	33,8 ^b	
<i>Ps89/2</i>	35,7 ^b	
<i>Ps12.20</i>	40,0 ^c	
<i>Pss11.9</i>	43,8 ^d	
<i>Ps89/3</i>	44,0 ^d	
<i>Ps110.1</i>	68,6 ^e	Высоковирулентные
Примечание: значения под одним индексом (a, b, c, d, e) не отличаются статистически		

Спустя 5 суток инкубации установлен диапазон значений интенсивности развития заболевания от 33,8 до 68,6 %, а также выделены 3 группы вирулентности штаммов. Также выявлено, что штамм с повышенной осмотолерантностью и эпифитной выживаемостью (*Ps89/3*) вызывает статистически более интенсивное ($p < 0,05$) развитие заболевания по сравнению со штаммами *Pss43/4*, *Ps89/2* с оптимум роста при концентрации соли в 0,5 % и сниженной эпифитной приспособленностью. Штамм *Ps12.20*, занял промежуточное значение по степени вирулентности – 40,0 %.

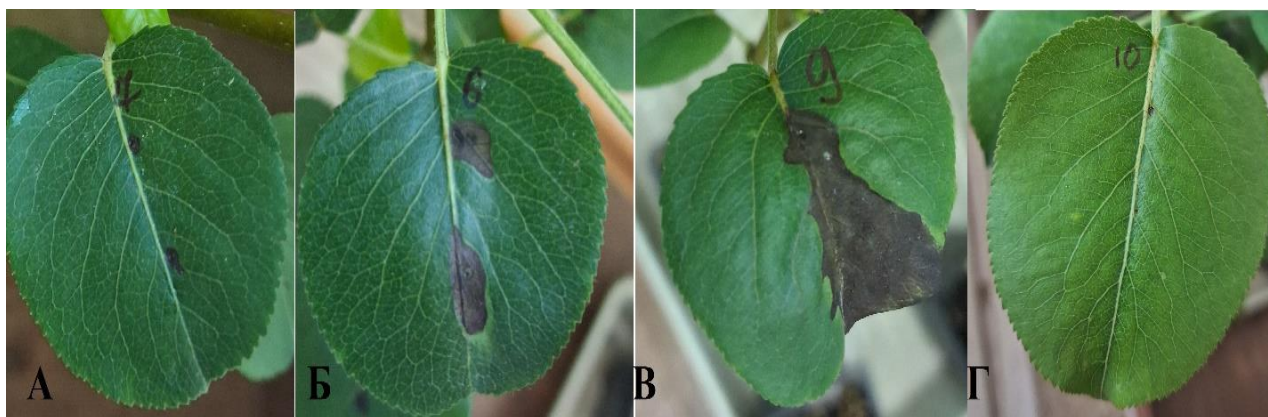


Рис. 3. Развитие некроза при инокуляции штаммов *Pseudomonas* sp.:
А – штамм *Ps93/3-2*; Б – *Ps89/2*; В – *Ps110.1*; Г – вода

Следует отметить, что инокуляция авирулентного штамма *Ps93/3-2* также выявила наличие незначительных некротических поражений листьев груши, что может говорить либо о слабом патогенном потенциале данных бактерий, либо реакции растения на инвазию микроорганизма.

Заключение

Проведенный анализ свойств штаммов рода *Pseudomonas* позволил установить различия в скорости роста исследуемых бактерий как в стандартной питательной среде (0,5 % NaCl), так и при повышенном содержании соли. Исследуемые бактерии относятся к слабогалофильным – оптимальная концентрация соли для роста штаммов *Ps43.4*, *Ps89/2* составляет 0,5 %, для штаммов *Pss11.12*, *Ps12.20*, *Pss50.2* и *Ps89/3* – 2 %; штаммы *Pss11.9*, *Ps96.1*, *Ps105/1* и *Ps107/6-2* обладают примерно одинаковой скоростью роста в диапазоне концентраций NaCl от 0,5 до 2 %. Непатогенные штаммы *Ps93/3-2* и *Ps97/1* способны к активному росту в диапазоне концентраций NaCl от 2 до 4 %.

Для патогенных штаммов (за исключением *Ps12.20*) с повышенной осмотолерантностью характерна большая эпифитная приспособленность, а также достоверно более высокий ($p < 0,05$) уровень вирулентности.

Работа выполнена в рамках задания 1.25 «Диагностика видового и патогенного состава фитопатогенных бактерий рода *Pseudomonas* на плодовых и орехоплодных культурах и оценка эффективности средств защиты растений для контроля бактериозов» подпрограммы «Плодородие почв и защита растений» Государственной программы научных исследований «Сельскохозяйственные технологии и продовольственная безопасность» на 2021–2025 годы.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Pseudomonas syringae* diseases of fruit trees: progress toward understanding and control / M. M. Kennelly [et al.] // Plant Disease. – 2007. – Vol. 91, № 1. – P. 4–17.

2. Genome-driven investigation of compatible solute biosynthesis pathways of *Pseudomonas syringae* pv. *syringae* and their contribution to water stress tolerance / Matthias Kurz, Adrien Y. Burch, Britta Seip [et al.] // Applied and environmental microbiology. – 2010. – Vol. 76, № 16. – P. 5452–5462.

3. Physiological and transcriptional responses to osmotic stress of two *Pseudomonas syringae* strains that differ in epiphytic fitness and osmotolerance / Brian C. Freeman, Chiliang Chen, Xilan Yu [et al.] // Journal of bacteriology. – 2013. – Vol. 195, iss. 20. <https://doi.org/10.1128/jb.00787-13>

4. Методические рекомендации по выявлению и идентификации возбудителя бактериального рака (*Pseudomonas syringae* pv. *syringae*) плодовых культур / В. Ю. Лагоненко, А. Л. Лагоненко, Н. В. Кухарчик, М. С. Кастрицкая, Н. П. Максимова // Плодоводство: сб. науч. тр. / Ин-т плодоводства; редкол.: А. А. Таранов [и др.]. – Минск: Беларуская навука, 2021. – Т. 33. – С. 196–201.

5. A salt-tolerant growth-promoting phyllosphere microbial combination from mangrove plants and its mechanism for promoting salt tolerance in rice / Yang X., Yuan R., Yang S. [et al.] // Microbiome. – 2024. – Vol. 12. – <https://doi.org/10.1186/s40168-024-01969-9>.

6. Involvement of the exopolysaccharide alginate in the virulence and epiphytic fitness of *Pseudomonas syringae* pv. *syringae* / Jing Yu, Alejandro Peñaloza-Vázquez, Ananda M. Chakrabarty, Carol L. Bender // Molecular Microbiology. – 2002. – Vol. 33, Iss. 4. – P. 712–720.

7. Оценка вирулентности и способности к нуклеации льда фитопатогенных бактерий *Pseudomonas syringae* pv. *syringae* / В. Ю. Лагоненко, Н. П. Максимова, М. С. Кастрицкая, А. Л. Лагоненко // Вестн. Белорус. гос. с.-х. акад. – 2022. – № 2. – С. 84–87.

8. Susceptibility of European pear cultivars to *Pseudomonas syringae* pv. *syringae* using immature fruit and detached leaf assays // C. Moragrega [et al.] // Europ. J. of Plant Pathol. – 2003. – Vol. 109. – P. 319–326.

9. Галофильные и галотолерантные микроорганизмы – продуценты экзополисахаридов, выделенные из соленых озер Карун (Египет) и Эльтон (Россия) / И. М. Ибрахим, С. А. Коннова, Е. Н. Сигида [и др.] // Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. – 2018. – Т. 18, вып. 3. – с. 345–353.

ХОЗЯЙСТВЕННАЯ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОРЕЖИВАНИЯ ЗАВЯЗИ НА СОРТАХ ЯБЛОНИ СО СМЕШАННЫМ ТИПОМ ПЛОДОНОШЕНИЯ

М. Е. РУЛИНСКАЯ

*РУП «Гродненский зональный институт плодоводства НАН Беларуси»,
г. Шучин, Республика Беларусь, 231513, e-mail: marina.oreshko.91@mail.ru*

В. В. ВАСЕХА

*РУП «Институт плодоводства»,
аг. Самохваловичи, Республика Беларусь, 223013, e-mail: witalmin@gmail.com*

Ж. В. ШИБУТ

*ГУ «БЕЛИСА»,
г. Минск, Республика Беларусь, 220004, e-mail: shybut@belisa.org.by*

(Поступила в редакцию 15.09.2025)

Исследования проведены в РУП «Гродненский зональный институт плодоводства НАН Беларуси» в 2021–2023 гг. Объектами наблюдений являлись 2 сорта яблони белорусской селекции: Алеся и Имант. В работе изучались эффективность применения различных доз удобрений и биотехнических средств для прореживания завязи: кальциевая селитра (Ca – 20 % и N – 13 %), сульфат аммония (N – 21 %), хлорэтилфосфоновая кислота (этефон 480 г/л), α -нафтилуксусная кислота (нафтилуксусная кислота – 98 %) и проведение ручного прореживания. Контролем служил вариант без удаления завязи. Регулирующие мероприятия проводили в 2 срока: 67 ВВСН – в период формирования завязи через 3 дня после опадения 80 % лепестков и 71 ВВСН – при достижении завязью в центральном цветке диаметра 10–11 мм. Анализ структуры распределения пунктов плодоношения показал, что для обоих сортов характерен смешанный тип плодоношения – от 60,3 до 66,2 % плодов закладывалось на кольчатках. Прореживание завязи на этих сортах в обе фенологические фазы способствовало росту средних массы и диаметра плода, что в дальнейшем повлияло на увеличение выхода товарного яблока. Проведение нормирования нагрузки урожаем в фазу 67 ВВСН на сортах яблони со смешанным типом плодоношения Алеся и Имант за счёт внесения хлорэтилфосфоновой кислоты в дозе 0,48 л/га обеспечивает получение суммарной урожайности плодов высшего и первого сорта 36,1–40,0 т/га и уровень рентабельности производства 65,3–73,5 %. Полученные результаты могут использоваться для и планирования агротехнических мероприятий, направленных на нормирование продуктивности деревьев яблони.

Ключевые слова: яблоня, сорт, прореживание, урожайность, экономическая эффективность, Беларусь.

The study was conducted at the Grodno Zonal Institute of Fruit Growing of the National Academy of Sciences of Belarus in 2021–2023. The objects of observation were two Belarusian apple varieties: Alesya and Imant. The study examined the effectiveness of various doses of fertilizers and biotechnical agents for ovary thinning: calcium nitrate (Ca – 20 % and N – 13 %), ammonium sulfate (N – 21 %), chloroethylphosphonic acid (ethephon 480 g/l), α -naphthylacetic acid (naphthylacetic acid – 98 %), and manual thinning. The variant without ovary removal served as a control. Regulatory measures were carried out at two times: 67 ВВСН – during ovary formation, 3 days after 80 % of petals have fallen, and 71 ВВСН – when the ovary in the central flower reached a diameter of 10–11 mm. Analysis of the distribution structure of fruiting points showed that both varieties are characterized by a mixed type of fruiting: from 60.3 to 66.2 % of fruits were set on rings. Thinning the ovaries on these varieties during both phenological phases contributed to an increase in average fruit weight and diameter, which subsequently contributed to an increase in marketable apple yield. Crop load regulation during the 67 ВВСН phase on the mixed-fruiting apple varieties Alesya and Imant using chloroethylphosphonic acid at a rate of 0.48 l/ha resulted in a total yield of premium and first-grade fruits of 36.1–40.0 t/ha and a production profitability of 65.3–73.5 %. The obtained results can be used to plan agronomic measures aimed at regulating apple tree productivity.

Key words: apple tree, variety, thinning, yield, economic efficiency, Belarus.

Введение

Использование новых передовых решений и элементов технологии позволяют сельскохозйственным производителям достигать высокого уровня производства продукции в условиях ограниченного доступа к ресурсам и с учётом индивидуальных особенностей сортовой агротехники [1]. При выращивании плодовых культур с использованием подходов, направленных на интенсификацию, получение высокотоварной конкурентоспособной продукции садоводства приобретает первоочередное значение, поскольку определяет экономическую стабильность. Стоит отметить, что при работе на высокую урожайность сада проявляется сортовая специфичность на основные элементы ухода – обрезка, некорневое питание, интенсивность системы защиты от вредителей и болезней, фертигация и т.д. [2–4]. Одним из элементов технологии, способствующих получению ежегодных урожаев яблони с высоким товарным качеством плодов, является нормирование нагрузки деревьев

различными способами, которое позволяет сбалансировать процессы роста, плодоношения и предотвратить нарушение регулярности плодоношения за счёт оптимизации закладки генеративных почек под урожай следующего года [5, 6].

По мнению ряда исследователей, на сегодняшний день наиболее производительным и доступным в яблоневом саду является химическое прореживание, которое помогает реализовать естественные физиологические процессы дерева по регулированию плодовой нагрузки [7, 8]. При этом на современном этапе в Беларуси данный метод изучен недостаточно и в Государственном реестре средств защиты растений и удобрений, разрешенных к применению на территории Республики Беларусь препаратов для химического прореживания завязи яблони не зарегистрировано. В связи с чем целью данного исследования была разработка и обоснование оптимального приёма нормирования продуктивности коммерческих сортов яблони для получения высокого товарного качества плодов.

Основная часть

Учёты и наблюдения проводились в течение 2021–2023 гг. в опытном саду РУП «Гродненский зональный институт плодоводства НАН Беларуси» (г. Щучин, Гродненская область). Объектами исследований являлись 2 сорта яблони белорусской селекции, получивших широкое распространение на территории страны, – Алеся и Имант. Сад 2012 г. посадки, схема размещения деревьев 4,5 × 2 м с плотностью 1 111 дер/га, подвой – М7. Содержание междурядий – естественное залужение, в рядах – гербицидный пар. Защита от болезней и вредителей проводилась исходя из требований и рекомендаций, изложенных в регламенте по возделыванию яблони [9]. Исследования проводили согласно «Генетическим основам и методике селекции плодовых культур и винограда» (Минск, 2019) [10]. Фенологические стадии растений определяли в соответствии с расширенной шкалой ВВСН (Кведлинбург, 2018) [11].

В работе изучались следующие варианты прореживания завязи: 1) внесение кальциевой селитры (Са – 20 % и N – 13 %) в двух нормах внесения – 15,0 и 25,0 кг/га; 2) внесение сульфата аммония (N – 21 %) в двух нормах внесения – 2,5 и 5,0 кг/га; 3) внесение хлорэтилфосфоновой кислоты (эфон 480 г/л) в дозах 0,24 и 0,48 л/га; 4) внесение α-нафтилуксусной кислоты (нафтилуксусная кислота – 98 %) в дозах 0,024 и 0,040 кг/га; 5) проведение ручного прореживания. Сроки проведения регулирующих мероприятий: 1-й – в период формирования завязи через 3 дня после опадения 80 % лепестков (67 ВВСН); 2-й – при достижении завязью в центральном цветке диаметра 10–11 мм (71 ВВСН).

Анализа данных по изучению соотношения генеративных образований путём учёта их распределения у изучаемых сортов на однолетних и многолетних ветвях, на которых размещается большая часть урожая, показал, что меньше всего сформировалось однолетнего прироста цветковой почкой, преимущественно закладка цветковых почек была отмечена на многолетней древесине.

Основная нагрузка урожая приходилась на плодовые прутики, копыца и кольчатки. Важно отметить, что поскольку на изучаемых сортах плодухи главным образом были представлены как совокупность простых и сложных кольчаток в плодовой сумке, то в учётах по формированию нагрузки плодами на плодах данный вид относили к кольчаточному. Как показывают полученные результаты, в структуре обрастающей плодовой древесины у сортов Алеся и Имант от 60,3 до 66,2 % плодов закладывается на кольчатках, что позволяет отнести их к сортам со смешанным типом плодоношения (рис. 1).

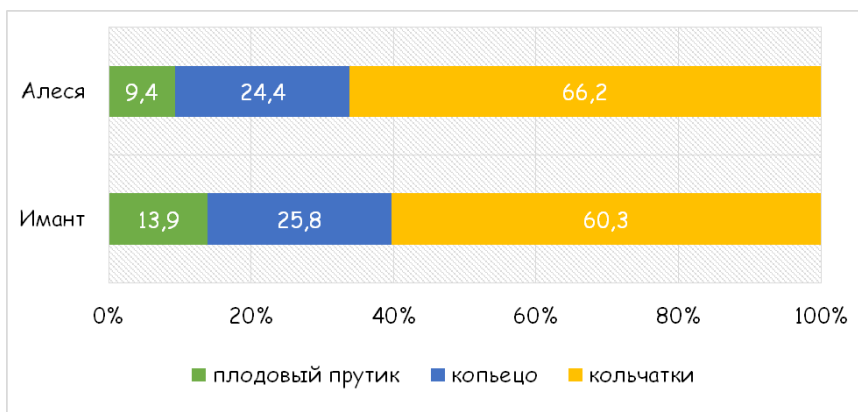


Рис. 1. Распределение пунктов плодоношения у изучаемых сортов яблони, 2021–2023 гг.

Многолетние данные полученные в опытах по изучению эффективности прореживания завязи на сортах Алесья и Имант в обе фенологические фазы позволили установить, что проводимые мероприятия по регулированию нагрузки урожаем способствовали росту средних массы и диаметра плода, что в дальнейшем повлияло на увеличение выхода товарного яблока, а также улучшению привлекательности внешнего вида за счет увеличения площади и интенсивности окраски плодов.

Проведение мероприятий, регулирующих нагрузку урожаем, в большинстве случаев не оказало существенного влияния на валовый сбор по вариантам опыта. Только при ручном прореживании и с применением α -нафтилуксусной кислоты (α -НУК) в дозе 0,040 кг/га было отмечено существенное снижение общей урожайности плодов на обоих изучаемых сортах. Однако прореживание завязи как в фазу 67 ВВСН, так и в фазу 71 ВВСН за счёт существенного влияния параметры средней массы и диаметра способствовало изменению структуре по товарности плодов и соответственно росту урожайности товарного яблока – высшего и первого сорта (рис. 2).

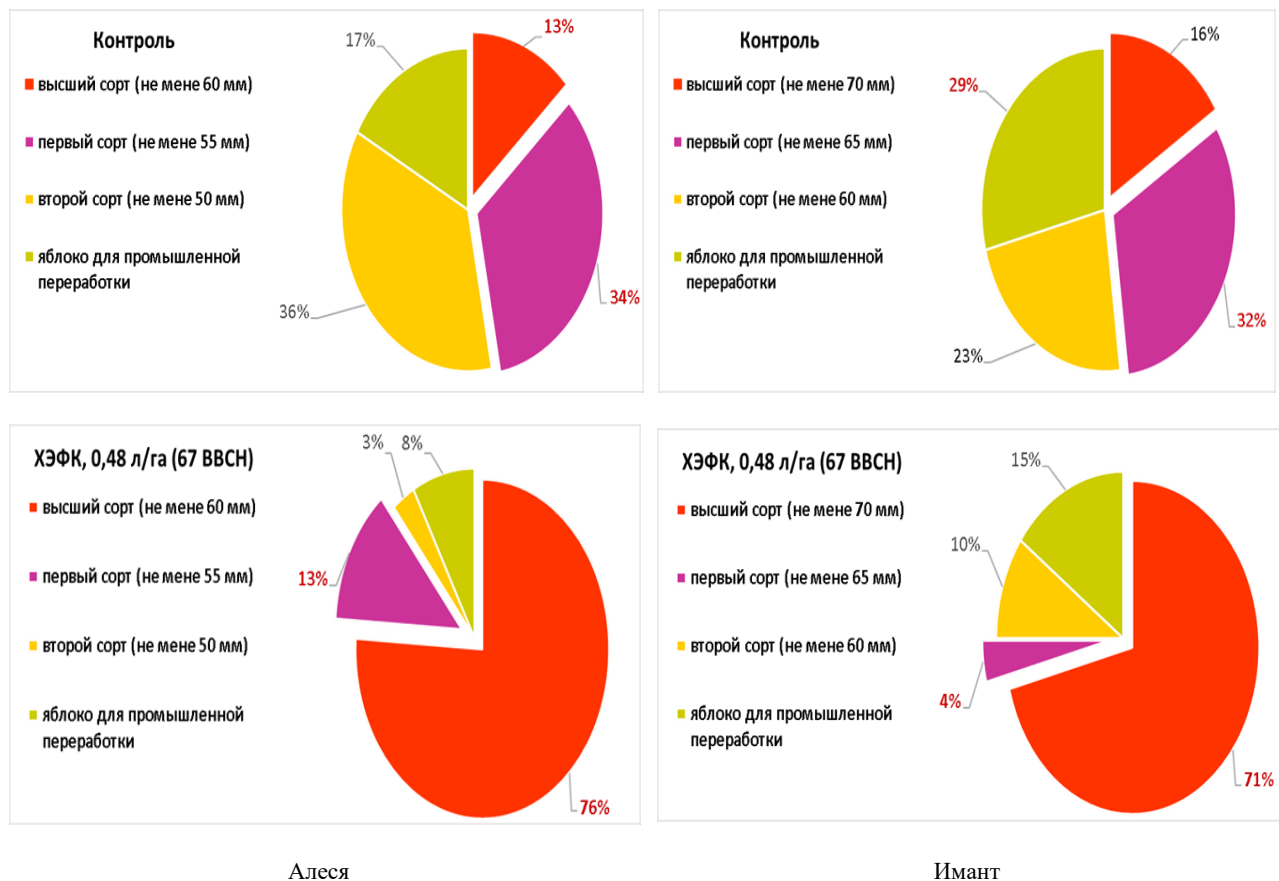


Рис. 2. Изменение товарности яблок при проведении прореживания, 2021–2023 гг.

Стоит отметить, что в проведённых опытах использование удобрений (кальциевая селитра и сульфат аммония) для стимулирования опадения завязи по сравнению с контролем также существенно повлияло на среднюю массу плода и диаметр, и, как следствие, на выход яблок высшего сорта. Однако при сравнении с суммарным выходом плодов высшего и первого сорта данный приём оказался недостаточно эффективным. Причём стоит обратить внимание, что внесение удобрений привело к получению довольно большого количества яблок для промышленной переработки – на уровне, сопоставимом с контролем.

Химическое прореживание завязи с применением биотехнических средств оказалось наиболее результативным. Разные дозы как α -нафтилуксусной кислоты, так и хлорэтилфосфоновой кислоты позволили получить существенно более высокий вал товарного яблока как по сравнению с вариантами использования удобрений, так и по сравнению с ручным прореживанием, а между собой по данному показателю они не имели существенных различий (рис. 3, рис. 4).

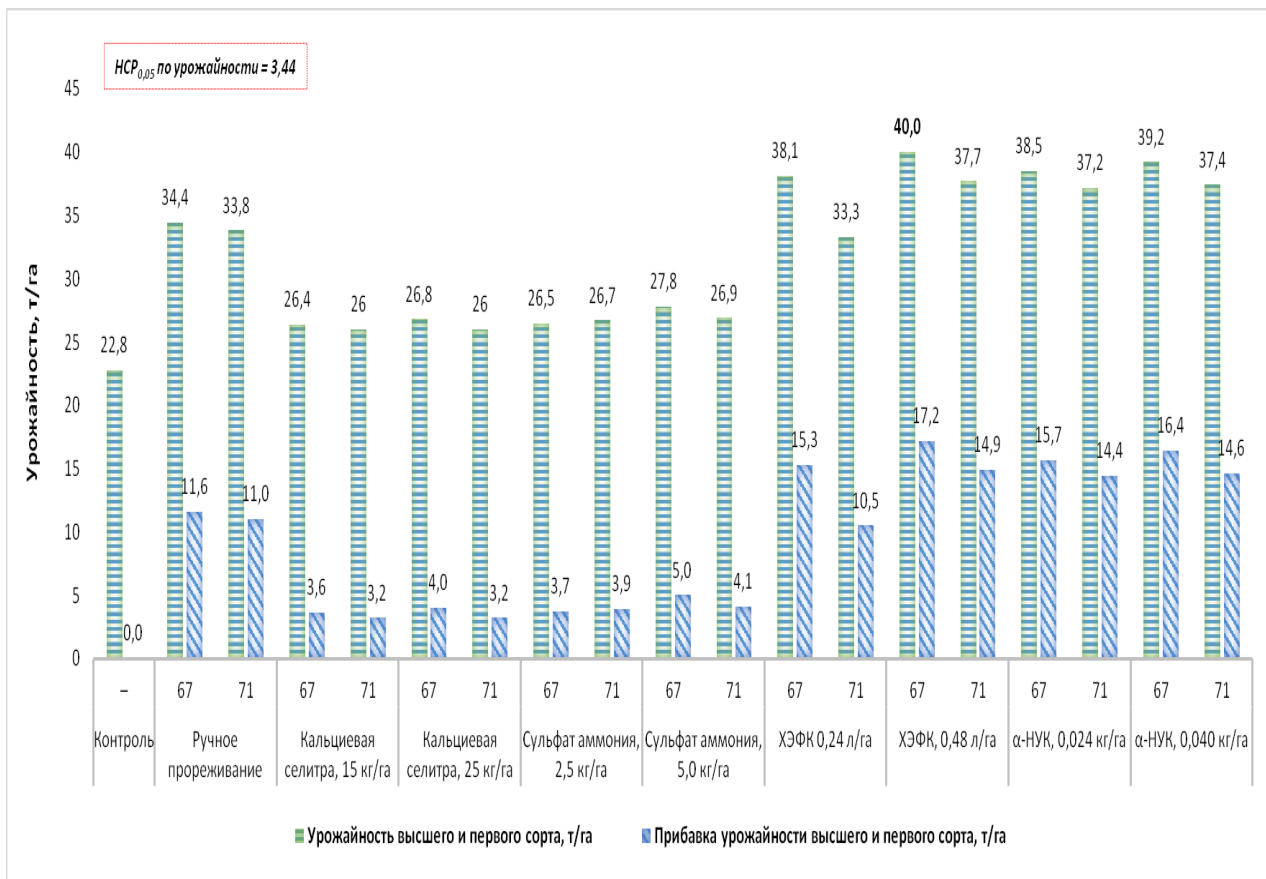


Рис. 3. Урожайность товарного яблока при различных вариантах нормировки завязи на сорте Алесь, 2021–2023 гг.

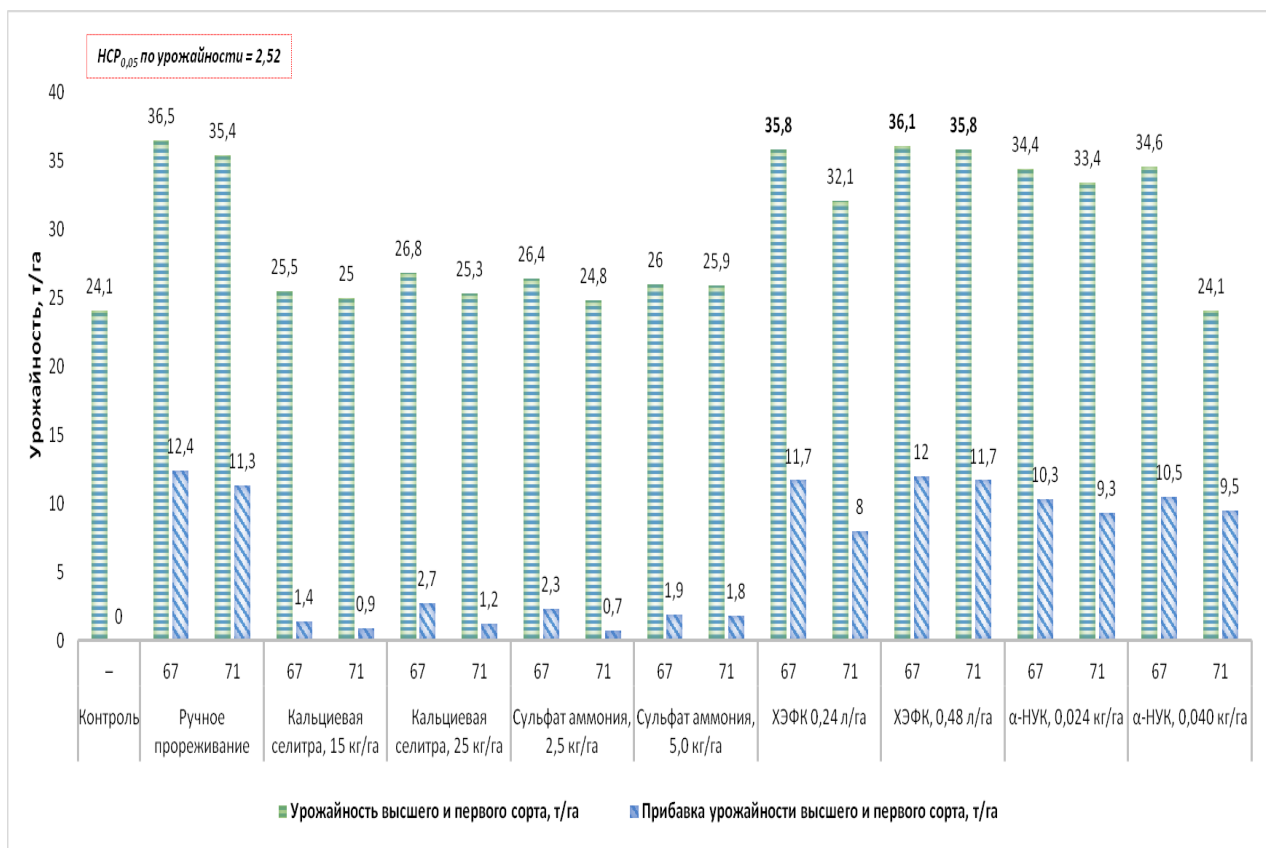


Рис. 4. Урожайность товарного яблока при различных вариантах нормировки завязи на сорте Имант, 2021–2023 гг.

На сорте Алеся по массе плода значимая разница была получена при применении в 67 фазу изученных доз α -НУК по сравнению с внесением хлорэтилфосфоновой кислоты (ХЭФК). По среднему диаметру плодов существенная разница была отмечена в вариантах с прореживанием ХЭФК (в обеих изученных дозировках), α -НУК (0,040 кг/га) и ручной нормировкой. Данные мероприятия позволили максимально увеличить диаметр плодов в опыте на сорте Алеся – до 56,3-57,0 мм (контроль – 52,7 мм), на сорте Имант – до 67,0 мм (контроль – 61,7 мм).

В вариантах опыта по проведению нормирования плодов при достижении завязью в центральном цветке диаметра 10–11 мм как и в фазу 67 ВВСН отмечена одинаковая тенденция – значимо меньшая по сравнению с контролем общая урожайность при проведении ручного прореживания и внесении в норме 0,040 кг/га α -НУК. Из удобрений только внесение сульфата аммония в дозах 2,5 кг/га и 5,0 кг/га позволило получить существенную разницу в товарности по сравнению с контролем за счет суммарной урожайности яблок высшего и первого сорта. Однако выход плодов для промышленной переработки оставался высоким – на уровне варианта без прореживания. На сорте Алеся внесение хлорэтилфосфоновой кислоты в норме 0,48 л/га было единственным вариантом среди изученных доз биотехнических средств, обеспечивающих существенную разницу по выходу яблок первого и высшего сорта по сравнению с ручным прореживанием. На сорте Имант в данную фазу несмотря на снижение общего уровня валового сбора, максимальное значение средней массы плода (184,7 г) было отмечено при применении α -НУК в дозе 0,040 кг/га, однако наибольшая суммарная урожайность плодов высшего и первого товарных сортов обеспечило применение ХЭФК в норме 0,48 л/га – 35,8 т/га.

Сопоставление полученных данных по проведению регулирования завязи в разные сроки позволило оценить хозяйственную эффективность данного агротехнического приёма.

На сорте Алеся, как и на сорте Имант, по общей урожайности большинство вариантов не имели существенной разницы по сравнению с контролем. Только при ручном прореживании и внесении α -НУК в норме 0,040 кг/га в обе изученные фенологические фазы данный показатель оказался значительно ниже.

Однако с точки зрения коммерческого потенциала проведения прореживания, наиболее существенным является выход плодов высшего и первого сорта, обеспечивающих основную доходность сада. На сорте Алеся наибольшее значение суммарной урожайности товарных плодов – 40,0 т/га – было получено в опыте по внесению ХЭФК в дозе 0,48 л/га в фазу 67 ВВСН, что обеспечило и самую высокую прибавку урожайности данной категории плодов – 14,2 т/га. Наименее эффективным среди изученных доз биотехнических средств оказалось использование на сорте Алеся этого же препарата в норме 0,24 л/га при достижении завязью в центральном цветке диаметра 10–11 мм. Между другими вариантами химического прореживания по урожайности высшего и первого сорта существенной разницы выявлено не было. Ручное прореживание обеспечивало значительно большую прибавку товарного яблока по сравнению с опытом применения удобрений для регулирования нагрузки урожаем, однако уступало вариантам с внесением ХЭФК и α -НУК.

На сорте Имант при внесении биотехнических средств как в период формирования завязи через 3 дня после опадения 80 % лепестков, так и при достижении завязью в центральном цветке диаметра 10–11 мм действие препаратов в вариантах опыта привело к существенному уменьшению общей урожайности. Однако по выходу товарного яблока (высшего и первого сорта) значительно превосходило вариант без прореживания. В рамках опыта следует отметить вариант с ручным прореживанием (35,4–36,5 т/га) и с применением изученных норм внесения ХЭФК (32,1–36,1 т/га) и α -НУК (33,4–34,6 т/га), что обеспечило и самую высокую прибавку урожайности данной категории плодов – 8,0–12,4 т/га.

Для оптимального выбора препарата и сроков его применения на конкретном сорте было проведено сравнение полученных показателей экономической эффективности в каждом варианте опыта. Не смотря на тот факт, что общая урожайность находилась в сопоставимых пределах, общая стоимость полученной продукции с 1 га за счет различного уровня товарности и урожайности яблок второго сорта и плодов для промышленной переработки варьировала от 67,0 до 79,6 тыс. руб. За счет высоких трудозатрат наибольшая себестоимость продукции была получена при проведении ручного прореживания завязи – 1,21–1,23 тыс. руб/тонн как при возделывании сорта Алеся так и сорта Имант (табл. 1, табл. 2).

Таблица 1. Экономическая эффективность регулирования завязи на сорте яблони Алеся, 2021–2023 гг.

Вариант	Фаза ВВСН	Общая урожайность, т/га	Общая стоимость продукции, тыс. руб.	Уровень товарности, %	Производственные затраты на 1 га, тыс. руб.	Себестоимость 1 т продукции, тыс. руб.	Чистый доход на 1 га, тыс. руб.	Уровень рентабельности, %	Прирост прибыли к контрольному значению, %
Контроль	–	48,6	68,5	46,9	47,2	0,97	21,4	45,3	–
Ручное прореживание	67	40,1	70,6	85,8	49,1	1,22	21,5	43,9	0,8
	71	40,8	70,7	82,8	49,4	1,21	21,4	43,3	0,0
Кальциевая селитра, 15 кг/га	67	47,7	70,0	55,3	47,0	0,98	23,0	49,0	7,8
	71	49,2	71,5	52,8	47,6	0,97	23,9	50,2	11,8
Кальциевая селитра, 25 кг/га	67	47,3	70,0	56,7	46,8	0,99	23,2	49,5	8,6
	71	48,1	70,3	54,1	47,2	0,98	23,1	49,1	8,3
Сульфат аммония, 2,5 кг/га	67	46,6	69,1	56,9	46,5	1,00	22,6	48,6	5,9
	71	48,3	70,9	55,3	47,2	0,98	23,7	50,2	10,9
Сульфат аммония, 5,0 кг/га	67	45,2	68,9	61,5	45,9	1,02	22,9	49,9	7,4
	71	46,6	70,7	57,7	46,5	1,00	24,2	52,0	13,1
ХЭФК 0,24 л/га	67	45,7	79,1	83,3	46,1	1,01	33,0	71,5	54,3
	71	46,4	77,1	71,8	46,4	1,00	30,7	66,1	43,6
ХЭФК, 0,48 л/га	67	45,0	79,6	88,9	45,9	1,02	33,7	73,5	57,8
	71	44,2	77,8	85,3	45,5	1,03	32,3	71,0	51,2
α-НУК, 0,024 кг/га	67	44,4	77,7	86,7	45,7	1,03	32,0	70,0	49,8
	71	43,6	76,3	85,3	45,4	1,04	30,9	68,3	44,6
α-НУК, 0,040 кг/га	67	40,8	76,2	96,1	44,3	1,09	31,9	72,0	49,4
	71	39,8	73,4	94,0	43,9	1,10	29,6	67,4	38,4

Таблица 2. Экономическая эффективность регулирования завязи на сорте яблони Имант, 2021–2023 гг.

Вариант	Фаза ВВСН	Общая урожайность, т/га	Общая стоимость продукции, тыс. руб.	Уровень товарности, %	Производственные затраты на 1 га, тыс. руб.	Себестоимость 1 т продукции, тыс. руб.	Чистый доход на 1 га, тыс. руб.	Уровень рентабельности, %	Прирост прибыли к контрольному значению, %
Контроль	–	50,5	67,0	47,7	48,0	0,95	19,1	39,7	0,0
Ручное прореживание	67	40,1	72,1	91,0	49,1	1,22	23,0	46,8	20,6
	71	39,6	70,3	89,4	48,9	1,23	21,4	43,8	12,3
Кальциевая селитра, 15 кг/га	67	50,0	68,8	51,0	48,0	0,96	20,9	43,5	9,4
	71	48,6	66,8	51,4	47,4	0,97	19,4	41,0	1,9
Кальциевая селитра, 25 кг/га	67	50,6	70,6	53,0	48,2	0,95	22,4	46,3	17,3
	71	48,7	66,8	52,0	47,4	0,97	19,4	40,9	1,8
Сульфат аммония, 2,5 кг/га	67	48,2	69,2	54,8	47,2	0,98	22,0	46,6	15,4
	71	49,1	67,2	50,5	47,6	0,97	19,6	41,3	2,9
Сульфат аммония, 5,0 кг/га	67	47,8	68,4	54,4	47,0	0,98	21,4	45,5	12,2
	71	48,2	67,5	53,7	47,2	0,98	20,3	43,0	6,5
ХЭФК 0,24 л/га	67	48,6	77,6	73,7	47,4	0,97	30,2	63,8	58,5
	71	49,1	75,4	65,4	47,6	0,97	27,9	58,6	46,2
ХЭФК, 0,48 л/га	67	48,4	78,2	74,6	47,3	0,98	30,9	65,3	62,0
	71	48,7	77,8	73,5	47,4	0,97	30,3	64,0	59,2
α-НУК, 0,024 кг/га	67	48,0	75,7	71,7	47,2	0,98	28,5	60,3	49,5
	71	48,5	75,5	68,9	47,4	0,98	28	59,1	47,1
α-НУК, 0,040 кг/га	67	40,5	70,2	85,4	44,2	1,09	26,0	58,9	36,4
	71	40,0	69,3	84,0	44,0	1,10	25,3	57,6	32,8

С учётом производственных затрат и чистого дохода на 1 га на сорте Алеся наибольший уровень рентабельности (73,5 %) обеспечивало внесение ХЭФК в дозе 0,48 л/га в фазу 67 ВВСН, что отразилось и в самом высоком значении прироста прибыли по отношению к контрольному варианту –

57,8 %. Оценка экономической эффективности прореживания на сорте Имант показала, что наивысший показатель прироста прибыли по отношению к контрольному варианту отмечен в опыте с внесением различных доз ХЭФК в фазу 67 ВВСН, а также в фазу 71 ВВСН с дозой препарата 0,48 л/га.

Заключение

Таким образом, сопоставляя данные по хозяйственной и экономической эффективности проведения нормирующих завязь мероприятий на сортах яблони со смешанным типом плодоношения Алеся и Имант можно в качестве оптимального агротехнического приёма выделить внесение хлорэтилфосфоновой кислоты в дозе 0,48 л/га в период формирования завязи через 3 дня после опадения 80 % лепестков, что обеспечивает на сорте Алеся получение суммарной урожайности плодов высшего и первого сорта 40,0 т/га и уровень рентабельности 73,5 %, на сорте Имант урожайность товарного яблока – 36,1 т/га и уровень рентабельности 65,3 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Минина, Н. Н. Методы устойчивого ведения растениеводства / Н. Н. Минина // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2024. – № 1. – С. 18–22.
2. Lauri, P. E. Tree architecture, flowering and fruiting – thoughts on training, pruning and ecophysiology / P. E. Lauri, L. C. Grappadelli // Acta Horticulturae. – 2014. – № 1058(1058). – P. 291–298.
3. Скорина, В. В. Эффективность комплексных минеральных удобрений при возделывании яблони и чёрной смородины / В. В. Скорина, Р. М. Пугачёв // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2022. – № 2. – С. 63–67.
4. Treder, W. Relationships between yield crop density coefficient and average fruit weight in ‘Lobo’ apple trees under various planting systems and irrigation treatments / W. Treder, A. Mika // Horticulture Technology. – 2001. – № 11(2). – P. 248–254.
5. Хроменко, В. В. Проблемы периодичности плодоношения в интенсивном саду / В. В. Хроменко // Садоводство и виноградарство. – 2005. – № 4. – С. 10–11.
6. Григорьева, Л. В. Нормирование нагрузки деревьев яблони плодами в садах на слаброслых подвоях / Л. В. Григорьева // Вестник МичГАУ. – 2010. – № 2. – С. 21–24.
7. Дорошенко, Т. Н., Перспективность применения физиологически активных веществ в современных технологиях возделывания яблони / Т. Н. Дорошенко, Д. В. Максимцов // Пути повышения эффективности садоводства: сб. науч. тр. Гос. Никит. ботан. сада; редкол.: Ю. В. Плугатарь (гл. ред.) [и др.], под общ. ред. А. В. Смыкова. – Крым, 2017. – Т. 144. – Ч. II – С. 18–21.
8. A method to predict chemical thinner response on apples / D. W. Greene, J. Krupa, M. Vezina [et al.] // Fruit Notes. – 2005. – № 70. – P. 12–17.
9. Организационно-технологические нормативы возделывания овощных, плодовых, ягодных культур и выращивания посадочного материала: сб. отраслевых регламентов / Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т систем. исслед. в АПК НАН Беларуси; рук. разработ.: В. Г. Гусаков [и др.]. – Минск: Беларуская навука, 2010. – 520 с.
10. Генетические основы и методика селекции плодовых культур и винограда / З. А. Козловская [и др.]; под общ. ред. З. А. Козловской – Минск: Беларуская навука, 2019. – 249 с.
11. Meier U. Growth stages of mono- and dicotyledonous plants: ВВСН Monograph. – Julius Kühn-Institut (JKI), Quedlinburg, 2018. – 204 p.

АНАЛИЗ МИНЕРАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В СИЛЬФИИ ПРОНЗЕННОЛИСТНОЙ ПЕРВОГО ГОДА ЖИЗНИ

ЧЖАО СЮЭПИН, Б. В. ШЕЛЮТО

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

(Поступила в редакцию 23.09.2025)

В данной работе в качестве объекта исследования была выбрана сильфия пронзеннолистная первого года жизни. Было определено содержание в ней минеральных элементов и проведено сравнение с широко используемыми кормовыми культурами – люцерной и кукурузой – с использованием однофакторного дисперсионного анализа. Также была проведена оценка сильфии в качестве корма по соответствию содержания минеральных веществ предельным нормам рациона животных. Результаты показали, что содержание кальция в сильфии составило 5,39 г/кг, что значительно выше, чем в кукурузе ($P < 0,05$). Содержание фосфора составило около 1,06 г/кг, что значительно выше, чем в люцерне и кукурузе ($P < 0,05$). Содержание калия составило около 3,25 г/кг, что ниже, чем в люцерне, но выше, чем в кукурузе ($P < 0,05$). Содержание магния и натрия составило около 1,27 г/кг и 0,54 г/кг, что значительно выше, чем в люцерне и кукурузе ($P < 0,05$). Среди уровней содержания микроэлементов, содержание Fe и Si было значительно выше, чем у других микроэлементов, среди которых содержание Fe составило около 435,79 мг/кг, содержание Cu – около 3,43 мг/кг, содержание Zn – около 4,77 мг/кг, содержание Mo – около 0,28 мг/кг, а содержание Si – около 588,17 мг/кг, что было значительно выше, чем у люцерны и кукурузы ($P < 0,05$). В качестве отдельного корма сильфия была оценена в соответствии с потребностями дойных коров. Макроэлементы минеральных веществ фосфора, калия и натрия были значительно ниже нижнего предела потребностей дойных коров. Наблюдался серьезный дефицит основных электролитов, содержание микроэлементов меди и цинка было недостаточным, а элемент железа превышал рекомендуемый верхний предел в 7,3 раза. Содержание мышьяка (0,05 мг/кг) соответствует стандартам комиссии по Codex Alimentarius и ЕС (0,01–0,5 мг/кг). Содержание свинца (0,56 мг/кг) ниже свободного предела, установленного кодексом (1 мг/кг), но превышает верхний предел, установленный стандартом ЕС (0,5 мг/кг), на 12 %. Содержание ртути (0,013 мг/кг) значительно ниже нижнего предела (0,1 мг/кг).

Ключевые слова : сильфия, минеральные элементы, оценка минеральных элементов.

In this study, silphia perfoliate in the first year of life was used as the object of study. Its mineral content was determined and compared with commonly used forage crops – alfalfa and corn – using one-way analysis of variance. Silphia as a feed was also assessed for its compliance with the maximum dietary allowances for animal mineral content. The results showed that the calcium content of silphia was 5.39 g/kg, significantly higher than that of corn ($p < 0.05$). The phosphorus content was approximately 1.06 g/kg, significantly higher than that of alfalfa and corn ($p < 0.05$). The potassium content was about 3.25 g/kg, which was lower than that of alfalfa but higher than that of corn ($p < 0.05$). The magnesium and sodium contents were about 1.27 g/kg and 0.54 g/kg, which were significantly higher than those of alfalfa and corn ($p < 0.05$). Among the micronutrient levels, the Fe and Si content were significantly higher than other micronutrients, among which the Fe content was about 435.79 mg/kg, the Cu content was about 3.43 mg/kg, the Zn content was about 4.77 mg/kg, the Mo content was about 0.28 mg/kg, and the Si content was about 588.17 mg/kg, which were significantly higher than those of alfalfa and corn ($p < 0.05$). As a single feed, silphium was evaluated according to the needs of dairy cows. The macronutrient minerals phosphorus, potassium, and sodium were significantly below the lower limit of requirements for dairy cows. Serious deficiencies of essential electrolytes were observed, trace mineral levels of copper and zinc were insufficient, and iron exceeded the recommended upper limit by 7.3 times. The arsenic content (0.05 mg/kg) complies with Codex Alimentarius Commission and EU standards (0.01–0.5 mg/kg). The lead content (0.56 mg/kg) is below the Codex Alimentarius Commission's free limit (1 mg/kg) but exceeds the EU standard upper limit (0.5 mg/kg) by 12 %. The mercury content (0.013 mg/kg) is significantly below the lower limit (0.1 mg/kg).

Key words: silphium, mineral elements, mineral element assessment.

Введение

Сильфия пронзеннолистная (*Silphium perfoliatum*) – это высокопродуктивный, питательный и легко адаптируемый высококачественный корм [1]. Он может значительно улучшить привес животных, продуктивность и репродуктивную функцию, одновременно снижая затраты на корма [2]. Она богата такими питательными веществами, как железо, марганец, медь и цинк, которые положительно влияют на рост, развитие и здоровье животных [3]. Сильфия имеет хорошие перспективы развития в качестве нового кормового сырья и является перспективным кормовым ресурсом в современном животноводстве, особенно в разведении жвачных животных [4].

Минеральные элементы можно разделить на два типа в зависимости от их содержания: макроэлементы и микроэлементы [5]. Макроэлементы включают кальций (Ca), фосфор (P), калий (K), натрий (Na), магний (Mg), серу (S), хлор (Cl) и т. д. Микроэлементы делятся на незаменимые микроэлементы, потенциально незаменимые микроэлементы и потенциально токсичные элементы. К незаменимым микроэлементам относятся цинк (Zn), железо (Fe), медь (Cu), йод (I), селен (Se), хром (Cr), кобальт (Co), молибден (Mo) и т. д. К потенциально необходимым элементам относятся

марганец (Mn), кремний (Si), никель (Ni), бор (B), ванадий (V) и т. д. К потенциально токсичным элементам относятся фтор (F), свинец (Pb), кадмий (Cd), ртуть (Hg), мышьяк (As) и т. д. Низкие дозы могут быть полезными, но чрезмерные дозы токсичны.

Виды и содержание минеральных элементов имеют жизненно важное значение и играют важнейшую роль в кормах. Они являются не только необходимыми базовыми веществами для формирования тканей и органов животных, но и ключевыми факторами, участвующими и регулируемыми практически все жизненные процессы, включая обмен веществ, рост и развитие, репродуктивную функцию, иммунную защиту и образование продуктов (мяса, яиц, молока, шерсти и т. д.). Кальций, фосфор и магний являются основными компонентами костей и зубов. Их правильное соотношение и достаточное поступление являются основой для нормального развития костей у молодых животных, поддержания прочности костей у взрослых животных и профилактики метаболических заболеваний, таких как рахит, остеопороз и послеродовой паралич. Фосфор также широко участвует в энергетическом обмене (АТФ), синтезе генетического материала (ДНК/РНК) и поддержании структуры клеточных мембран [6]. Натрий, калий и хлорид являются основными электролитами, которые совместно поддерживают баланс осмотического давления, кислотно-щелочное равновесие, проведение нервных импульсов и функцию мышечного сокращения жидкостей организма [7]. Дефицит или дисбаланс их пропорций может привести к потере аппетита, задержке роста, обезвоживанию и даже нервно-мышечной дисфункции [8].

Хотя микроэлементы требуются в очень малых количествах, их физиологические функции чрезвычайно важны и незаменимы. Железо является основным компонентом гемоглобина и миоглобина, отвечая за транспорт и хранение кислорода. Дефицит железа напрямую приводит к алиментарной анемии и снижению жизнеспособности. Медь является кофактором многих важных ферментов (таких как цитохром С оксидаза, лизилоксидаза, супероксиддисмутаза СОД) и участвует в метаболизме железа, образовании соединительной ткани, синтезе меланина и системе антиоксидантной защиты [9]. Цинк является компонентом или активатором более 300 ферментов в организме и необходим для синтеза белка, деления и дифференцировки клеток, заживления ран, развития иммунных органов и иммунной функции (например, активности тимозина), здоровья кожи и шерсти (предотвращения паракератоза), репродуктивной функции (качества спермы) и поддержания вкуса и обоняния [10]. Марганец является важным компонентом гликозилтрансферазы и супероксиддисмутазы (Mn-SOD) и участвует в развитии костей (синтез мукополисахаридов), углеводном и жировом обмене, репродуктивной функции и антиоксидантном процессе [11]; йод является единственным компонентом гормона щитовидной железы (Т3, Т4), который напрямую регулирует основной обмен веществ, скорость роста и развития, поддержание температуры тела и репродуктивную активность. Дефицит йода вызывает зоб, задержку роста и репродуктивные нарушения. Селен, как ключевой компонент семейства глутатионпероксидазы (GPx) и дейодиназы, является основным членом мощной антиоксидантной защиты организма. Он может защищать клеточные мембраны от окислительного повреждения и работать синергетически с витамином Е. Он играет решающую роль в профилактике болезни белых мышц, некроза печени, повышении иммунитета, обеспечении репродуктивной функции (подвижности сперматозоидов) и антистрессовых способностей. Кобальт является компонентом витамина В12 и необходим для синтеза В12 микроорганизмами рубца жвачных животных, тем самым влияя на метаболизм белка и нуклеиновых кислот и кроветворную функцию [12].

Кроме того, существуют сложные синергические (например, витамин D способствует усвоению кальция и фосфора, цинк и медь взаимодействуют в синтезе металлотионеинов) или антагонистические отношения (например, антагонизм кальция и цинка, антагонизм меди, молибдена и серы) между минеральными элементами и другими питательными веществами.

Если соотношение содержания несбалансированно, даже если общее количество достаточно, это может привести к затрудненному усвоению и использованию или даже вызвать дефицит или отравление.

Таким образом, полное разнообразие и точное содержание минеральных элементов в корме являются ключом к обеспечению здоровья животных, реализации генетического потенциала, оптимизации эффективности конверсии корма и улучшению качества продукции (например, прочности яичной скорлупы, цвета мяса, усвоения воды и состава молока). Недостаток любого необходимого минерала или его недостаточное содержание приводит к соответствующим симптомам дефицита, которые проявляются в виде задержки роста, снижения продуктивности, нарушений репродуктивной функции, снижения иммунитета, повышенной восприимчивости к болезням и даже смерти. В то же время избыточное поступление не только приводит к растрате ресурсов и увеличению стоимости

кормов, но и может вызвать отравление вследствие накопления (например, отравление фтором, селеном, медью), нарушение баланса между элементами, угнетение усвоения других питательных веществ и загрязнение окружающей среды (высокое содержание меди и цинка в фекалиях) [13].

Минеральные элементы являются незаменимыми «регуляторами метаболизма» в кормах. Полноценность их состава, точность содержания, эффективность форм и сбалансированность пропорций напрямую определяют питательную ценность кормов, здоровье животных, эффективность производства и устойчивость. Они являются основной технической основой современной кормовой промышленности, эффективного и здорового разведения животных.

Основная часть

Сильфия – растение, обладающее значительной способностью к обогащению минеральными веществами. Благодаря глубокой корневой системе, она особенно хорошо обогащается микроэлементами. В данной работе изучены типы и содержание минералов в сильфии первого года жизни и проведено сравнение с такими распространёнными кормовыми культурами, как кукуруза и люцерна. Данные были обработаны и проанализированы с помощью однофакторного дисперсионного анализа в программе SPSS, результаты представлены в виде «среднее значение ± стандартная ошибка». Критерием оценки значимости различий было $P < 0,05$.

На рис. 1 и табл. 1 показано содержание макроэлементов в сильфии пронзеннолистной, люцерне посевной и кукурузе.

Таблица 1. Содержание макроминеральных элементов в различных кормовых культурах

Культура	Содержание макроэлементов, г/кг				
	кальций	фосфор	калий	магний	натрий
Сильфия	5.39±0.14	1.06±0.04	3.25±0.03	1.27±0.04	0.54±0.03
Люцерна	7.06±0.04	0.78±0.06	5.00±0.04	0.59±0.01	0.06±0.01
Кукуруза	0.20±0.02	0.61±0.01	2.59±0.07	0.31±0.02	0.11±0.01

Как показано в табл. 1, среди уровней содержания основных элементов в различных кормовых культурах содержание Са варьируется в широких пределах – от 0,20 до 7,06 г/кг. Наибольшее содержание Са наблюдается в люцерне, при этом содержание Са в сильфии значительно выше, чем в кукурузе, около 5,39 г/кг ($P < 0,05$). Содержание Р в различных кормовых культурах составляет 0,61–1,06 г/кг, а содержание Р в сильфии значительно выше, чем в люцерне и кукурузе, около 1,06 г/кг ($P < 0,05$). Содержание К в различных кормовых культурах составляет 2,59–5,00 г/кг, а содержание К в сильфии значительно ниже, чем в люцерне, и выше, чем в кукурузе, около 3,25 г/кг ($P < 0,05$). Содержание Mg в различных кормовых культурах составляет 0,31–1,27 г/кг, а содержание Mg в сильфии значительно выше, чем в люцерне и кукурузе, около 1,27 г/кг ($P < 0,05$). Содержание Na в различных кормовых культурах варьировалось от 0,06 до 0,54 г/кг. Содержание Na в сильфии было значительно выше, чем в люцерне и кукурузе, около 0,54 г/кг ($P < 0,05$).

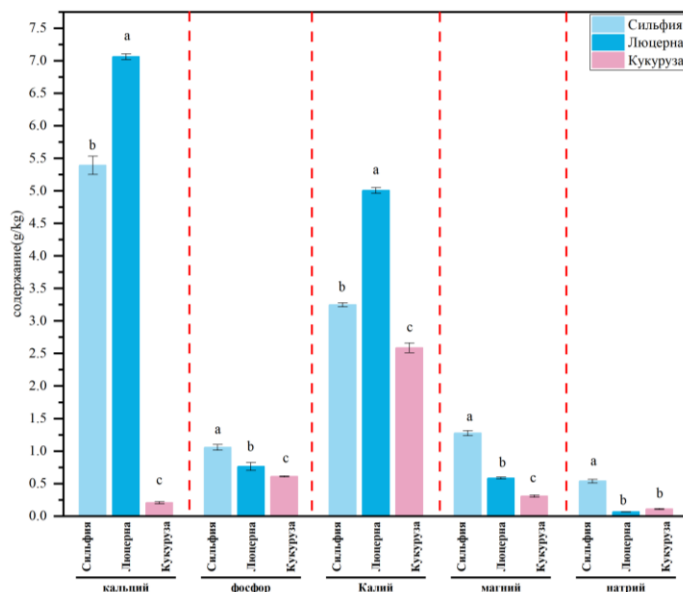


Рис. 1. Анализ содержания основных минеральных элементов в различных кормовых культурах

Содержание макроэлементов очень хорошо визуально видно на рис. 1. По сравнению с люцерной содержание Са и К в сильфии было ниже, но уровни содержания были одного порядка величини

ны. Содержание P, Mg и Na было значительно выше, чем в люцерне и кукурузе ($P < 0,05$). Кукуруза характеризовалась самым низким содержанием изучаемых макроэлементов по сравнению с люцерной и сильфией.

Содержание микроэлементов в сильфии, люцерне и кукурузе показано в табл. 2 и рис. 2.

Таблица 2. Содержание микроэлементов в различных кормовых культурах

Культура	Содержание микроэлементов, мг/кг				
	железо	медь	Цинк	молибден	кремний
Сильфия	435.79±3.2	3.43±0.18	4.77±0.08	0.28±0.07	588.17±6.90
Люцерна	79.5±0.51	2.31±0.17	3.57±0.09	0.15±0.03	303.21±2.32
Кукуруза	21.84±0.60	0.84±0.13	1.75±0.06	0.13±0.02	192.11±8.88

Как показано в табл. 2, среди микроэлементов, содержащихся в изучаемых кормовых культурах, содержание Fe и Si значительно превышает содержание других микроэлементов. Содержание Fe варьирует от 21,84 до 435,79 мг/кг, Cu – от 0,84 до 3,43 мг/кг, Zn – от 1,75 до 4,77 мг/кг, Mo – от 0,13 до 0,28 мг/кг, а Si – от 192,11 до 588,17 мг/кг.

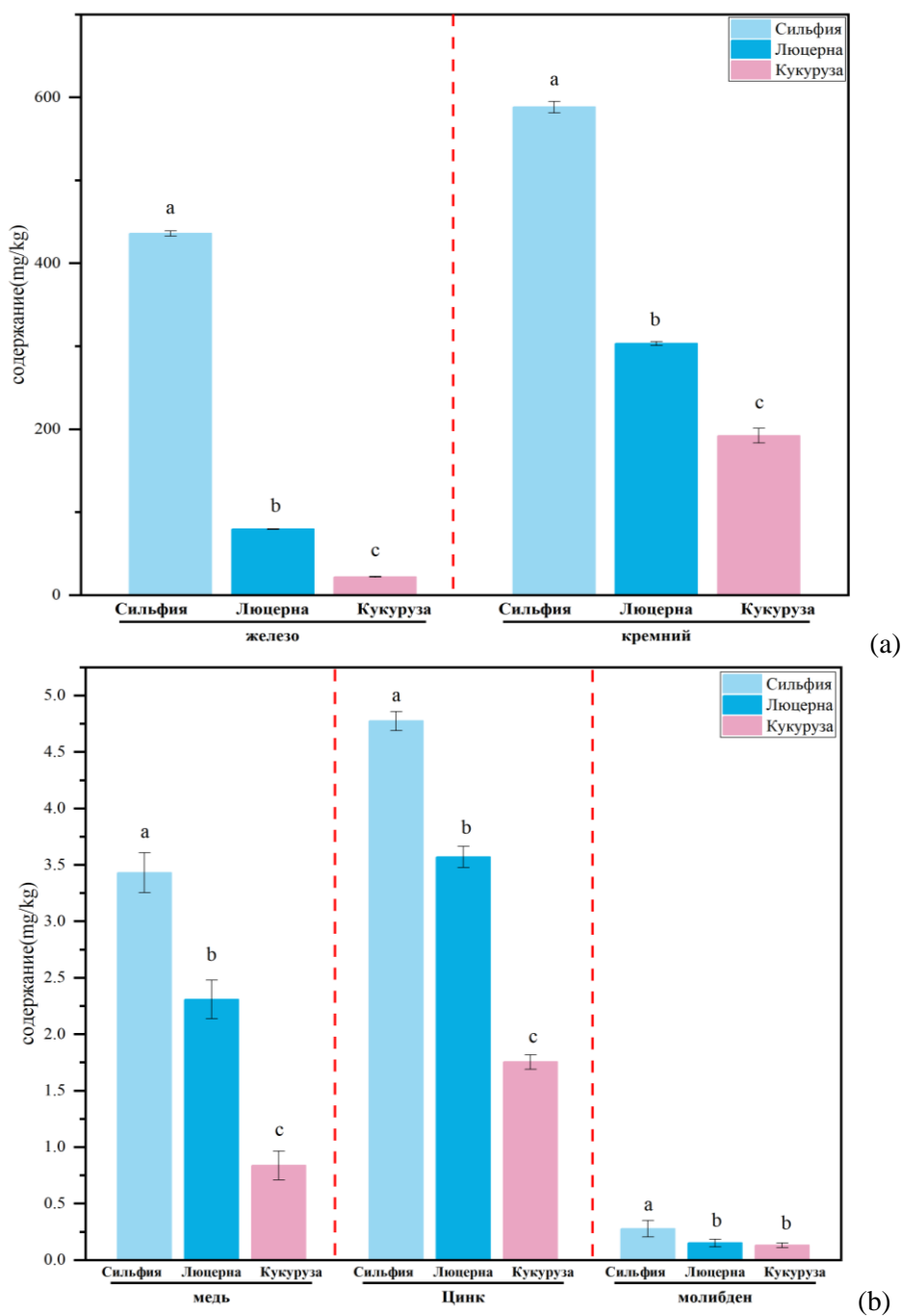


Рис. 2. Анализ микроэлементов в различных кормовых культурах

На рис. 2 визуально видно, что содержание Fe, Cu, Zn, Mo и Si в силфий значительно выше, чем в люцерне и кукурузе ($P < 0,05$).

Как по содержанию макро-, так и микроэлементов кукуруза значительно уступает силфии пронзеннолистной и люцерне посевной,

В табл. 3 и 4 представлены рекомендуемые нормы содержания макро и микроэлементов для различных возрастных групп КРС и их сравнение с содержанием в силфии пронзеннолистной.

Таблица 3. Оценка основных минеральных элементов силфии

Минеральные элементы	Рекомендуемое содержание для дойных коров (от сухого вещества суточного рациона, %)	Рекомендуемое содержание для сухостойных коров (от сухого вещества суточного рациона, %)	Силфия, г/кг	Содержание после конвертации (%)
Кальций	0.43 % ~ 0.82 %	0.39 % ~ 0.44 %	5.39	0.54 %
Фосфор	0.32 % ~ 0.43 %	0.26 % ~ 0.30 %	1.06	0.11 %
Калий	1.00 % ~ 1.50 %	0.90 % ~ 1.00 %	3.25	0.32 %
Магний	0.20 % ~ 0.30 %	0.16 % ~ 0.20 %	1.27	0.13 %
Натрий	0.18 % ~ 0.25 %	0.10 % ~ 0.15 %	0.54	0.05 %

Как показано в табл. 3, содержание кальция (0,54 %) в силфии находится на критическом нижнем пределе для дойных коров (необходимо от 0,43 % до 0,82 %), но значительно превышает на 22,7 % норму для сухостойных коров (необходимо от 0,39 % до 0,44 %). При использовании в качестве единственного корма может вызвать гипокальциемию или нарушения обмена веществ. Содержание фосфора (0,11 %), калия (0,32 %) и натрия (0,05 %) значительно ниже нижней границы потребности дойных коров (всего 34 %, 32 % и 28 %), что указывает на серьезный дефицит необходимых электролитов. Содержание магния (0,13 %) также ниже потребности дойных коров (65 %). В целом этот корм необходимо сочетать с кормами с высоким содержанием фосфора, калия и натрия, а также минеральными премиксами, чтобы избежать отрицательного электролитного баланса и снижения продуктивности молочных коров, а также избегать смешивания с кормами с высоким содержанием кальция (например, люцерной).

Таблица 4. Оценка содержания микроэлементов силфии

Минеральные элементы	Рекомендуемый нижний предел (мг/кг)	Верхний предел безопасности (мг/кг)	Силфия (мг/кг)
медь	10–18	40	3,43
цинк	40–80	500	4,77
марганец	40–60	1000	18,30
селен	0,3–0,5	5	0,04
кобальт	0,1–0,25	10	0,15
железо	40–60	1000	435,79

В табл. 4 показано, что содержание меди в силфии составляет всего 3,43 мг/кг, или 34,3 % от рекомендуемого нижнего предела (10 мг/кг) для молочных коров, содержание цинка 4,77 мг/кг, что составляет менее 11,9 % от рекомендуемого нижнего предела (40 мг/кг), а содержание селена 0,04 мг/кг составляет всего 13,3 % от необходимого нижнего предела (0,3 мг/кг). Такой дефицит может ослабить иммунную и антиоксидантную защиту.

Содержание железа 435,79 мг/кг превышает рекомендуемый верхний предел (60 мг/кг) в 7,3 раза. Высокие дозы железа могут конкурентно ингибировать всасывание меди и цинка в кишечнике и катализировать реакцию Фентона, что приводит к окислительному стрессу и вторичному дефициту микроэлементов.

Содержание марганца 18,30 мг/кг составляет 45,8 % от необходимого диапазона (40–60 мг/кг) и требует целенаправленного добавления для поддержания развития костей и глюконеогенеза.

Содержание кобальта 0,15 мг/кг находится в пределах рекомендуемого значения (0,1–0,25 мг/кг), но близко к верхней границе допустимой нормы для сухостойных коров (0,25 мг/кг).

Таким образом, корм из силфии первого года жизни необходимо дополнять медью, цинком, селеном и марганцем с помощью индивидуальных премиксов, а добавление экзогенного железа следует ограничить для обеспечения баланса микроэлементов в рационе.

Таблица 5. Оценка потенциально токсичных минеральных элементов в силфии

Стандартный источник	мышьяк	свинец	ртуть
Codex Стандарты кормов (CAC)	0.01 ~ 0.5 мг/кг	0.01 ~ 1 мг/кг	0.1 ~ 1 мг/кг
Силфия	0.05 мг/кг	0.56 мг/кг	0.013 мг/кг

Как показано в табл. 5, содержание мышьяка 0,05 мг/кг в силфии соответствует требованиям Комиссии по пищевым стандартам (Codex Alimentarius) и ЕС (0,01–0,5 мг/кг), что находится в пре-

делах безопасного диапазона и близко к нижнему пределу, это свидетельствует о контролируемом риске загрязнения мышьяком.

Содержание свинца 0,56 мг/кг значительно превышает верхний предел стандарта ЕС (0,5 мг/кг) на 12 %. Хотя это значение ниже свободного предела, установленного Кодексом (1 мг/кг), оно представляет потенциальную угрозу безопасности, поскольку свинец обладает высокой биоаккумуляцией. Длительное кормление может передаваться в организм человека через молоко и вызывать поражение почек и нейротоксичность у молочных коров.

Содержание ртути 0,013 мг/кг значительно ниже нижнего предела стандарта (0,1 мг/кг), достигая лишь 13 % от предельного значения, что свидетельствует о крайне низком риске загрязнения ртутью и соответствии требованиям экологической безопасности.

Заключение

Содержание основного минерального элемента Са в силфийи составляет 5,39 г/кг, что значительно выше, чем в кукурузе. Содержание Mg, Na и P составляет приблизительно 1,27 г/кг, 0,54 г/кг и 1,06 г/кг соответственно, что значительно выше, чем в люцерне и кукурузе. Содержание К составляет приблизительно 3,25 г/кг, что ниже, чем в люцерне, но значительно выше, чем в кукурузе.

Содержание Fe и Si значительно превышает содержание других микроэлементов, среди которых Fe составляет около 435,79 мг/кг, Cu – около 3,43 мг/кг, Zn – около 4,77 мг/кг, Mo – около 0,28 мг/кг, а Si – около 588,17 мг/кг, что значительно превышает показатели люцерны и кукурузы.

Оценивая силфию, как отдельный корм, где содержание макроэлементов – фосфора, калия и натрия – оказалось ниже нормативных требований, необходимо сказать, что его необходимо комбинировать с кормами с высоким содержанием фосфора, калия и натрия и минеральными премиксами.

Содержание микроэлементов меди и цинка недостаточно, а содержание железа превышает рекомендуемый верхний предел в 7,3 раза. Содержание мышьяка соответствует стандартам Комиссии по Codex Alimentarius и ЕС (0,01–0,5 мг/кг). Хотя содержание свинца 0,56 мг/кг ниже допустимого предела, установленного Кодексом (1 мг/кг), оно превышает верхний предел, установленный стандартом ЕС (0,5 мг/кг) на 12 %. Для снижения риска содержания ртути (0,013 мг/кг) используются корма с низким содержанием свинца (например, кукурузный силос), что значительно ниже нижнего предела (0,1 мг/кг).

ЛИТЕРАТУРА

1. Biel, W., Jaroszewska, A., & Stankowski, S. (2020). Chemical composition and nutritional value of leaves and stems of silphium perfoliatum L. Depending on vegetation stage. *Agronomy*, 10(10), 1596.
2. Vetter, A., et al. (2017). Silphium perfoliatum – a promising forage crop for temperate regions. *Grass and forage science*, 72(2), 205–214.
3. Karges, K., et al. (2022). Mineral composition of silphium perfoliatum herbage and silage. *Journal of animal science*, 100(skac247), 1–10.
4. 李胜利等.(2019). 《串叶松香草》在反刍动物饲料中的应用前景. *动物营养学报*, 31(10), 4473–4480.
5. National research council (nrc). (2001). *nutrient requirements of dairy cattle* (7th ed.). National academies press.
6. McDowell, L. R. (2003). *Minerals in animal and human nutrition* (2nd ed.). Elsevier.
7. Suttle, N. F. (2010). *Mineral nutrition of livestock* (4th ed.). Cabi publishing.
8. Goff, J. P. (2018). Invited review: mineral absorption mechanisms and interactions. *Journal of dairy science*, 101(4): 2763–2813.
9. Underwood, E. J. & Suttle, N. F. (1999). *The mineral nutrition of livestock* (3rd ed.). Cab international.
10. National research council (nrc). (2001). *Nutrient requirements of dairy cattle* (7th ed.). National academies press.
11. McDowell, L. R. (2003). *Minerals in animal and human nutrition*.
12. NRC (2001). *Nutrient requirements of dairy cattle*.
13. Nicholson, F. A. Et al. (1999). Heavy metal contents of livestock feeds and animal manures. *Bioresource technology*, 70(1): 23–31.

КРИТИЧЕСКИЙ ПЕРИОД ВРЕДНОСТИ СОРНЫХ РАСТЕНИЙ В ПОСЕВАХ МОРКОВИ СТОЛОВОЙ

Н. М. БЕЛОУСОВ

РУП «Институт защиты растений»,
аг. Прилуки, Республика Беларусь, 223011, e-mail: yser3710@gmail.com

(Поступила в редакцию 05.10.2025)

Сорные растения в посевах моркови столовой являются одним из основных факторов, ограничивающих формирование урожайности корнеплодов. Для обоснования эффективных сроков контроля засорённости посевов в 2022–2024 гг. проведены полевые исследования на опытном поле РУП «Институт защиты растений» с целью установления критического периода вредности сорных растений и определения потерь урожайности моркови при различной продолжительности совместной вегетации с сорняками.

В ходе исследования в агроценозах моркови установлено произрастание 19 видов сорных растений, среди которых доминировали марь белая (*Chenopodium album* L.) и ежовник обыкновенный (*Echinochloa crusgalli* (L.) Beauv.). Общая численность и масса сорняков возрастала по мере увеличения продолжительности произрастания с культурой, что сопровождалось снижением урожайности корнеплодов. Начало критического периода вредности сорных растений соответствовало фазе 1–3 настоящих листьев моркови столовой (от 11 до 25 дней совместной вегетации). Позднее удаление сорняков, в фазе 4–6 листьев, приводило к снижению урожайности на 24,7–76,6 %, неконтролируемое произрастание сорных растений в течение всего периода вегетации моркови приводит к потерям 56,6–83,7 % корнеплодов. В среднем по годам потери урожайности увеличивались от 5,7 % до 72,7 % по мере удлинения периода совместной вегетации с сорными растениями. Обработка данных методом корреляционно-регрессионного анализа подтвердила наличие выраженной отрицательной зависимости между урожайностью корнеплодов и продолжительностью конкурентного воздействия сорных растений ($r = -0,960-0,994$; $R^2 = 92,2-98,7$ %). Уравнение линейной регрессии показало снижение урожайности на 4,43–7,20 ц/га при каждом дне задержки прополки, что подтверждает необходимость своевременного и комплексного контроля засорённости посевов.

Ключевые слова: морковь столовая, сорные растения, видовой состав, критический период, урожайность.

Weeds in carrot crops are one of the main factors limiting root crop yield. To substantiate effective weed control periods for crops, field studies were conducted in 2022–2024 at the experimental field of the Institute of Plant Protection, a state-owned enterprise, to establish the critical period of weed inferiority and determine carrot yield losses during varying periods of weed-associated growth.

*During the study, 19 weed species were identified in carrot agroecosystems, the dominant ones being white goosefoot (*Chenopodium album* L.) and barnyard grass (*Echinochloa crusgalli* (L.) Beauv.). The total number and weight of weeds increased with increasing duration of co-growing with the crop, which was accompanied by a decrease in root crop yield. The onset of the critical period of weed damage corresponded to the 1–3 true leaf stage of table carrots (11 to 25 days into the co-growing season). Late weed removal, at the 4–6 leaf stage, resulted in a yield reduction of 24.7–76.6 %. Uncontrolled weed growth throughout the carrot growing season resulted in root crop losses of 56.6–83.7 %. On average, yield losses increased from 5.7 % to 72.7 % as the co-growing period with weeds lengthened. Data processing using correlation and regression analysis confirmed a significant negative relationship between root crop yield and the duration of weed competition ($r = -0.960-0.994$; $R^2 = 92.2-98.7$ %). The linear regression equation showed a yield reduction of 0.443–0.720 t/ha for each day of delayed weeding, confirming the need for timely and comprehensive weed control.*

Key words: carrot, weeds, species composition, critical period, yield.

Введение

Морковь столовая является одной из приоритетных культур в структуре овощеводства Республики Беларусь. Согласно данным Национального статистического комитета Республики Беларусь, в 2024 году возделывание моркови столовой в хозяйствах осуществлялась на площади 5063,0 га. Общий валовый сбор корнеплодов составил 248,8 тыс. тонн, при средней урожайности 465,0 ц/га. Корнеплоды моркови столовой отличаются высокой питательной ценностью и широким спектром применения в свежем виде, переработке и детском питании, что обеспечивает устойчивый внутренний спрос и экспортный потенциал культуры [1].

Учитывая сравнительно длительный вегетационный период и низкую конкурентоспособность на ранних этапах онтогенеза, морковь столовая весьма чувствительна к неблагоприятным факторам среды, в частности – к засорённости посевов [2]. По данным маршрутных обследований в агроценозах моркови столовой произрастает около 45 видов сорных растений, при средней численности 48,0 шт/м² [3]. Неконтролируемая засорённость существенно влияет на продуктивность культуры. При численности сорняков на уровне 6–10 шт/м² урожайность корнеплодов снижается на 4–5 т/га [4, 5, с. 162], а их качество на 3,3 мг % каротина, 1,73 % сухого вещества, 2,69 % суммы сахаров [5, с. 162]. С увеличением плотности сорных растений угнетающее воздействие усиливается, достигая потерь урожайности до 87,8–97,0 % [2, 5, с. 162].

В связи с этим одним из наиболее эффективных и научно обоснованных подходов в контроле сорной растительности является определение критического периода вредоносности – временного интервала, в течение которого сорные растения оказывают наибольшее отрицательное влияние на рост, развитие и формирование урожая корнеплодов.

По данным ряда исследователей (F. Tei, E. Pannacci, A. Cirujeda, и др.), минимальный период, в течение которого посеы моркови должны оставаться чистыми от сорняков, начинается с момента появления всходов и продолжается до достижения культурой 80 % покрытия поверхности почвы, что соответствует 1/3–1/2 длительности вегетационного периода [6]. Д. С. Акимов утверждает, что наибольшее влияние на развитие сорняки оказывают в фазу «вилочки» – до формирования 2–3 настоящих листьев моркови. Засорение в фазу 4–6 настоящих листьев приводит к снижению урожайности и накоплению питательных веществ в корнеплодах, удлиняя тем самым сроки созревания [4]. В своих исследованиях С. J. Swanton считает критическим уровнем засорённости, когда накопление вегетативной массы сорных растений достигает 650 г/м² [7].

Продолжительность критического периода вредоносности варьирует в зависимости от региона возделывания культуры: в условиях Московской области критический период для моркови столовой составляет 30–40 дней с момента появления всходов [8], в провинции Онтарио (Канада) данный период варьирует в пределах от 3 до 6 недель [7], в Сан-Лоренсо (Парагвай) – от 19 до 70 дней [9], в Гоянии (Бразилия) – от 22 до 31 дня [10].

В условиях Беларуси исследования по определению критического периода вредоносности сорных растений в посевах моркови столовой ранее не проводились, что свидетельствует об актуальности данной темы. Определение границ критического периода позволит своевременно планировать мероприятия по контролю сорной растительности, оптимизировать сроки применения гербицидов и других агротехнических приёмов, что обеспечит максимальную биологическую и экономическую эффективность возделывания моркови столовой.

Целью исследования является определение потерь урожайности моркови столовой от сорных растений и установление критического периода вредоносности в условиях Беларуси.

Основная часть

Исследования по определению критического периода вредоносности сорных растений проводились в 2022–2024 гг. на опытном поле РУП «Институт защиты растений» в посевах моркови столовой сорта Карлена (2022 г.) и гибрида Небида F1 (2023–2024 гг.). Агротехника возделывания моркови столовой соответствовала общепринятым требованиям для данной зоны.

Размер опытной делянки составлял 3 м², учётной – 1 м². Опыт закладывался в четырёхкратной повторности с рандомизированным размещением делянок [11]. Схема опыта включала контрольные варианты: с постоянной засорённостью и свободные от сорных растений на протяжении всего периода вегетации культуры. Сроки удаления сорных растений в результате наступления фазы развития моркови проводили вручную: в фазе вилочки, 1-го, 2-го, 3-го, 4-го, 5-го, 6-го настоящих листьев.

В ходе исследования устанавливался видовой состав сорных растений [12] и учитывалась их вегетативная масса. Определение критического периода вредоносности проводили путём сравнения достоверного снижения урожайности корнеплодов в вариантах с различной продолжительностью совместной вегетации моркови столовой с сорными растениями относительно контроля. Уборка урожая осуществлялась по делянкам вручную. Статистическую обработку полученных данных выполняли методом дисперсионного анализа [13].

Зависимость урожайности моркови столовой от продолжительности засорения посевов описывали с использованием уравнения линейной регрессии, рассчитанного в программной среде Microsoft Excel:

$$Y = A - B \times X,$$

где Y – урожайность моркови столовой при данной засорённости, ц/га; A – максимально возможная урожайность при полном отсутствии сорных растений в посевах, ц/га; X – количество дней совместной вегетации моркови столовой с сорными растениями; B – коэффициент вредоносности сорных растений, показывающий изменение урожайности культуры при увеличении периода совместного произрастания на один день.

Линейная функция является наиболее подходящей для выражения зависимости между уровнем засорённости посевов и урожайностью культуры. Она примерно с одинаковой степенью точности отражает связь между этими показателями и выгодно отличается от других математических моделей простотой вычислений и логической интерпретацией полученных результатов.

Относительный коэффициент вредоносности совокупности видов сорной растительности, который характеризует снижение потенциальной урожайности в процентах, определяли по формуле:

$$B_0 = \frac{B}{A} \times 100 \times R^2,$$

где B_0 – относительный коэффициент вредоносности сорных растений, %; R^2 – коэффициент детерминации.

Сорная растительность в посевах моркови столовой при проведении исследований была представлена следующими семействами и видами: Астровые (*Asteraceae* Dumort.): галинзога мелкоцветковая (*Galinsoga parviflora* Cav.), осот полевой (*Sonchus arvensis* L.), трехреберник непахучий (*Tripleurospermum inodorum* (L.) Sch. Bip.), сушеница топяная (*Gnaphalium uliginosum* L.); Гречишные (*Polygonaceae* Juss.): горец вьюнковый (*Polygonum convolvulus* L.), горец птичий (*Polygonum aviculare* L.), горец шероховатый (*Persicaria lapathifolia* (L.) Delarbre); Крестоцветные (*Brassicaceae* Burnet): жерушник болотный (*Rorippa palustris* (L.) Bess.), пастушья сумка обыкновенная (*Capsella bursa-pastoris* (L.) Medic.), ярутка полевая (*Thlaspi arvense* L.); Гвоздичные (*Caryophyllaceae* Juss.): звездчатка средняя (*Stellaria media* (L.) Vill.), торица полевая (*Spergula arvensis* L.); Маревые (*Chenopodiaceae* Vent.): марь белая (*Chenopodium album* L.); Злаковые (*Graminea* Juss.): мятлик однолетний (*Poa annua* L.), ежовник обыкновенный (*Echinochloa crusgalli* (L.) Beauv.), пырей ползучий (*Elytrigia repens* (L.) Nevski); Яснотковые (*Lamiaceae* Lindl.): пикульник обыкновенный (*Galeopsis tetrahit* L.); Мареновые (*Rubiaceae* Juss.): подмаренник цепкий (*Galium aparine* L.); Фиалковые (*Violaceae* Batsch): фиалка полевая (*Viola arvensis* Murr.).

Засорённость посевов характеризовалась преобладанием яровых сорных растений – 83,7–99,7 %, что обусловлено биологическими особенностями культуры. Зимующие однолетние сорняки составляли 0,2–16,8 %, многолетние – 0,1–0,4 % от общей численности сорных растений.

Анализ видового состава показал, что в течение вегетационных сезонов 2022 и 2024 гг. ведущее положение занимала марь белая, численность которой в посевах составляла 61,7 и 76,5 % от общего количества сорных растений, а доля в общей массе – 84,3 и 89,4 %. В 2022 г. заметную роль в формировании сорного ценоза занимала также галинзога мелкоцветковая, доля которой составляла 16,1 % по численности и 10,5 % по вегетативной массе. В 2023 г. в структуре засорённости преобладали подмаренник цепкий, марь белая и фиалка полевая численность которых достигала 3,2; 4,0 и 9,6 %, а масса 5,2; 30,3 и 7,7 %. Кроме того, в 2023 и 2024 гг. преобладающее значение в формировании засорённости посевов имел ежовник обыкновенный, численность которого составляла 78,4 и 22,2 %, а доля в массе сорной растительности – 53,8 и 10,2 % соответственно.

Динамика формирования численности в целом носит волнообразный характер, поскольку численность сорных растений увеличивается к фазе 4 листьев моркови столовой до 873,0–879,0 шт/м² в 2022 и 2024 гг., 102,0 шт/м² – в 2023 г., а за тем, за счет конкуренции и выпадения сорных видов отмечается снижение численности до 387,0–456,0 шт/м² (2022 и 2024 гг.). В условиях 2023 г. численность сорных растений на засоренных делянках возросла до 133,0 шт/м². Видно, что максимальное накопление численности сорных растений (практически 100 %) по годам исследований отмечалось к фазе 4 листьев моркови столовой (табл. 1).

Динамика формирования вегетативной массы у сорных растений постоянно увеличивалась: в 2022–2023 гг. от 20,0–34,4 г/м² в фазе вилочки до 975,0–1002,5 г/м² в фазу 4-го листа и 1685,5–1979,4 г/м² в фазу 5-го листа моркови столовой. Период накопления массы сорных растений также сильно зависел от условий окружающей среды, поскольку в 2023 г. формирование надземной массы на засоренных делянках составило только 3024,5 г/м². В целом доля массы, приходящейся на фазу 6-го листа моркови, составляет от 56,8 до 82,6 % из общей массы сорных растений в агроценозе (табл. 1).

Анализ урожайности корнеплодов моркови столовой на вариантах, свободных от сорных растений в течение всего периода вегетации (контроль), составила: у сорта Карлена – 309,7 ц/га, гибрида Небида F₁– 611,7–617,8 ц/га. Удаление сорных растений в фазе «вилочки» вызывает колебания урожайности на уровне +6,2 % – 5,3 %. Прополка в фазе 1-го настоящего листа моркови (8–10 дней совместной вегетации) сопровождалась снижением урожайности на 1,3–13,0 %, в фазе 2–3 настоящих листьев (15–28 дней) – 5,0–44,5 %, в фазе 4–6 настоящих листьев (25–74 дня) – 24,7–76,6 %. Присутствие сорных растений в течение всего периода вегетации способствовало снижению урожайности корнеплодов на 56,6–83,7 % по сравнению с контролем. Соответственно, чем дольше сорные растения произрастают в посевах моркови столовой, тем выше потери урожайности (табл. 1).

Таблица 1. Урожайность моркови столовой в зависимости от продолжительности конкурентного воздействия сорных растений (опытное поле РУП «Институт защиты растений»)

Фаза развития моркови	Совместная вегетация, дни	Количество сорняков, шт/м ²	Масса сорняков, г/м ²	Урожайность, ц/га	Потери урожайности, %	
Сорт Карлена, 2022 г.						
1. Посевы чистые от сорняков (контроль)	–	–	–	309,7	–	
2. С фазы вилочки	5	227,0	20,0	293,2	5,3	
3. С фазы 1-го листа	10	490,0	124,4	269,3	13,0	
4. С фазы 2-го листа	14	522,0	192,7	254,3	17,9	
5. С фазы 3-го листа	19	847,0	405,5	252,1	18,6	
6. С фазы 4-го листа	24	879,0	975,0	202,5	34,6	
7. С фазы 5-го листа	38	796,0	1979,4	149,3	51,8	
8. С фазы 6-го листа	52	483,0	3348,1	80,7	73,9	
9. Засорённые весь сезон	132	387,0	5899,0	50,4	83,7	
НСР ₀₅					67,15	
Начало критического периода	20 сутки после всходов					
Гибрид Небида F₁, 2023 г.						
1. Посевы чистые от сорняков (контроль)	–	–	–	617,8	–	
2. С фазы вилочки	3	87,0	34,4	616,7	0,2	
3. С фазы 1-го листа	9	101,0	36,4	609,5	1,3	
4. С фазы 2-го листа	17	99,0	154,4	587,2	5,0	
5. С фазы 3-го листа	22	78,0	335,4	562,3	9,0	
6. С фазы 4-го листа	31	102,0	1002,5	465,3	24,7	
7. С фазы 5-го листа	38	83,0	1685,5	380,8	38,4	
8. С фазы 6-го листа	50	91,0	2491,0	346,6	43,9	
9. Засорённые весь сезон	126	133,0	3024,5	268,4	56,6	
НСР ₀₅					82,73	
Начало критического периода	25 сутки после всходов					
Гибрид Небида F₁, 2024 г.						
1. Посевы чистые от сорняков (контроль)	–	–	–	611,7	–	
2. С фазы вилочки	5	781	696,7	649,7	+6,2	
3. С фазы 1-го листа	8	775	762,0	572,9	6,3	
4. С фазы 2-го листа	18	639	2158,0	462,6	24,4	
5. С фазы 3-го листа	29	564	3490,8	339,7	44,5	
6. С фазы 4-го листа	40	873	4276,9	286,0	53,2	
7. С фазы 5-го листа	57	541	4628,0	182,6	70,1	
8. С фазы 6-го листа	74	503	4357,0	143,1	76,6	
9. Засорённые весь сезон	123	456	5273,0	101,7	83,4	
НСР ₀₅					70,60	
Начало критического периода	11 сутки после всходов					

В среднем по годам потери урожайности в процентном соотношении составили: удаление сорных растений с фазы 1-го листа – 5,7 %, с фазы 2 листьев – 15,3 %, 3 листьев – 25,0 %, 4 листьев – 38,0 %, 5 листьев – 53,7 %, 6 листьев – 62,9 %, засорённые весь сезон делянки – 72,7 % (рис. 1).

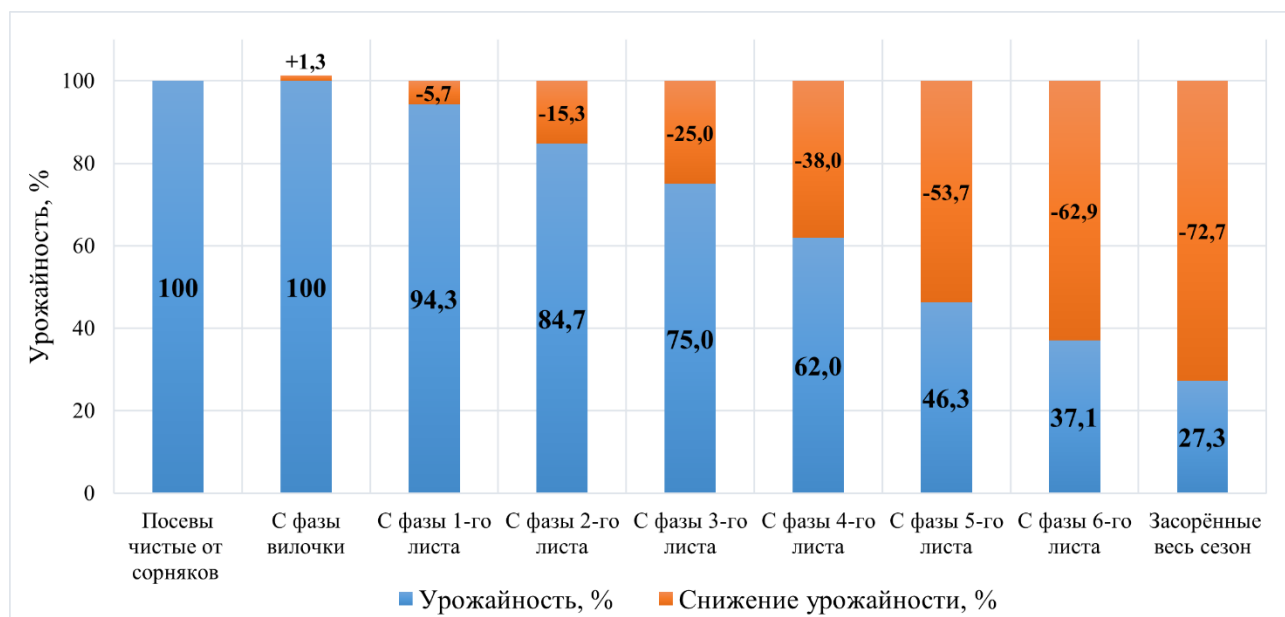


Рис. 1. Влияние продолжительности совместной вегетации сорных растений и моркови столовой на урожайность корнеплодов, в среднем за 2022–2024 гг.

Полученные экспериментальные данные обработаны методом корреляционно-регрессионного анализа, что подтверждает наличие устойчивой отрицательной зависимости между урожайностью моркови столовой и продолжительностью совместной вегетацией с сорными растениями (табл. 2). Установленная зависимость описывается уравнением линейной регрессии. Коэффициент корреляции за годы исследований варьировал от -0,960 до -0,994, что указывает на сильную обратную (отрицательную) связь между продолжительностью засорённости и урожайностью моркови (табл. 2).

Таблица 2. Зависимость урожайности моркови столовой от длительности совместной вегетации с сорными растениями (опытное поле, РУП «Институт защиты растений»)

Дата сева	Уравнение линейной регрессии $Y=A-BX$	Коэффициент корреляции (r)	Коэффициент детерминации (R^2)	Относительный коэффициент вредоносности, (B_0), %
Сорт Карлена, 2022 г.				
04.05.2022	$Y=316,3-4,43x$	-0,994	0,987	1,39
Гибрид Небида F ₁ , 2023 г.				
11.05.2023	$Y=651,9-6,05x$	-0,960	0,922	0,86
Гибрид Небида F ₁ , 2024 г.				
15.05.2024	$Y=614,0-7,20x$	-0,970	0,941	1,10

Коэффициент детерминации (R^2) показывает, что в 92,2–98,7 % изменчивость урожайности корнеплодов зависит от массы сорных растений и продолжительности присутствия их в посевах (табл. 2).

Согласно уравнению регрессии, сокращение периода произрастания сорняков в посевах моркови столовой на один день способствует увеличению урожайности корнеплодов на 4,43–7,20 ц/га. Относительный коэффициент вредоносности сорных растений (B_0) составил 0,86–1,39 % (табл. 2).

Заключение

Таким образом, в результате полевых исследований установлено, что начало критического периода вредоносности сорных растений составляет 11–25 дней с момента появления всходов моркови, что совпадает с фазой 1–3 настоящих листьев культуры. Позже данного периода (с фазы 2–4 настоящих листьев) урожайность существенно снижается на 24,7 %–34,6 % по сравнению с посевами чистыми от сорной растительности. Удаление сорных растений в фазе 5–6-го листа моркови приводило к снижению урожайности в некоторые годы от 38,4–43,9 % до 51,8–76,6 %. При полном отсутствии защитных мероприятий на протяжении всего вегетационного периода потери урожайности составили 56,6–83,7 %. В среднем по годам потери составили: удаление сорных растений с фазы 1-го листа – 5,7 %, 2 листьев – 15,3 %, с фазы 3 листьев – 25,0 %, 4 листьев – 38,0 %, 5 листьев – 53,7 %, 6 листьев – 62,9 %, засоренные весь сезон делянки – 72,7 %. Согласно уравнению линейной регрессии урожайность моркови столовой вследствие задержки прополки на один день снижается на 4,43–7,20 ц/га, или 0,86–1,39 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Современные технологии в овощеводстве / А. А. Аутко, Ю. М. Забара, Г. И. Гануш [и др.]; под редакцией А. А. Аутко; Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т овощеводства. – Минск: Беларус. навука, 2012. – 490 с.
2. Интегрированные системы защиты сельскохозяйственных культур от вредителей, болезней, и сорняков: рекомендации / Нац. Акад. наук Респ. Беларусь; Ин-т защиты растений НАН Беларуси; под ред. С. В. Сороки. – Минск: Бел. Наука, 2005. – 462 с.
3. Белоусов, Н. М. Структура сорного ценоза в посевах моркови столовой на территории Республики Беларусь / Н. М. Белоусов, И. Г. Волчкевич // Вестн. Белорус. гос. с.-х. академии. – 2024. – № 1. – С. 134–138.
4. Акимов, Д. С. Комплексное применение новых гербицидов и инсектицидов на посевах моркови столовой в условиях нечерноземной зоны: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.09 / Акимов Дмитрий Сергеевич; Всерос. науч.-исслед. ин-т овощеводства. – М., 2015. – 141 л.
5. Сергомонов, С. В. Порог вредоносности сорных растений в посевах продовольственной моркови / С. В. Сергомонов // Вестн. КрасГАУ. – 2006. – № 6. – С. 160–162.
6. Tei, F. Weeds and weed management in carrots: A review / F. Tei, D.T. Baumann, P.O. Bleeker [et al.] // Proc. 12th EWRS Symposium, Wageningen. – 2002. – P. 14–15. – URL: www.researchgate.net/publication/261031944_Weeds_and_weed_management_in_carrots_A_review/ (date of access: 27.06.2025).
7. Swanton, C. J. The critical weed-free period in carrot / C. J. Swanton, J. O'Sullivan, D. Robinson // Weed Science. – 2010. – Vol. 58. – P. 229–233.
8. Поперекин, А. К. Критический период вредоносности сорной растительности в посевах моркови и его влияние на урожайность / А. К. Поперекин // Сб. науч. тр. по овощеводству и бахчеводству: (к 75-летию Всерос. НИИ овощеводства): в 2 т. / Рос. акад. с.-х. наук, Всерос. НИИ овощеводства; ред. С. С. Литвинов. – М., 2006. – Т. 2. Технология и земледелие. – С. 465–468.
9. Ojeda, P. A. V. Periodo crítico de interferencia de malezas en el cultivo de zanahoria / P. A. V. Ojeda, C. R. E. Garay // Investigación Agraria. – 2017. – Vol. 19(2). – P. 77–85. – URL: <https://doi.org/10.18004/investig.agrar.2017.diciembre.77-85> (date of access: 27.06.2025).
10. Coelho, M. Interferência de plantas daninhas na cultura da cenoura (*Daucus carota*) / M. Coelho, S. Bianco, L. B. Carvalho // Planta Daninha. – 2009. – Vol. 27. – P. 913–920. – URL: www.researchgate.net/publication/250032096_Interferencia_de_plantas_daninhas_na_cultura_da_cenoura_Daucus_carota/ (date of access: 27.06.2025).
11. Методические указания по изучению экономических и критических периодов вредоносности сорняков в посевах сельскохозяйственных культур / ВАСХНИЛ, Отд.-ние земледелия и химизации сел. хоз-ва, Моск. с.-х. акад. им. К. А. Тимирязева; подгот.: Г. Г. Груздев [и др.]. – М.: ВАСХНИЛ, 1985. – 23 с.
12. Филюнов, А. В. Сорные растения / А. В. Филюнов. – М.: Колос, 1984. – 320 с.
13. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта: с основами статистической обработки результатов исследований / Б. А. Доспехов. – 5-е изд., доп. и перераб. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

МЕХАНИЗАЦИЯ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 665.73-75

ГАЗОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ

А. Н. КАРТАШЕВИЧ, П. Ю. МАЛЫШКИН

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

(Поступила в редакцию 29.08.2025)

Традиционный подход к решению энергетических и экологических вопросов в области двигателестроения заключается в совершенствовании существующих конструкций двигателей и их систем с целью улучшения экономичности и снижения токсичности отработавших газов. Однако исследователи и инженеры приходят к выводу о необходимости адаптации двигателей к новым, доступным видам альтернативных топлив. В ближайшие годы будет возрастать роль таких топлив, как сжиженные газы, спирты, эфиры и смесевые топлива. Разработка эффективных способов комплексного применения газа в двигателестроении – актуальная научно-техническая задача, имеющая важное экономическое и экологическое значение. Подобные исследования в данной области интенсивно ведутся во многих странах мира.

Разработаны оригинальные системы подачи газового топлива с автоматическим регулированием и управлением режимами совместной работы систем подачи дизельного и газового топлива, обеспечивающие уменьшение токсичности продуктов сгорания дизеля, повышение точности дозирования газового топлива, эффективности, безопасности работы дизеля и защищенные патентами Российской Федерации и Республики Беларусь. Проведенные стендовые испытания двигателя, оснащенного разработанной системой подачи альтернативного газового топлива, позволили установить, что для получения лучших характеристик при добавлении СУГ во впускной коллектор дизеля 4ЧН 11,0/12,5 необходимо ограничить подачу СУГ на уровне 30 % от ДТ.

Ключевые слова: двигателестроение, дизель, альтернативные топлива, системы подачи, газовые топлива, стендовые испытания.

The traditional approach to solving energy and environmental issues in engine engineering involves improving existing engine designs and systems to improve fuel efficiency and reduce exhaust emissions. However, researchers and engineers are realizing the need to adapt engines to new, readily available alternative fuels. In the coming years, the role of fuels such as liquefied gases, alcohols, ethers, and hybrid fuels will increase. Developing effective methods for the integrated use of gas in engine engineering is a pressing scientific and technical challenge with significant economic and environmental implications. Similar research in this area is being intensively conducted in many countries worldwide. Original gas fuel delivery systems with automatic regulation and control of the combined operation modes of diesel and gas fuel delivery systems have been developed. These systems reduce the toxicity of diesel combustion products, improve the accuracy of gas fuel metering, and enhance diesel engine efficiency and safety.

These systems are protected by patents in the Russian Federation and the Republic of Belarus. Bench tests of an engine equipped with the developed alternative gas fuel delivery system revealed that, to achieve the best performance when adding LPG to the intake manifold of a 4ChN 11.0/12.5 diesel engine, it is necessary to limit the LPG delivery to 30 % of the diesel fuel.

Key words: engine building, diesel, alternative fuels, delivery systems, gas fuels, bench tests.

Введение

Традиционный подход к решению энергетических и экологических вопросов в области двигателестроения заключается в совершенствовании существующих конструкций двигателей и их систем с целью улучшения экономичности и снижения токсичности отработавших газов. Однако исследователи и инженеры приходят к выводу о необходимости адаптации двигателей на новые, доступные виды альтернативных топлив. В ближайшие годы будет возрастать роль таких топлив, как сжиженные газы, спирты, эфиры и смесевые топлива.

Разработка эффективных способов комплексного применения газа в двигателестроении – актуальная научно-техническая задача, имеющая важное экономическое и экологическое значение. Подобные исследования в данной области интенсивно ведутся во многих странах мира [1–3].

Итальянская компания «LOVATO» – широко известный поставщик газобаллонных систем для двигателей внутреннего сгорания. Продукция «LOVATO» охватывает всю гамму силовых агрегатов как различных типов автомобилей, так и катеров, скутеров, мотогенераторов и т. д. Она позволяет переоборудовать двигатели для работы на экологически чистом топливе (сжиженном нефтяном и сжатом природном газе). Основным условием функционирования метановой топливной системы транспортных средств является использование баллонов минимального веса, рассчитанных на давление до 32 МПа и выше для увеличения пробега автомобилей. В настоящее время компания «LOVATO» занимает лидирующие позиции на мировом рынке производства газобаллонного оборудования. Своего успеха «LOVATO» добилась в первую очередь благодаря высочайшему качеству продукции при сохранении наилучшего соотношения цена/качество. Высокое качество продукции «LOVATO» подтверждается сертификатом ISO 9001. Производить высокотехнологичное оборудование компании LOVATO позволяют постоянные исследования в собственном научно-испытательном центре. 75 % продукции LOVATO поставляется на экспорт в более чем 50 стран мира.

Голландская фирма «Prins Autogassystemen B.V.» является мировым лидером в развитии альтернативных топливных систем больше 25 лет. Это позволило создать репутацию поставщика инновационных решений для широкого диапазона машин, доступных на рынке сегодня. Система «ГБО PRINS VSI» разработана в тесном сотрудничестве с японской корпорацией «Keihin Corp.» – мировым лидером в изготовлении газовых форсунок. Стабильная работа форсунок «Keihin» гарантируется на протяжении 290 миллионов циклов. Это приблизительно соответствует ресурсу в 200 тысяч километров пробега. В комбинации со специальной стратегией программного обеспечения «ГБО PRINS» позволяет достигнуть превосходных характеристик работы на газу для автомобилей мощностью до 300 кВт. В японских машинах устанавливается одна из самых современных в мире систем «Valve Care», которая сохраняет седла клапанов.

Польско-итальянская компания «D.T. GAS SYSTEM» – один из лидеров на рынке разработчиков газобаллонного оборудования с 1992 года.

У компании «D.T.GAS SYSTEM» есть собственная научно-исследовательская лаборатория, которая разбирается с возникающими проблемами, совершенствует существующие системы ГБО и проводит перспективные исследования для будущих разработок. Исследования проводятся с помощью высокоточного мощностного стенда и других приборов.

Итальянская компания «LANDI RENZO» разрабатывает и производит автомобильное газовое оборудование уже несколько десятков лет. Она располагает научно-исследовательской лабораторией, одной из самых совершенных в Европе. Продукция «Landi Renzo» первой в Италии была сертифицирована по стандарту ISO 9001. Все это гарантирует хорошо продуманную конструкцию газовых установок для автомобилей, превосходное качество изготовления и сборки газового оборудования.

Компания M.T.M. S.r.l. является итальянской производственной компанией, объединенной с компанией из США, которая обладает известной торговой маркой «BRC Gas Equipment» и в настоящее время является мировым лидером в производстве компонент и целостных систем ГБО для переоборудования автомобилей с бензина на пропан и метан и продолжает свое целенаправленное развитие. В производстве ГБО BRC сочетаются традиции, накопленные, более чем за 30 лет работы компании BRC в сфере разработки и производства газобаллонного оборудования, а также самые современные инновации. В исследовательских центрах «BRC Gas Equipment» постоянно происходит усовершенствование систем ГБО и разработка новых систем для перевода на газ различных двигателей, ведь автопромышленность не стоит на месте и двигатели постоянно совершенствуются.

Компания «LONGAS» была основана в 1963 году и стала одним из современных лидеров газобаллонной индустрии. Совершенствуя систему заправки и подачи газа к редуктору, первой предложила монтировать на горловину баллона сконструированный ими блок, состоящий из поплавка с индикатором уровня газа, заборной трубки, заправочного, расходного и скоростного клапанов. Производство «LONGAS» сертифицировано по международному стандарту качества ISO 9001.

STAG – польская система управления газовым инжектором, зарекомендовавшая себя надежным и качественно работающим комплектом оборудования. Как правило, в комплекте с электронным блоком управления STAG устанавливаются редуктор и блок форсунок итальянского производства (Veltek, Alex, Matrix). Благодаря расширению программного обеспечения блока управления дополнительными функциями, дающими возможность точно дозировать впрыск газа, STAG является оборудованием, удовлетворяющим норме эмиссии выхлопных газов Euro 5. Блок управления предназначен для всех автомобилей, оборудованных 1–8-цилиндровыми бензиновыми двигателями.

Из Российских марок газобаллонного оборудования в первую очередь следует отметить разработку научно-производственной фирмы «САГА». Начиная с 1993 года организовано серийное производ-

ство газобаллонного оборудования «САГА-6» на ОАО Пермское агрегатное объединение «Инкар», имеющее многолетний опыт по выпуску топливных систем для авиационных двигателей.

Конструктивные особенности и высокое качество изготовления в производственных условиях авиационного завода обеспечивают безопасность, высокую надежность и простоту эксплуатации.

При разработке системы «САГА-6» было учтено, что главным параметром газа в отличие от бензина является давление. Поэтому была разработана система редуктора-испарителя с одной системой подачи топлива, без остальных систем, которыми оснащен карбюратор. Редуктор поддерживает на выходе постоянное давление независимо от частоты вращения коленчатого вала двигателя и нагрузки. Этого оказалось вполне достаточно для работы двигателя в любом режиме. Система «САГА-6» обеспечивает работу на сжиженном углеводородном газе как карбюраторных двигателей внутреннего сгорания, так и двигателей с инжекторной системой питания без обратной связи.

Компания ООО «Славгаз» разработала редуктор «PeGAS», представляющий собой оригинальную разработку, в которой реализован механизм управления подачей топлива посредством разрежения на эжекторе, что позволяет достичь почти идеальной точности дозирования газа как для карбюраторных двигателей внутреннего сгорания, так и двигателей с инжекторной системой питания.

Отличительными особенностями системы «ЭКОГАЗ» для карбюраторных двигателей внутреннего сгорания и двигателей с инжекторной системой питания являются:

- надежный пуск на газовом топливе как прогретого, так и холодного двигателя;
- стабильная частота вращения коленчатого вала двигателя при работе на холостом ходу в режиме прогрева и при рабочей температуре;
- высокая чувствительность газового редуктора, оснащенного сервоприводом клапана второй ступени, обеспечивающая качественный переход с холостого хода двигателя к нагрузочным режимам и динамичный разгон приближенный к характеристикам двигателя при работе на бензине;
- стабильные, независимо от состава и качества газового топлива, температуры окружающего воздуха, засоренности воздушного фильтра и других изменяющихся условий, рабочие параметры и характеристики. Регулировки достаточно провести только при монтаже газобаллонного оборудования.

Также, для автомобилей с инжекторной системой питания компанией разработана и создана система «Фаворит». Для этой системы благодаря солидной научной базе были разработаны и производятся собственные газовые инжекторы, которые по своим основным характеристикам превосходят все известные на сегодняшний день мировые аналоги. Для установки на автомобиль с инжекторной системой питания без обратной связи возможна установка газобаллонного оборудования без ЭБУ, разработанного Московской фирмой «СКИФ СЕРВИС ГАЗ».

Для установки на автомобиль с системой питания с обратной связью оборудованных каталитическим нейтрализатором и лямбда-зондом, комплект ГБО доукомплектовывается электронным блоком ТЕС-99 производства итальянской фирмы «Тартарини», электрическим дозатором газа с шаговым электродвигателем той же фирмы, электромагнитными форсунками и другими необходимыми деталями. Электронный блок управления подает газ и регулирует его количество на основе данных, поступающих от лямбда-зонда, датчика положения дроссельной заслонки и датчика частоты вращения коленчатого вала двигателя.

Одним из крупнейших в Республике Беларусь предприятием по выпуску широкого спектра газового оборудования является Новогрудский завод газовой аппаратуры (ОАО «НЗГА»). С 2007 года ОАО «НЗГА» начат выпуск газобаллонного оборудования с распределенным впрыском газа и применением европейских электронных компонентов.

Целью работы является разработка и исследование эффективной системы подачи газового топлива в дизельный двигатель с газотурбинным наддувом.

Основная часть

В Белорусской государственной сельскохозяйственной академии на кафедре тракторов и автомобилей разработан ряд систем подачи газового топлива [4–12], на которые получены патенты на изобретения, и проводятся их исследования на двигателях производства Минского тракторного завода.

В результате анализа недостатков существующих систем подачи газового топлива был разработан ряд оригинальных систем подачи газового топлива во впускной коллектор дизеля для автотракторной техники, защищенных патентами на изобретения и полезные модели Республики Беларусь и Российской Федерации [4–14].

Наиболее точно подача газового топлива может быть реализована с использованием индивидуальных форсунок (рис. 1), подающих газ во впускной коллектор [14].

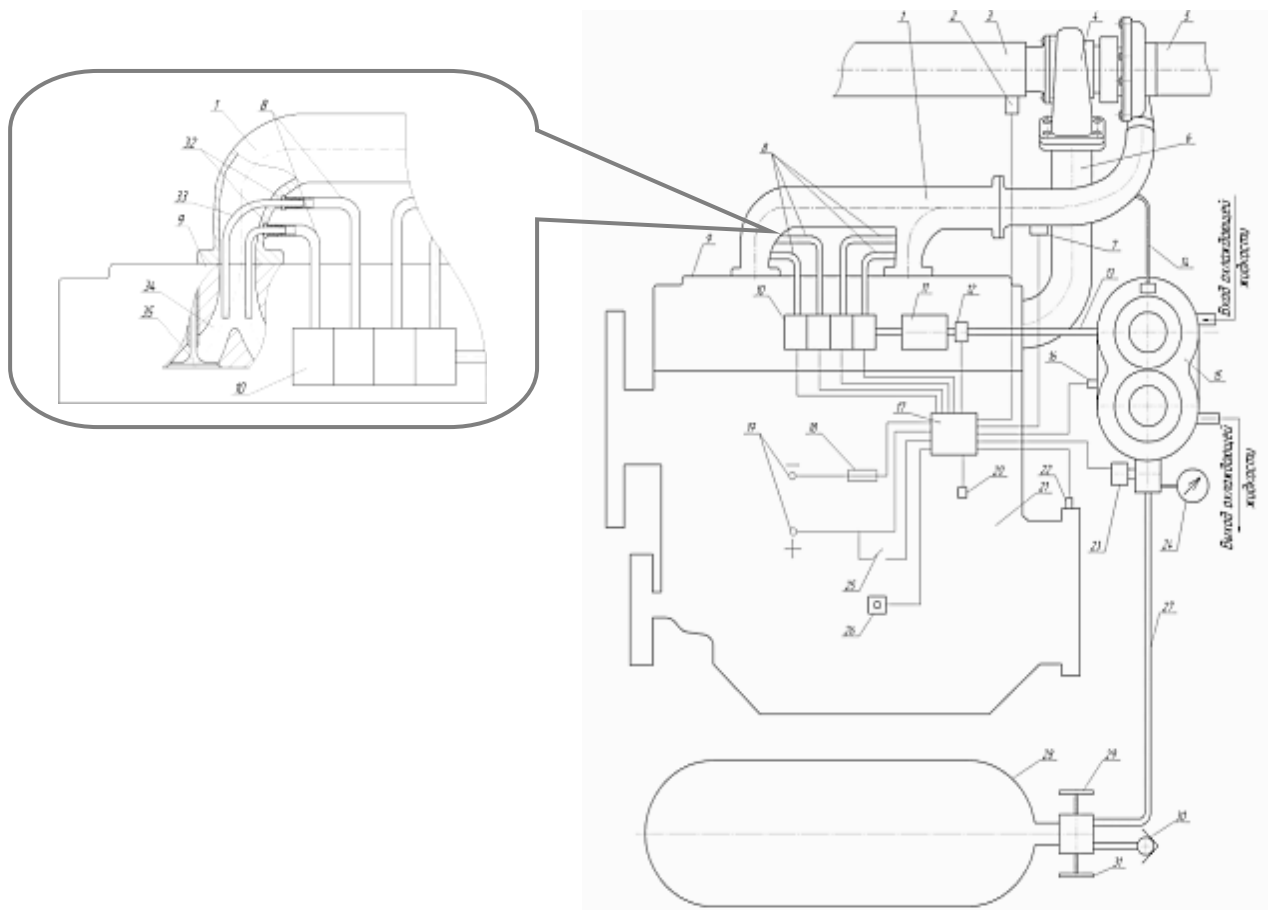


Рис. 1. Электронная система впрыска газового топлива в дизель: 1 – впускной коллектор; 2 – датчик температуры отработавших газов; 3 – приемная труба глушителя шума; 4 – турбокомпрессор; 5 – подающая труба; 6 – выпускной коллектор; 7 – датчик давления наддува; 8 – газовый штуцер; 9 – головка блока цилиндров; 10 – рампа газовых форсунок; 11 – фильтр тонкой очистки; 12 – датчик давления газа; 13 – газопровод; 14 – трубка; 15 – дифференциальный двухступенчатый газовый редуктор; 16 – датчик температуры; 17 – электронный блок управления; 18 – предохранитель; 19 – источник питания; 20 – датчик детонации; 21 – блок цилиндров дизеля; 22 – датчик частоты вращения коленчатого вала; 23 – электромагнитный газовый клапан с фильтрующим элементом; 24 – манометр; 25 – контакты замка зажигания; 26 – включатель газовой системы со звуко-световым индикатором; 27 – газопровод; 28 – источник газа; 29 – расходный вентиль; 30 – заправочное устройство; 31 – наполнительный вентиль; 32 – штуцер 33 – газовые трубки; 34 – впускной канал; 35 – впускной клапан

Для повышения эффективности и равномерности подачи газа решено использовать газовую систему питания с четырьмя форсунками и удлинителями, обеспечивающими подачу газового топлива во впускной коллектор для каждого цилиндра индивидуально. Управление форсунками следует осуществлять программируемым электронным блоком, получающим информацию от датчиков, установленных на двигателе. Подача газового топлива осуществляется от источника газа 28 через расходный вентиль 29 по газопроводу 27 через электромагнитный газовый клапан 23 с фильтрующим элементом, дифференциальный двухступенчатый газовый редуктор 15, газопровод 13 с пониженным давлением и газовый фильтр тонкой очистки 11 к рампе газовых форсунок 10 через газовые штуцеры 8 по газовым трубкам 32, подающим газовое топливо во впускные каналы 34, головки блока цилиндров 9 перед впускными клапанами 35. При длительной работе двигателя с перегрузкой электронный блок управления 17 определяет превышение допустимых параметров от датчиков температуры отработавших газов 2 и (или) детонации 20 и уменьшает длительность генерируемых импульсов на рампу газовых форсунок 10, что приводит к уменьшению подачи газового топлива во впускной коллектор 1. При запуске двигателя и его прогреве подача газового топлива производится не будет до тех пор, пока электронный блок управления 17 получает сигналы от датчиков ниже или выше допустимых параметров. Подача газового топлива во впускной коллектор 1 прекращается электронным блоком управления 17 по сигналу датчика давления газа 12 при снижении давления в источнике газа 28 ниже давления, регулируемого дифференциальным двухступенчатым газовым редуктором 15, при снижении нагрузки на двигатель ниже 50 % от номинальной и принудительно электромагнитным газовым клапаном 23 с фильтрующим элементом, путем отключения его контактом замка зажигания 25 (поворотом ключа

зажигания), нажатием на включатель газовой системы 26 со звукоцветовым индикатором или расходным вентилем 29.

В соответствии с разработанной методикой исследований, были проведены стендовые испытания дизеля 4ЧН 11,0/12,5 по оценке влияния подачи СУГ на эффективные и экологические показатели дизеля при изменении нагрузочных и скоростных режимов работы.

На рис. 2 представлена внешняя скоростная характеристика дизеля 4ЧН 11,0/12,5 при работе на дизельно-газовом топливе. При анализе рисунка видно, что при подаче газового топлива эффективная мощность N_e и крутящий момент M_k остались практически без изменений на уровне заводских, а расход ДТ ($G_{дт}$) снижается за счет замещения его газом. Экономия ДТ по внешней скоростной характеристике составляет от 0,5 до 3,65 кг, или 4,3...22,3 %. При этом подача газового топлива составляет от 5 до 22 %. Повышение эффективного КПД дизеля обеспечивается за счет повышения теплоты сгорания топливно-воздушной смеси при уменьшении коэффициента избытка воздуха, что сопровождается интенсификацией процесса выгорания сажевых частиц в цилиндрах двигателя.

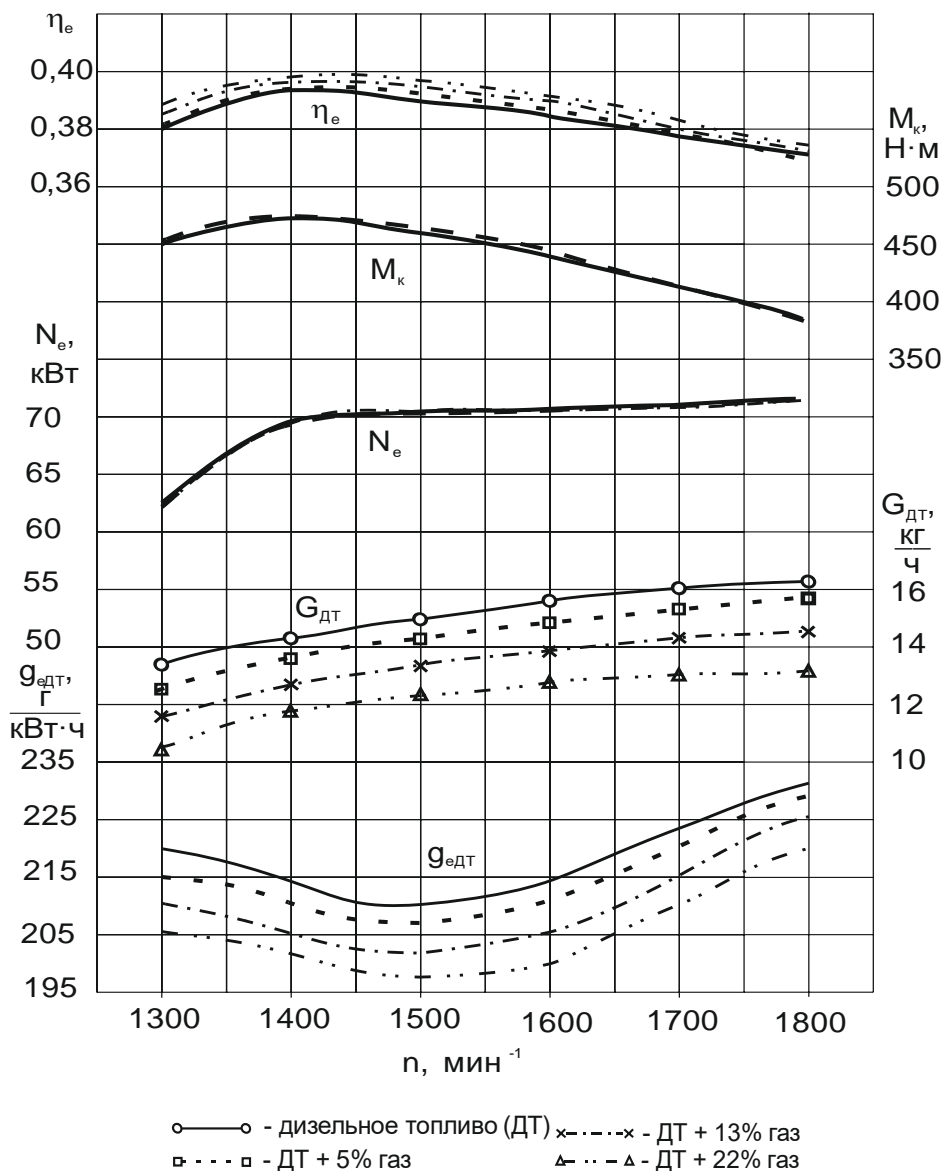


Рис. 2. Внешняя скоростная характеристика дизеля 4ЧН 11,0/12,5 при работе на ДТГ

Влияние применения сжиженного газа на экологические показатели по внешней скоростной характеристике дизеля представлено на рис. 3.

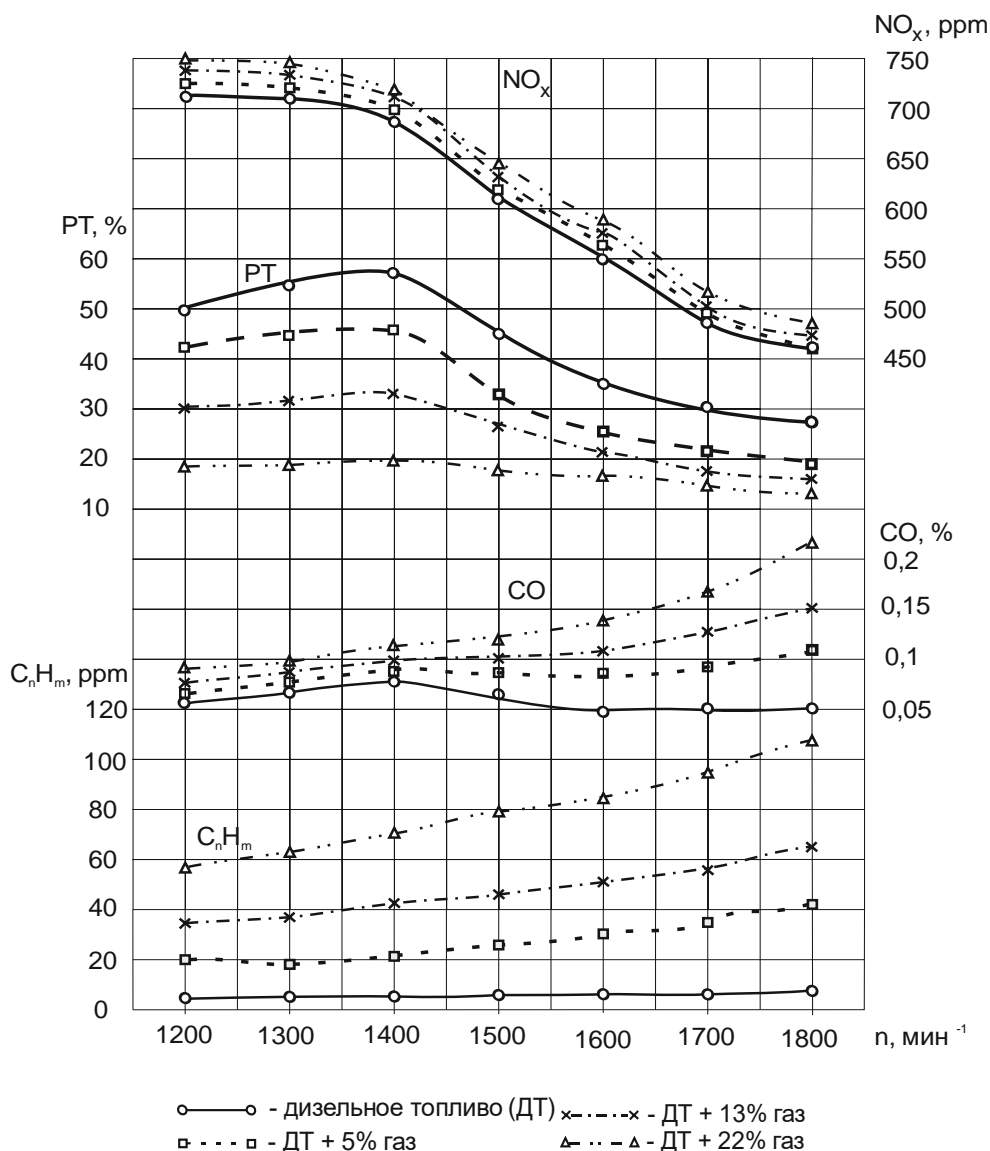


Рис. 3. Влияние применения сжиженного газа на экологические показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 по внешней скоростной характеристике

Увеличение количества окислов азота в ОГ при работе с добавкой СУГ не превышает 10,5 % во всем диапазоне частот вращения коленчатого вала.

Анализируя результаты замера выбросов оксида углерода и углеводородов, видим, что данные показатели изменяются с увеличением количества газа и частоты вращения коленчатого вала. Так, на номинальном режиме при подаче 5, 13 и 22 % газа CO увеличивается в 1,2; 2 и 3,3 раза соответственно, а C_nH_m увеличивается в 5; 7,7 и 14,8 раза соответственно.

Как и следовало ожидать, дымность ОГ дизеля (PT) уменьшается с увеличением количества газа и частоты вращения коленчатого вала на 16...65 %. Так, на номинальном режиме при подаче 5, 13 и 22 % газа дымность снижается на 27,8; 42,2 и 51,5 % соответственно.

Заключение

1. Разработаны оригинальные системы подачи газового топлива с автоматическим регулированием и управлением режимами совместной работы систем подачи дизельного и газового топлива, обеспечивающие уменьшение токсичности продуктов сгорания дизеля, повышение точности дозирования газового топлива, эффективности, безопасности работы дизеля и защищенные патентами Российской Федерации и Республики Беларусь. Разработана система питания дизеля газовым топливом (пат. РФ № 2633337) с эксплуатационными характеристиками, приближенными к оптимальным значениям.

2. Проведенные стендовые испытания двигателя, оснащенного разработанной системой подачи альтернативного газового топлива, позволили установить, что для получения лучших характеристик

при добавлении СУГ во впускной коллектор дизеля 4ЧН 11,0/12,5 необходимо ограничить подачу СУГ на уровне 30 % от ДТ.

3. Установлено, что подачу газового топлива во впускной коллектор дизеля 4ЧН 11,0/12,5 (Д-245.5S2) в количестве 20...30 % от ДТ наиболее целесообразно обеспечить в области эффективной нагрузки дизеля 0,8...1,0 МПа при частотах вращения 1400...1750 мин⁻¹].

ЛИТЕРАТУРА

1. Альтернативные виды топлива для двигателей: монография / А. Н. Карташевич [и др.]. – Горки: БГСХА, 2012. – 376 с.
2. Карташевич, А. Н. Тракторы и автомобили. Газовое оборудование для автотракторной техники: курс лекций / А. Н. Карташевич, П. Ю. Малышкин, А. А. Сысоев. – Горки: БГСХА, 2012. – 86 с.
3. Карташевич, А. Н. Возобновляемые источники энергии: научно-практическое пособие / А. Н. Карташевич, В. С. Товстыга. – Горки: БГСХА, 2008. – 261 с.
4. Патент ВУ 21904 Система впрыска газового топлива в двигатель внутреннего сгорания типа дизель: № а 20130429: заявл. 05.04.2013; опубл. 07.02.2018 / А. Н. Карташевич, П. Ю. Малышкин; заявитель и патентообладатель учреждение образования «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия». – 3 с.
5. Полезная модель ВУ 8104 Система подачи газового топлива в двигатель внутреннего сгорания на переходных режимах: № 20110560, заявл. 11.07.2011, опубл. 03.01.2012 / А. Н. Карташевич, П. Ю. Малышкин, Д. С. Короленок; заявитель и патентообладатель учреждение образования «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия». – 3 с.
6. Патент ВУ 20669 Система подачи газового топлива в двигатель внутреннего сгорания на переходных режимах его работы: №20130116, заявл. 30.01.2013, опубл. 28.09.2016 / А. Н. Карташевич, П. Ю. Малышкин; заявитель и патентообладатель учреждение образования «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия» – 3 с.
7. Полезная модель ВУ 12202 Система подачи газового топлива в дизель: №20190044, заявл. 18.02.2019; опубл. 01.11.2019 / А. Н. Карташевич, В. А. Шапоров, П. Ю. Малышкин; заявитель и патентообладатель учреждение образования «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия». – 3 с.
8. Полезная модель ВУ 8107 Система подачи газового топлива в дизель: №20110560, заявл. 11.07.2011 опубл. 03.01.2012 / А. Н. Карташевич, П. Ю. Малышкин; заявитель и патентообладатель учреждение образования «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия». – 3 с.
9. Полезная модель ВУ 8351 Система подачи газового топлива в дизель: №20110674, заявл. 05.09.2011 опубл. 03.04.2012 / А. Н. Карташевич, П. Ю. Малышкин; заявитель и патентообладатель учреждение образования «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия». – 3 с.
10. Патент ВУ 9959. Адаптивная система подачи газового топлива в дизель / А. Н. Карташевич, П. Ю. Малышкин; заявитель и патентообладатель учреждение образования Белорусская государственная сельскохозяйственная академия; №20130087; заявл. 30.01.13; опубл. 15.11.13. – 3 с.
11. Патент RU 2687856 Система подачи дополнительного топлива в дизель. №2018127482, заявл. 25.07.2018; опубл. 16.05.2019/ Ш. В. Бузиков, С. А. Плотников, А. Н. Карташевич, П. Ю. Малышкин; заявитель и патентообладатель федеральное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Вятский государственный университет». – 4 с.
12. Полезная модель ВУ 10060 Электронная система впрыска газового топлива в дизель: №20130295, заявл. 05.04.2013 опубл. 15.01.2014 / А. Н. Карташевич, П. Ю. Малышкин; заявитель и патентообладатель Учреждение образования «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия». – 3 с.
13. Патент RU 2633337 Электронная система подачи газового топлива в двигатель с наддувом и охлаждением наддувочного воздуха: № 2016117245, заявл. 20.04.2016; опубл. 11.10.2017 / С. А. Плотников, А. Н. Карташевич, П. Ю. Малышкин; заявитель и патентообладатель заявитель и патентообладатель федеральное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Вятский государственный университет». – 5 с.

ОЧИСТКА И СЕЛЕКТИВНАЯ СОРТИРОВКА ЗЕРНА КАК КЛЮЧЕВЫЕ ОПЕРАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА СЕМЕННОГО МАТЕРИАЛА В КИТАЕ

ЧЖАН СЯНЬЛЭЙ (ZHANG XIANLEI), 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 01.09.2025)

В статье представлен комплексный анализ структурно-технологической схемы предпосевной обработки семян в Китае с акцентом на ключевые операции их подготовки – очистку и селективную сортировку. Исследование направлено на систематизацию современных методов и технологических решений, обеспечивающих повышение качества посевного материала и формирование единых стандартов для практики семеноводства.

Рассмотрены все последовательные этапы обработки семян: приемка и первичный контроль качества, первичная очистка и доведение до кондиционных параметров, тонкая очистка и селективная сортировка, закладка на хранение с мониторингом параметров среды, а также заключительные операции предпосевной подготовки. Особое внимание уделено инновационным направлениям развития отрасли, включая внедрение интеллектуальных сортировочных комплексов с использованием гиперспектральной визуализации, 3D-машинного зрения и систем автоматизированного управления качеством. Подчеркнута роль технологий контролируемого хранения, интеграции датчиков онлайн-контроля и цифровых систем управления логистикой семенного материала.

Анализ отечественной и зарубежной научной литературы, а также современных производственных практик показывает, что сочетание физических методов обработки с элементами интеллектуализации процессов обеспечивает высокую однородность партий, повышает энергию прорастания и жизнеспособность семян, минимизирует потери при хранении и транспортировке. Выявлено, что оптимизация физических операций – от удаления примесей до селективной сортировки – является фундаментом для построения устойчивой системы семеноводства, способной удовлетворять растущие потребности агропромышленного комплекса.

Результаты исследования подтверждают значимость интеграции точного оборудования, автоматизированных систем контроля и научно обоснованных режимов обработки для трансформации исходного зернового материала в стандартизированные посевные единицы с предсказуемыми высокими показателями всхожести и продуктивности. 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: предпосевная обработка семян, очистка семян, селективная сортировка, физическая обработка, интеллектуальные технологии сортировки, гиперспектральная визуализация, машинное зрение, контроль качества семян, технологии хранения.

This article presents a comprehensive analysis of the structural and technological process of pre-sowing seed treatment in China, focusing on the key preparation operations – cleaning and selective sorting. The study aims to systematize modern methods and technological solutions that improve seed quality and develop uniform standards for seed production practices.

All sequential stages of seed processing are considered: acceptance and initial quality control, initial cleaning and conditioning, fine cleaning and selective sorting, storage with environmental monitoring, and the final pre-sowing preparation operations. Particular attention is paid to innovative areas of industry development, including the implementation of intelligent sorting systems using hyperspectral imaging, 3D machine vision, and automated quality control systems. The role of controlled storage technologies, the integration of online monitoring sensors, and digital seed logistics management systems is emphasized.

An analysis of domestic and international scientific literature, as well as modern production practices, shows that the combination of physical processing methods with elements of process intelligence ensures high batch uniformity, increases germination energy and seed viability, and minimizes losses during storage and transportation. It is revealed that optimization of physical operations—from impurity removal to selective sorting—is the foundation for building a sustainable seed production system capable of meeting the growing needs of the agro-industrial complex.

The study results confirm the importance of integrating precision equipment, automated control systems, and scientifically proven processing methods for transforming raw grain into standardized seed units with predictably high germination and productivity rates. The findings may be useful to specialists in seed production, agricultural engineering, and agricultural storage and processing technologies, as well as for developing innovative projects in food security and sustainable agricultural development.

Key words: pre-sowing seed treatment, seed cleaning, selective sorting, physical processing, intelligent sorting technologies, hyperspectral imaging, machine vision, seed quality control, storage technologies.

Введение

Качество семенного материала является фундаментальным фактором, определяющим урожайность и продуктивность сельскохозяйственных культур. Эффективность агропроизводства во многом зависит от того, насколько тщательно семена прошли этапы подготовки к посеву. Среди всего комплекса технологических операций особое значение имеют очистка и селективная сортировка, которые формируют основу для получения стандартизированных партий семян с прогнозируемыми посевными характеристиками.

В мировой практике именно эти процессы рассматриваются как ключевое звено в системе семеноводства, обеспечивающее однородность, высокую всхожесть и энергию прорастания зерна. В условиях Китая, где семеноводство играет стратегическую роль в обеспечении продовольственной безопасности и поддержании темпов роста агропромышленного комплекса, очистка и селективная сортировка зерна развиваются особенно интенсивно. Это обусловлено как масштабами сельскохозяйственного производства, так и внедрением инновационных решений в области агроинженерии и автоматизированных технологий обработки.

Современные китайские практики семеноводства демонстрируют интеграцию традиционных механических методов с интеллектуальными системами сортировки на основе гиперспектральной визуализации, машинного зрения и сенсорного контроля. Такой подход позволяет значительно повысить эффективность обработки, минимизировать потери посевных качеств при хранении и транспортировке, а также сформировать посевной материал, отвечающий международным стандартам качества.

Таким образом, изучение процессов очистки и селективной сортировки семян в Китае представляет не только научный интерес, но и практическую ценность для совершенствования и развития этих технологий в мировом масштабе.

Проблемам предпосевной обработки семян посвящены многочисленные работы ученых. В основном исследования в этой области развиваются в направлениях совершенствования механических методов очистки и сепарации зерна, а также создания интеллектуальных систем сортировки.

Говоря о совершенствовании механических методов очистки и сортировки зерна, исследователями подчеркивается, что классические принципы этих операций, основанные на применении вибросит, воздушных сепараторов, гравитационных столов остаются неизменными и являются основой технологических линий производства семян. Однако современные исследования направлены на повышение их точности и энергоэффективности. Так, например, работы Демчука и его соавторов показывают значимость оптимизации механических комплексов для обеспечения стабильности характеристик посевного материала в условиях Сибири [4]. Подобные исследования демонстрируют, что даже традиционные методы могут быть существенно усовершенствованы за счет внедрения многоступенчатых систем разделения и автоматизации контроля. К этим же выводам приходят и ученые из Беларуси [2], в частности специалисты Белорусской государственной сельскохозяйственной академии, которые активно исследуют вопросы повышения качества семян и эффективности сельскохозяйственной техники [3]. Их работы в области оценки эксплуатационных характеристик посевных комплексов и разработки ресурсосберегающих технологий представляют значительный интерес для сравнительного анализа с китайским опытом.

Значительный вклад в развитие технологий сортировки вносят китайские исследователи. Последнее десятилетие характеризуется активным внедрением оптических и сенсорных технологий. Исследования Сюя, Чэня и Ли [4] демонстрируют практику использования цветосортировочных машин для возвратных зерновых материалов, а современные разработки в Китае активно используют гиперспектральную визуализацию и машинное зрение для распознавания дефектов и автоматического отбора зерна. Это позволяет перейти от простого механического разделения к интеллектуальной классификации, основанной на комплексной оценке морфометрических и оптических характеристик.

Исследования Чжоу В. [5] в области логистического управления на семенных предприятиях и Цэн Ц. [6] по интеллектуальным складским системам подчеркивают важность интеграции этапов обработки и хранения в единую управляемую цепочку.

Таким образом, можно отметить, что эволюция методов предпосевной обработки идет в сторону интеграции: от совершенствования традиционной механической очистки и сортировки – к внедрению интеллектуальных систем сортировки. Такой подход обеспечивает более высокое качество посевного материала, снижает потери и повышает устойчивость сельского хозяйства в целом. И в этом вопросе комплексный подход, объединяющий передовые достижения китайского агропрома и агроинженерии с фундаментальными исследованиями постсоветской школы, в том числе и белорусских ученых, может послужить драйвером прорывных технических решений.

Целью данного исследования является анализ и обобщение современных технологий физической обработки семян в Китае, в частности, операций очистки и сортировки, оценка их эффективности и выявление ключевых тенденций развития. Исследование нацелено на структурирование существующего опыта и демонстрацию того, как комплексный подход к физической подготовке семян способствует созданию высококачественного посевного материала.

Основная часть

В качестве объекта исследования выступает технологический процесс предпосевной подготовки зерна в условиях китайских семенных заводов и элеваторных комплексов. Предмет исследования –

операции подготовки зерна к посеву с акцентом на его очистку и сортировку. Методологической основой работы послужили системный анализ, обобщение научно-технической литературы и патентных источников, а также описание технологических процессов.

Операции предпосевной обработки зерна в Китае традиционно подразделяются на два основных уровня: физический и физиологический (рис. 1).



Рис. 1. Основные этапы производства семенного материала в Китае

Физическая обработка предполагает механическое воздействие, направленное на удаление посторонних примесей, улучшение физических характеристик семян, а также выделение из общей массы посевных фракций, обладающих наилучшими качественными показателями.

Физиологическая обработка осуществляется посредством применения химических, биологических и иных методов, обеспечивающих модификацию внутренних процессов в семенах. К числу таких приемов относятся дезинфекция, стимуляция и другие способы, повышающие энергию прорастания, всхожесть и устойчивость семян к абиотическим и биотическим стрессовым факторам. В рамках данного исследования акцент сделан преимущественно на физической обработке [7].

1. Приемка и первичный контроль зерна: основа для принятия решений

Первый этап является фундаментальным, поскольку определяет дальнейшую стратегию обработки. На современных китайских предприятиях приемка зерна автоматизирована. Например, на крупных элеваторах провинции Хэйлунцзян внедрены системы автоматического взвешивания и отбора проб,

что позволяет обрабатывать до 500 тонн зерна в час. Лабораторный контроль включает не только измерение влажности и засоренности, но и, в ряде случаев, экспресс-анализ на содержание микотоксинов с помощью иммуноферментного анализа (ИФА), что предотвращает закладку на хранение зараженного материала. Получаемые данные (влажность – с точностью до 0,5 %, содержание сорной примеси – до 0,1 %) интегрируются в систему управления предприятием, что позволяет сразу же присвоить партии класс качества и определить оптимальный режим последующей сушки и очистки [4, 5].

2. Очистка и предварительная обработка: создание базовых условий

Данный этап направлен на стабилизацию состояния зерновой массы. Использование каскада вибрационных сит и аспирационных колонок позволяет достичь высокой степени очистки. Например, комбинированные сепараторы серии «5XFZ» производства компании «Hebei Saide Machinery» обеспечивают эффективность очистки от легких примесей на уровне 99 %, а от тяжелых – до 100 %. Сушка является наиболее энергоемким процессом. Современные сушилки шахтного типа, используемые в Китае, работают по принципу низкотемпературного ступенчатого нагрева (не более 45–50 °С для семенного зерна), что исключает тепловое повреждение зародыша. Стандартом для семенных партий является снижение влажности до 13–14 %, что подтверждается данными исследований [8]. Такой уровень влажности гарантирует биологическую стабильность при хранении.

3. Тонкая и селективная сортировка: переход к интеллектуальному отбору

Этот этап является ключевым для обеспечения однородности. Традиционная сортировка по удельному весу и геометрии, безусловно эффективна. Однако настоящим прорывом стало внедрение оптико-электронных сортировщиков. Аппараты на основе ПЗС-камер (как, например, модель «SORTEX 9000» от Bühler) способны анализировать до 400 000 семян в секунду по цвету, форме и текстуре. Они идентифицируют и удаляют семена с невидимыми глазу дефектами: микротрещинами, слабой пигментацией, следами микробиологического поражения. Гиперспектральные системы следующего поколения, внедряемые на передовых предприятиях, позволяют проводить анализ на химическом уровне, выявляя, к примеру, семена с аномально низким содержанием белка или масла.

Процесс гомогенизации с помощью пневмосмесителей, таких как «Seed Mixers» от «PETKUS», обеспечивает коэффициент вариации по массе 1000 семян не более 3–4 %, что является исключительно высоким показателем. Это напрямую влияет на равномерность всходов. Исследования показывают, что использование интеллектуальной сортировки позволяет повысить лабораторную всхожесть семян пшеницы на 5–7 % по сравнению с традиционными методами [4, 5].

4. Хранение и контроль качества: сохранение достигнутых результатов

Современное хранение семян в Китае – это активный, а не пассивный процесс. Системы на основе Интернета вещей (IoT), как описано Цэн Ц. [6], позволяют в режиме реального времени отслеживать температуру, влажность и уровень CO₂ в хранилище. Датчики, размещенные на разных уровнях, передают данные на центральный пульт. При отклонении параметров система автоматически включает активную вентиляцию или подает сигнал оператору. Это предотвращает самосогревание массы и развитие микрофлоры. Регулярный мониторинг всхожести (например, каждые 3 месяца) позволяет динамически оценивать состояние партии. На некоторых предприятиях внедряется технология хранения в регулируемой газовой среде (РГС), что позволяет еще больше подавить метаболизм семян и продлить срок их хранения без потери качества.

5. Предпосевная обработка: финальная оптимизация

Заключительный этап интегрирует физические и химико-биологические методы. Технология дражирования в псевдосжиженном слое, активно развиваемая в Китае, позволяет не только наносить защитно-стимулирующие составы, но и придавать семенам идеальную форму и размер для точного высева. Как показали исследования Ю Х. [8], использование дражирования с циклическим термовоздействием (35–40 °С) увеличивает водопроницаемость оболочки в 3–5 раз, что приводит к сокращению сроков прорастания на 1–2 дня и повышению равномерности всходов до 90–95 %. Это имеет критическое значение для технологий точного земледелия.

Таким образом, вся представленная схема (рис. 1) работает как единый организм. Каждый этап генерирует данные для последующего, а система контроля качества пронизывает весь процесс. Такой подход позволяет трансформировать неоднородную природную зерновую массу в стандартизированный высокотехнологичный продукт, которым является семена сельскохозяйственных культур.

Заключение

Проведенный анализ позволяет заключить, что технология предпосевной физической обработки семян в Китае представляет собой высокоорганизованную, многоступенчатую систему, центральное

место в которой занимают операции очистки и селективной сортировки. Научно-технический прогресс в этой области проявляется в переходе от простого механического разделения к интеллектуальной, высокоточной сортировке на основе оптических и морфометрических признаков, а также во внедрении комплексных систем контроля на всех этапах – от приемки до хранения. Ключевыми факторами эффективности являются стандартизация процессов, основанная на точных измерениях, и их интеграция в единую цифровую среду управления.

Научная новизна работы заключается в систематизации современных технологий очистки и сортировки семян в контексте полной технологической цепи, что имеет практическую ценность для оптимизации подобных процессов. Реализация подобных комплексных подходов позволяет не только значительно повысить посевные качества семян (всхожесть, энергию прорастания, однородность), но и создать надежную основу для рентабельного и экологически устойчивого сельскохозяйственного производства.

Результаты представленных исследований подтверждают значимость интеграции точного оборудования, автоматизированных систем контроля и научно обоснованных режимов обработки для трансформации исходного зернового материала в стандартизированные посевные единицы с предсказуемыми высокими показателями всхожести и продуктивности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Демчук, Е. В. Сравнительный анализ эксплуатационных характеристик посевных комплексов в условиях Западной Сибири / Е. В. Демчук, В. В. Мяло, А. А. Кем // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2017. – № 2 (26). – С. 99–105.
2. Зеленко, С. А. Сортирование семян льна по удельному весу на прямоточном вибропневматическом сепараторе: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / С. А. Зеленко. – Горки, 2019. – 156 с.
3. Курзенков, С. В. Методы очистки и селективной сортировки семян, их преимущества и недостатки / С. В. Курзенков, Сяньлэй Чжан // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2025. – № 3. – С. 89–92.
4. Сюй, Цз. Исследование и практика технологии обработки возвращаемых зерновых материалов на цветсортирующих машинах / Цз. Сюй, Ш. Чэнь, В. Ли // Обработка зерна. – 2024. – Т. 49, № 2. – С. 71–72.
5. Чжоу, В. Исследование логистического управления и оптимизации в семенных предприятиях / В. Чжоу // Молекулярная селекция растений. – 2025. – Т. 23, № 6. – С. 2077–2083.
6. Цэн, Ц. Исследование интеллектуального управления складом на основе технологии интернета вещей / Ц. Цэн // Китайская логистика и закупки. – 2024. – № 17. – С. 110–112.
7. Мельникова, Ю. А. О предпосевной обработке семян древесных пород и кустарников с применением электрических воздействий / Ю. А. Мельникова, И. В. Юдаев // Инновации в сельском хозяйстве. – 2017. – № 3. – С. 31–35.
8. Ходжаев, Т. А. Предпосевные физические методы воздействия на семена растений (обзор) / Т. А. Ходжаев, Н. У. Муллоев // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – 2018. – № 4. – С. 54–64.
9. Ю, Х. Анализ применения технологии обволакивания семян / Х. Ю // Наука о семенах. – 2025. – Т. 43, № 2. – С. 60–62.

ГЛУБОКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛИТЕЛЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ПОСЕВА 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 01.09.2025)

В данном исследовании, с целью преодоления ограничений традиционных вертикальных рядоразбрасывателей, характеризующихся высоким уровнем повреждения семян и низкой адаптивностью, использована технология горизонтального распределителя Украинской национальной академии аграрных наук. Основной структурой является горизонтальный распределитель, основанный на аэродинамическом моделировании и дополненный оптимизационным анализом с применением программного обеспечения конечных элементов, что позволило создать бесконтактную систему распределения семян. С помощью программного обеспечения Fluent выполнено CFD-моделирование для различных углов наклона направляющей пластины (от 20° до 30°) и форм сечения воздушного канала (круглый/эллиптический трубопровод). В сочетании с полевыми испытаниями (глинистая, песчаная и суглинистая почвы, скорость работы 6–10 км/ч) исследована взаимосвязь распределения потока и посевных характеристик. Обнаружено, что интенсивность турбулентности газожидкостного двухфазного потока внутри горизонтального распределителя имеет квадратичную зависимость от угла направляющей пластины. Турбулентная кинетическая энергия в эллиптической трубе снизилась на 22 % по сравнению с круглой трубой, при этом семена в течение всего процесса посева находились в самом нижнем положении. Полевые испытания показали: оптимизированная система достигла однозернового показателя 96,7 %, уровень повреждения семян не превышает 1,2 %, расход топлива составил всего 0,8 л/га, что соответственно на 9,9 %, 57,1 % и 32,2 % лучше по сравнению с отечественными машинами. Кроме того, была предварительно создана связанная модель «однородность поля потока – траектория движения семян», которая может предоставить новые идеи для реализации интеллектуализации прецизионных сеялок.

Ключевые слова: точная посевная техника кукурузы; горизонтальный распределитель; аэродинамическая оптимизация; CFD-симуляция; контроль турбулентности.

This study utilizes the horizontal distributor technology of the Ukrainian National Academy of Agrarian Sciences to overcome the limitations of traditional vertical row spreaders, which are characterized by high levels of seed damage and low adaptability. The basic structure is a horizontal distributor based on aerodynamic modeling and complemented by optimization analysis using finite element software, resulting in a contactless seed distribution system. Fluent software was used to perform CFD modeling for various guide plate inclination angles (from 20° to 30°) and air duct cross-sectional shapes (round/elliptical). In conjunction with field trials (on clay, sandy, and loamy soils, at operating speeds of 6–10 km/h), the relationship between flow distribution and seeding performance was investigated. It was found that the turbulence intensity of the gas-liquid two-phase flow inside the horizontal distributor has a quadratic relationship with the guide plate angle. Turbulent kinetic energy in the elliptical tube was reduced by 22 % compared to a round tube, while the seeds remained in the lowest position throughout the seeding process. Field trials showed that the optimized system achieved a single-seed index of 96.7 %, seed damage did not exceed 1.2 %, and fuel consumption was only 0.8 l/ha, which is 9.9 %, 57.1 %, and 32.2 % better, respectively, than domestically produced machines. Furthermore, a coupled "flow field homogeneity – seed trajectory" model was preliminarily created, which may provide new insights for the intelligent implementation of precision seeders.

Key words: precision corn seeding technology; horizontal distributor; aerodynamic optimization; CFD simulation; turbulence control.

Введение

Кукуруза, являясь зерновой культурой с наивысшей урожайностью в мире, имеет посевную точность, которая напрямую определяет рациональность структуры посевов и эффективность использования ресурсов. Данные Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (FAO) показывают, что в основных регионах производства кукурузы в Китае потери урожая из-за традиционных методов посева достигают 10–15 %, тогда как точная посевная техника позволяет повысить коэффициент использования световой энергии на 12–18 % за счёт формирования равномерной структуры посевов [1]. Однако традиционные механические технологии высева (например, гнездовой диск, вертикальный дисковый высевательный аппарат) основаны на физическом контакте при загрузке семян, при этом скорость столкновения семян с высевательными элементами достигает 2,8–3,5 м/с, а уровень повреждения семян обычно превышает 2,5 % [2]. При полном возврате соломы (покрытие ≥ 500 кг/му) или в почвах с высокой влажностью (>22 %) коэффициент годности засева вертикального распределителя снижается до менее 75 %, а коэффициент вариации междурядья превышает 15 % [3].

Аэродинамическая высевательная система, работающая без контакта, позволяет избежать механических повреждений, однако ключевое техническое устройство – горизонтальный распределитель – имеет недостатки в аэродинамических характеристиках. Украинская национальная академия аграр-

ных наук использует направляющие пластины для управления поперечным воздушным потоком, что позволяет снизить скорость столкновения семян до менее 2,0 м/с [4]. Тем не менее, применимость данной технологии в основных трёх регионах производства кукурузы в Китае (Хуанхуайхай, Северо-Восток и Северо-Запад) ещё не получила надлежащей проверки. Поэтому на основе CFD-симуляций и результатов полевых испытаний в различных рабочих условиях исследуется влияние различных конструктивных параметров на равномерность воздушного потока в процессе работы горизонтального распределителя с целью преодоления ключевых технологических ограничений точности посева в сложных агротехнических условиях и реализации отечественной разработки критически важных зарубежных технологий.

Основная часть

Построение аэродинамической модели горизонтального распределителя. Физическая структура и проектирование параметров

На основе украинской патентной технологии (UA202211345A) разработана трёхмерная модель горизонтального распределителя (рис. 1), структура которого состоит из нескольких перечисленных выше ключевых компонентов. Двухкамерная конструкция: камера адсорбции (давление 0,6–0,8 МПа) и камера транспортировки (давление 0,3–0,5 МПа), разделённые направляющей пластиной, создающей перепад давления в диапазоне 0,2–0,6 МПа.



Рис. 1. Трёхмерная схема горизонтального распределителя

Группа направляющих пластин: четыре группы наклонных направляющих пластин, начальный угол 30°, регулируемый диапазон 20°–30°, расстояние между лопастями 15–25 мм.

Воздушный поток: овальное сечение (длинная ось 50 мм, короткая ось 35 мм), отношение длин осей 1,4:1. Согласно принципу оптимизации уравнения Бернулли «скорость потока обратно пропорциональна площади сечения», максимальное давление внутри канала не достигается, что аналогично трубам с круглым отверстием [5].

Принцип работы украинского горизонтального распределителя: первый этап – этап ввода газотвердой смеси (высоконапорный воздушный поток от вентилятора поступает через вход распределителя в камеру смешивания газотвердой смеси). Вторая стадия: этап оптимизации потока (конструкция направляющей пластины с углом наклона 25° формирует «слоистое поле потока», верхний слой поддерживает высокоскоростной воздушный поток для транспортировки семян, нижний слой направляет остаточный воздух для упорядоченного движения). Третья стадия: этап разделения и выброса семян: газотвердое смешанное течение, проходя через направляющую пластину, под действием инерции и силы тяжести семена отделяются от основного воздушного потока в камере разделения и точно попадают в посевную борозду через выпускное отверстие. Остаточный воздух с примесями выводится через выпускное отверстие, обеспечивая трехступенчатое разделение «воздух – семена – примеси».

Математическое моделирование двухфазного газотвердотельного потока

Для описания поля воздушного потока применяется турбулентная модель RNG k-ε, уравнения управления представлены следующим образом:

Уравнение непрерывности:

$$\nabla \cdot (\rho \vec{u}) = 0$$

Уравнение движения:

$$\nabla \cdot (\rho \vec{u} \vec{u}) = -\nabla p + \nabla \cdot (\mu \nabla \vec{u}) + \rho \vec{g} + \vec{F}$$

Уравнение турбулентной кинетической энергии (уравнение k):

$$\nabla \cdot (\rho \vec{u} k) = \nabla \cdot (\alpha_k \mu_{eff} \nabla k) + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_M + S_k$$

Уравнение диссипации турбулентной кинетической энергии, также называемое уравнением ε :

$$\nabla \cdot (\rho \vec{u} \varepsilon) = \nabla \cdot (\alpha_\varepsilon \mu_{eff} \nabla \varepsilon) + C_1 \varepsilon \frac{\varepsilon}{k} (G_k + C_3 \varepsilon G_b) - C_2 \rho \frac{\varepsilon^2}{k} + S_\varepsilon$$

В котором, $\mu_{eff} = \mu + \mu_t$, турбулентная вязкость $\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon}$. При выборе констант модели использовалась модель RNG k- ε [6].

Зерна семян моделируются с помощью дискретной фазовой модели (DPM), учитывая силу тяжести, силу сопротивления и подъемную силу Сафмана; уравнение движения частиц имеет вид:

$$\frac{du_p}{dt} = \frac{18\mu C_D}{\rho_p d_p^2} (u - u_p) + g(\rho_p - \rho)/\rho_p + F_l$$

В уравнении коэффициент сопротивления C_D рассчитывается по формуле Шиллера-Наумана в диапазоне чисел Рейнольдса $Re_p \leq 1000$. Применимо внутри [7].

Проектирование схемы полевых испытаний. Создание испытательной платформы

Усовершенствованная установка оснащена оптимизированным горизонтальным распределителем (направляющая пластина 25°, эллиптический канал), в сочетании с ротационным ножевым орудием (частота вращения вала ножа 200 об/мин, твердость лезвия HRC45–50), используется двойной контроллер STM32+PLC (см. рис. 2), обеспечивающий сегментированное регулирование давления (всасывание семян 0,8 МПа, перенос семян 0,6 МПа, высыпание семян 0,3 МПа).

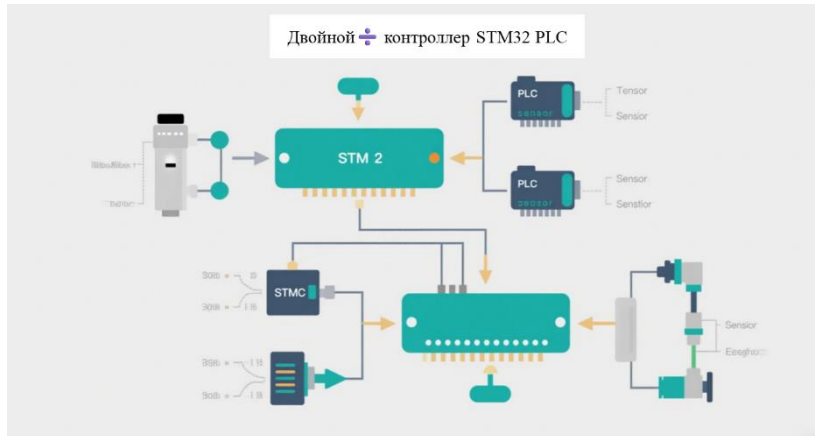


Рис. 2. Архитектура двойного контроллера STM32+PLC

Контрольная установка:

Отечественные модели: 2ВМФ-6 (вертикальный дисковый высевочный аппарат, скорость работы ≤ 8 км/ч, однозерновая точность 88 %)

Импортная модель: Monosem ХЕ (горизонтальный распределитель, скорость работы 10 км/ч, однозерновая точность 94 %)

Проектирование испытаний в различных экологических зонах

Испытательные площадки расположены в Чжоукоу, провинция Хэнань (глинистая почва района Хуанхуаихай), Гунчжулинь, провинция Цилинь (чернозём Дальнего Востока), Тунляо, Внутренняя Монголия (песчаная почва Северо-Запада), конкретные условия работы показаны в табл. 1.

Таблица 1. Условия работы по проведению испытаний по регионам

Испытательная площадка	Тип почвы	Влажность (%)	Уровень покрытия соломой (кг/му)	Градиент скорости работы (км/ч)
Чжоукоу, Хэнань	Глинистая суглинистая почва	22±2	500/800 (солома кукурузы)	6, 8, 10
Гунчжулинь, Цилинь	Суглинистая почва	20±2	400/700 (солома сои)	6, 8, 10
Внутренняя Монголия, Тунляо	Песчано-супесчаная почва	18±2	300/600 (солома пшеницы)	6, 8, 10

Многомерная измерительная система. Аэродинамические параметры

Потеря давления: измерение перепада давления на входе и выходе распределителя с помощью дифференциального датчика давления (точность $\pm 0,5$ % FS).

Скорость столкновения семян: фиксируется высокоскоростной камерой (частота кадров 1000 fps) момент столкновения семян с направляющей пластиной.

Посевные характеристики:

Однозерновая точность: ручной подсчет на образце длиной 10 м, объем выборки ≥ 1000 семян.

Уровень повреждения семян: случайная выборка из 200 семян, оценка повреждений семенной оболочки с помощью электронного микроскопа (увеличение $50\times$).

Энергопотребление и эффективность:

Расход топлива на единицу площади: расходомер топлива (точность $\pm 1\%$) осуществляет мониторинг в реальном времени, берется среднее значение по трём повторным измерениям.

Время простоя из-за неисправностей: фиксируется количество очисток от засорения соломой на каждые 50 му работы.

Аэродинамическое моделирование: механизм регулирования параметров конструкции на поле потока. Анализ чувствительности угла направляющей пластины

Зависимость потери давления в эллиптическом канале от угла направляющей пластины описывается квадратичной функцией, уравнение аппроксимации приведено ниже:

$$\Delta P = 0.032\theta^2 - 1.6\theta + 28.5 (R^2 = 0.98)$$

При $\theta=25^\circ$ минимальное значение потери давления составляет 12,3 кПа, что на 19,1 % меньше, чем при $\theta=30^\circ$ ($\Delta P=15,2$ кПа) для прямого круглого канала. Поскольку направляющая пластина с углом $\theta=25^\circ$ ближе к оптимальному углу атаки, она лучше направляет воздушный поток по поверхности пластины, предотвращая образование отделяющихся вихрей. При $\theta < 25^\circ$ нормальная составляющая давления воздушного потока на направляющую пластину уменьшается, что приводит к недостаточной силе переноса семян; при $\theta > 25^\circ$ воздушный поток проходит за пластиной, образуя за ней турбулентный след, что увеличивает диссипацию энергии воздушного потока.

Сравнение поля течения в сечении воздушного канала

На рис. 3 представлены карты турбулентной кинетической энергии для эллиптического и круглого однотрубных каналов при скорости работы 8 км/ч. Среднее значение турбулентной кинетической энергии в эллиптическом однотрубном канале составляет $0,15$ м²/с², что на 21,1 % ниже, чем у круглого ($0,19$ м²/с²), при этом площадь с высокой турбулентной кинетической энергией ($>0,2$ м²/с²) уменьшилась на 35 %. Эллиптическое сечение уменьшает радиальный градиент скорости воздушного потока, снижает турбулентные пульсации и уменьшает энергию столкновения семян [9]. Дальнейший анализ показал, что среднее смещение траектории движения семян в эллиптическом канале находится в пределах ± 3 мм, что значительно меньше, чем в круглых каналах с диапазоном ± 5 мм.

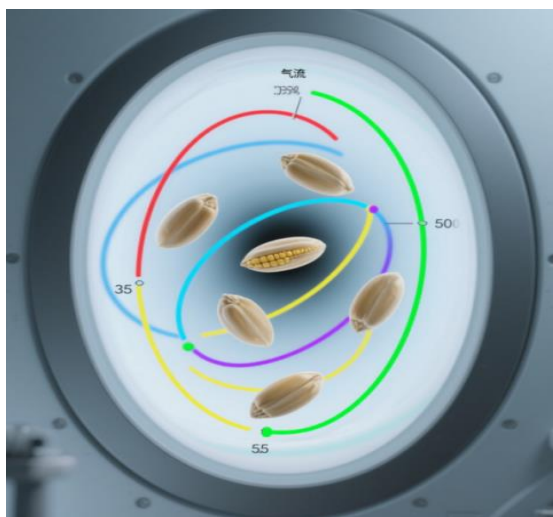


Рис. 3. Анимация траектории движения семян в эллиптическом канале

Полевая проверка: инженерная эффективность аэродинамической оптимизации. Стабильность точности посева при различных рабочих условиях

Результаты испытаний, представленные в табл. 2, показывают, что при одинаковых условиях улучшенная модель по сравнению с отечественными моделями в условиях глинистой почвы увели-

чивает однозерновую точность на 14,4 %, а коэффициент пустотности – на 53,8 %. Для условий песчаной почвы (коэффициент трения <0,3) наблюдаются различия в коэффициенте вариации междурядья: улучшенная модель показывает 6,1 %, тогда как отечественная вертикальная дисковая модель при скольжении семян 22 % имеет коэффициент вариации 18,3 %. Одновременно было установлено, что по сравнению с импортной моделью с однозерновой точностью 94,1 %, в условиях суглинистой почвы однозерновая точность достигает более 92,1 %, однако при отсутствии оптимизации угла направляющей пластины (исходный угол 30°) в условиях глинистой почвы потери давления при транспортировке составляют 17,5 кПа, что приводит к снижению однозерновой точности до 90,2 % [10].

Таблица 2. Сравнение посевных характеристик в различных условиях (n=3)

Рабочие условия	Модель машины	Однозерновая точность (%)	Коэффициент пустотности (%)	Коэффициент вариации междурядья (%)	Уровень повреждения семян (%)
Глинистая почва (8 км/ч)	Усовершенствованная модель	96.7±1.2	4.2±0.8	6.3±0.5	1.2±0.3
	Отечественные модели (контроль)	82.3±2.8	9.1±1.5	15.8±1.2	2.8±0.6
	Импортные модели (контроль)	94.1±1.8	5.8±1.0	8.5±0.9	1.8±0.5
Песчаная почва (10 км/ч)	Усовершенствованная модель	95.2±1.5	5.5±1.0	6.1±0.7	1.3±0.4
	Отечественные модели (контроль)	78.9±3.1	12.2±1.8	18.3±1.5	3.1±0.7

Совместная оптимизация уровня повреждения семян и энергопотребления

Уровень повреждения семян у усовершенствованной модели линейно увеличивается с ростом скорости работы (наклон 0,08%/км/ч), что значительно меньше, чем у отечественных моделей (наклон 0,22%/км/ч), благодаря применению бесконтактного способа распределения семян, который снижает повреждения, вызванные столкновениями между механизмами. По энергопотреблению усовершенствованная модель использует метод регулирования давления подачи воздуха: при холостом ходе давление может снижаться до 0,3 МПа, расход масла на единицу площади составляет 0,78 л/га, что на 32,2 % меньше, чем у отечественных моделей, и приближается к стандарту энергоэффективности ЕС 0,75 л/га [11].

Прорыв в адаптивности к условиям покрытия соломой

При уровне покрытия соломой 800 кг/му, в условиях глинистой почвы усовершенствованная модель, использующая ротационный ножевой окучник в сочетании с конструкцией горизонтального распределителя для предотвращения засорения (шероховатость внутренней поверхности $Ra \leq 1,6 \mu\text{m}$, шаг лопастей 20 мм), демонстрирует количество остановок из-за неисправностей всего 0,5 раза на 100 му, что на 84,4 % меньше по сравнению с отечественным окучником типа мотыги (3,2 раза на 100 му). Это обусловлено тем, что касательная скорость ротационного ножевого окучника (10,5 м/с) способна непосредственно разрезать солому, а горизонтальный распределитель, разработанный на основе ротационного ножевого окучника, работает бесконтактно и не запутывается в соломе [12].

Теоретическое обобщение: модель сопряжения поля потока и движения семян

С помощью размерного анализа получено безразмерное уравнение критерия для газо-твердой двухфазной среды внутри горизонтального распределителя:

$$\frac{u_p}{u} = f\left(\frac{d_p u \rho}{\mu}, \frac{\theta}{d}, \frac{A}{A_0}\right)$$

В формуле u_p/u – отношение скорости семян к скорости воздушного потока, отражающее стабильность переноса семян; $Re_p = d_p u \rho / \mu$ – число Рейнольдса частиц, характеризующее относительную величину инерционных и вязкостных сил; θ/d – отношение угла направляющей пластины к расстоянию между ними, влияющее на эффективность изменения направления воздушного потока; A/A_0 – коэффициент изменения площади сечения канала, отражающий характеристики сопротивления потоку. Регрессионный анализ показывает, что при $Re_p = 800-1200$, $\theta/d = 1,25$ ($\theta = 25^\circ$, $d = 20$ мм), $A/A_0 = 1,4$ (эллиптический канал) значение u_p/u составляет 0,85–0,92, что соответствует однозерновой точности более 95 %, подтверждая научную обоснованность оптимизации параметров конструкции [13].

Заключение

Основные выводы

1. Эффективность аэродинамической оптимизации: при угле направляющей пластины 25° и эллиптическом канале (соотношение длин осей 1,4:1) потери давления снижаются на 18 %, турбулентная кинетическая энергия уменьшается на 22 %, скорость столкновения семян снижается с 2,8 м/с до 1,9 м/с, что позволило создать модель бесконтактного высева с низким уровнем повреждения семян ($\leq 1,2\%$) и высокой стабильностью.

2. Повышенная адаптивность к сложным условиям: для усовершенствованной модели коэффициент вариации междурядья при глинистой почве (влажность 22 %), песчаной почве (коэффициент трения $< 0,3$) и суглинистой почве не превышает 6,3 %, при уровне покрытия соломой 800 кг/му и уровне засорения менее 3 %, что превосходит эксплуатационные возможности традиционных моделей.

3. Выдающиеся преимущества энергоэффективности и экономичности: энергопотребление при использовании сегментированного регулирования давления составляет всего 0,8 л/га, что позволяет сэкономить 32,2 % топлива по сравнению с отечественными моделями, снизить производственные затраты на 40–50 % и сократить срок окупаемости инвестиций до 2,5 лет.

Перспективы исследования

1. Интеллектуальное обновление: разработка динамической системы регулирования посева на основе многоканального слияния данных «рельеф–влажность почвы–удобрения» с использованием технологий навигации Бэйдоу и машинного зрения для достижения сантиметровой точности параметров посева.

2. Инновации в материалах и технологиях: применение технологии 3D-печати для изготовления облегчённых направляющих пластин (плотность $\leq 2,0$ г/см³) и сверхгидрофобных покрытий поверхности (угол смачивания $> 150^\circ$) для снижения вязкости; использование численного моделирования для прогнозирования влияния содержания влаги в отобранной жидкости на степень гидратации глинистых частиц.

3. Расширение адаптивности к различным культурам: на основе горизонтального распределителя реализовать модульную конструкцию, разработать специализированные модули для посева сои, сорго и других зерновых культур, способствуя индустриализации технологии посева «один агрегат – много функций».

ЛИТЕРАТУРА

1. Министерство сельского хозяйства и сельских дел КНР. Белая книга развития сельскохозяйственной механизации. – Пекин: Изд-во «Китайское сельскохозяйственное издательство», 2023. – С. 67–72.
2. Smith P. Механизмы повреждения семян в механических сеялках / Smith P. // Transactions of the ASABE. – 2021. – 64(3). – С. 897–906.
3. Ли Хунвэнь. Доклад о развитии почвозащитного обработки в Китае / Ли Хунвэнь. – Пекин: Изд-во «Китайский сельскохозяйственный университет», 2023. – С. 78–95.
4. Voronin V. Горизонтальный дозатор семян: теория и практик / Voronin V. // Journal of Agricultural Engineering. – 2022. – 53(4). – С. 112–121.
5. Чжан Чжаоцян. Аэродинамика сельскохозяйственных машин / Чжан Чжаоцян. – Пекин: Изд-во «Машиностроительная промышленность», 2020. – С. 45–62.
6. Launder В. Е. Численное моделирование турбулентных течений / В. Е. Launder // Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering. – 2020. – 364.
7. Clift R. Пузыри, капли и твёрдые частицы / R. Clift. – Cambridge: Cambridge University Press, 2018. – С. 234–256.
8. Ван Фэнсянь. Оптимизация угла наклона дефлектора сеялок / Ван Фэнсянь // Труды по сельскохозяйственной инженерии. – 2022. – № 38(12). – С. 1–8.
9. Ли Минмин. Исследование характеристик потока в эллиптическом аэродинамическом канале / Ли Минмин // Журнал сельскохозяйственных машин. – 2021. – №52(5). – С. 101–108.
10. Техническое руководство Monosem X. 2023.
11. ISO 7256-1:2019, Сеялки – Требования к рабочим характеристикам.
12. Чэнь Хайтао. Исследование характеристик разрушения почвы вращающимся ножевым бороздоделателем / Чэнь Хайтао // Сельскохозяйственная инженерная наука. – № 2020. – № 42(3). – С. 53–60.
13. Чжоу Цзе. Безразмерный метод анализа газо-твёрдой двухфазной струи / Чжоу Цзе // Журнал инженерной теплофизики. – 2019. – № 40(7). – С. 1589–1595.

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ВЕТРОЗАЩИТНЫХ УСТРОЙСТВ ФАКЕЛОВ РАСПЫЛА РАБОЧИХ РАСТВОРОВ ПЕСТИЦИДОВ К ПОЛЕВЫМ ОПРЫСКИВАТЕЛЯМ

И. С. КРУК, А. А. АНИЩЕНКО

*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,
г. Минск, Республика Беларусь, 220023*

О. В. ГОРДЕЕНКО, В. И. СОРОКА

*УО «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции
и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия»,
г. Горки, Республика Беларусь, 213407, e-mail: olegordeenko70@mail.ru*

(Поступила в редакцию 04.09.2025)

Несмотря на то, что современные технологии и оборудование для внесения средств защиты растений значительно повысили равномерность распределения капель рабочих растворов по обрабатываемым поверхностям, проблема снижения потерь пестицидов вследствие воздействия переменчивых метеорологических условий все еще остается актуальной. В некоторых случаях влияние факторов окружающей среды и неспособность применяемого оборудования им противостоять приводит к тому, что небольшая часть дозы химического вещества оседает на поверхностях целевого объекта, вследствие чего желаемый биологический эффект не достигается.

Одним из важных факторов оценки эффективности и безопасности применения пестицидов в растениеводстве является величина потерь рабочих растворов из-за сноса при обработках в ветреную погоду. Несмотря на многочисленные исследования, проблема сноса капель и осаждения пестицидов за пределами обрабатываемых участков не решена.

В статье приведен анализ способов и технических решений снижения потерь пестицидов из-за сноса и обосновано использование ветрозащитных устройств с различными конструктивными исполнениями рабочих элементов. На основе всестороннего анализа результатов исследований разработаны общие требования к конструкциям ветрозащитных устройств. Результаты исследований могут быть использованы при проектировании, модернизации и эксплуатации полевых штанговых опрыскивателей.

Целью работы, выполняемой в рамках международного проекта T24MN-005 при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований, является исследование направлений и устройств снижения расхода пестицидов и их потерь.

Ключевые слова: *пестициды, потери, снос, ветер, ветрозащитное устройство, капля, экран.*

Despite the fact that modern technologies and equipment for applying plant protection products have significantly improved the uniformity of working solution droplet distribution across treated surfaces, the problem of reducing pesticide losses due to variable weather conditions remains relevant. In some cases, the influence of environmental factors and the inability of the equipment to withstand them leads to a small portion of the chemical dose settling on the surfaces of the target object, resulting in the desired biological effect not being achieved. One of the important factors in assessing the effectiveness and safety of pesticide application in crop production is the amount of spray solution loss due to drift during windy conditions. Despite numerous studies, the problem of droplet drift and pesticide deposition outside the treated areas remains unresolved.

This article analyzes methods and technical solutions for reducing pesticide losses due to drift and substantiates the use of windbreaks with various working element designs. Based on a comprehensive analysis of research results, general requirements for windbreak design have been developed. The research results can be used in the design, modernization, and operation of field boom sprayers.

The aim of this work, carried out within the framework of the international project T24MN-005 with financial support from the Belarusian Republican Foundation for Basic Research, is to investigate methods and devices for reducing pesticide consumption and losses.

Key words: *pesticides, losses, drift, wind, windbreak, droplet, screen.*

Введение

Проблема сноса капель рабочего раствора пестицидов и осаждения их вне объектов обработки остается серьезной для человека, флоры и фауны, экологии окружающей среды.

Закономерности процесса сноса и факторы, определяющие величину потерь пестицидов, изложены во многих научных трудах ученых и практиков [1–21]. Метеорологические факторы окружающей среды играют важную роль в возникновении и протекании сноса капель распыленных рабочих растворов пестицидов. Наиболее важным технологическим параметром, влияющим на величину потерь при сносе, является размер распыляемых капель. Результатами многочисленных исследований и наблюдений отмечается, что эффективность химической защиты растений определяется степенью монодисперсности факела распыла (размером и количеством образуемых капель) [1–6]. При этом мелкие капли, обеспечивающие высокую степень покрытия обрабатываемых поверхностей, под влиянием

янием факторов окружающей среды, вследствие испарения и сноса, существенно увеличивают потери препаратов, снижая эффективность защиты растений. Установлено, что борьба с вредителями может быть неэффективной при малых объемах внесения с покрытием поверхностей растений каплями диаметром более 200 мкм [2]. Крупные капли менее подвержены воздействию метеорологических факторов, обеспечивают низкую степень покрытия обрабатываемых поверхностей и подвержены скапыванию с них. Во многих работах определен различный предельный размер склонных к сносу капель, который находится в пределах 100...200 мкм. В работе [3] сделан вывод, что сносу наиболее подвержены капли диаметром менее 150 мкм, в [4, 5] – менее 200 мкм, а в [6] отмечено, что при скорости ветра от 0,5 до 4 м/с вероятность сноса становится незначительной для капель диаметром от 150 до 200 мкм. Такой диапазон, на наш взгляд, обоснован неодинаковыми условиями, в которых проводились лабораторные и полевые исследования, а также различием и непостоянством величин воздействующих метеорологических факторов, в частности скорости ветра. При штанговом опрыскивании капли диаметром до 100 мкм сносятся за пределы обрабатываемой полосы, а диаметром до 50 мкм полностью испаряются, не достигнув цели [7–10]. Расстояние, на которое сносится рабочий раствор (при прочих равных условиях), возрастает с увеличением скорости ветра, высоты установки распылителя, и уменьшается с увеличением начальной скорости падения капель диаметром более 100 мкм. Изменение температуры окружающей среды и относительной влажности оказывают гораздо большее влияние на расстояние сноса капель диаметром менее 100 мкм, чем капель диаметром более 200 мкм [11].

В результате проведенных исследований были определены направления, позволяющие исключить или снизить потери пестицидов из-за сноса [9, 10, 12], которые основаны на трех концепциях:

- отсутствие проведения технологических операций химической защиты растений методом опрыскивания в неблагоприятных метеорологических условиях;
- сокращение количества мелких капель в факелах распыла и снижение объема распыляемого вещества, содержащегося в них;
- сохранение траектории движения мелких капель при помощи устройств, обеспечивающих их осаждение на целевой поверхности обработки.

Первое условие может быть не реализовано вследствие возникновения острой необходимости проведения технологических операций в пределах установленных агротехникой возделывания сроков, определяемых степенью поражения культур болезнями, вредителями и сорнякам, и требующей безотлагательного применения пестицидов вследствие риска существенных потерь урожая.

Вторая концепция реализуется в двух вариантах: разработка конструкций специальных распылителей (инжекторные, ротационные, комбинированные), обеспечивающих сокращение количества мелких капель в факеле распыла [8, 9, 10, 13, 14], и использование специальных химических препаратов (замедлителей осаждения капель), уменьшающих объем распыляемого вещества, содержащегося в мелких каплях [15–18].

Третья концепция основана на применении различных способов и технологий, обеспечивающих транспортировку капель к обрабатываемому объекту, и ветрозащитных устройств факелов распыла [9, 12, 14, 19]. В основе технологий транспортировки капель заложен принцип сохранения их траекторий движения под действием дополнительных сил, создаваемых электростатическим полем [13, 20] или высокоскоростным направленным потоком (струей) сжатого воздуха [9, 19, 21].

Существуют три основных метода электростатической зарядки капель распыленной жидкости: коронная кондуктивная и индукционная [20]. При первом методе электроды генерируют ионы коронного разряда, которые взаимодействуют с каплями рабочих растворов, придавая им электрический заряд. Зарядка коронным разрядом может быть ненадежной и, как правило, обеспечивает более слабый заряд, чем другие методы зарядки при распылении. Кондуктивная зарядка осуществляется за счет непосредственного контакта электрода с распыляемым рабочим раствором, что не обеспечивает должной степени безопасности вследствие прямого электрического контакта, и может привести к короткому замыканию и увеличению рабочих токов. Индукционная зарядка является самым безопасным и надежным методом и осуществляется за счет создания сильного электрического поля, которое заряжает распыляемые капли при относительно малом токе [20]. Технологии электростатической зарядки растворов, несмотря на свою эффективность, влекут существенное удорожание опрыскивателя и снижение его производительности вследствие уменьшения рабочей ширины захвата [19] и не находят широкого применения в растениеводстве.

На величину потерь по причине сноса существенным образом оказывают влияние расстояние до обрабатываемой поверхности, скорость и направление ветра [9], поэтому необходимо оградить факел распыла от прямого воздействия ветра. Одним из направлений является применение ветрозащитных устройств. По принципу действия их можно разделить на три группы: пассивные, активные, комбинированные [9].

Технологии, основанные на создании струй сжатого воздуха, транспортирующих капли (*air-assist*, *air-plus*, *twin force*), позволяют уменьшить величину потерь препаратов из-за сноса ветром, однако в сухую погоду приводят к снижению эффективности обработки вследствие создания пылевой завесы, поднимаемой с поверхности поля почвенных частиц [8, 9]. Поэтому основное внимание в решении проблемы снижения потерь пестицидов из-за сноса ветром уделяется разработке конструкций ветрозащитных устройств, которые позволяют либо оградить факел распыла от воздействия вызывающих снос факторов (направленного воздушного потока (ветра) и создаваемой им турбулентности), либо увеличить скорость движения капель при сохранении траекторий их падения [9, 14, 19, 21]. Они рассматриваются в качестве альтернативы дорогостоящим опрыскивателям с воздухораспределительными системами и электростатической зарядкой раствора. Преимуществами ветрозащитных устройств являются простота конструкции, низкая стоимость, высокая технологическая и конструктивная надежность в сравнении с используемыми в объемных опрыскивателях осевыми вентиляторами большой мощности [22]. При этом степень снижения скорости ветра в области факела распыла определяется материалом и параметрами установки экранов [23].

Основная часть

Для оценки степени сноса рабочей жидкости используются следующие показатели: дальность сноса капель, степень сноса (объем снесенной или осевшей на целевом объекте обработки жидкости, либо объем осевшей жидкости за пределами целевого объекта обработки на различных расстояниях). Одним из них является расстояние между осевой линией факела распыла и центром масс собранной жидкости, определяемое по следующей формуле [12]:

$$D_c = \frac{\sum_{i=1}^n V_i l_i}{\sum_{i=1}^n V_i},$$

где V_i – объем жидкости в i -той мерной емкости, л;

l_i – расстояние от оси распылителя до центра i -той емкости, где измеряется объем жидкости, м.

Меньшее значение D_c указывает на меньший снос и большее осаждение жидкости вблизи сопла. Однако данный параметр не дает полной информации о количестве снесенной жидкости. Его можно оценить через коэффициент целевого использования жидкости (КЦИЖ), измеряемый в долях или процентах [9, 34], и определяемый по формулам:

$$K_{\text{ЦИЖ}} = \frac{m_э}{m_{\text{общ}}} = \frac{V_э}{V_{\text{общ}}},$$

или

$$K_{\text{ЦИЖ}} = \frac{m_э}{m_{\text{общ}}} \cdot 100\% = \frac{V_э}{V_{\text{общ}}} \cdot 100\%,$$

где $m_э$, $m_{\text{общ}}$ – соответственно масса рабочей жидкости, осевшая на целевом объекте обработки, и масса рабочей жидкости, прошедшая через распылитель за определенный период времени, кг; $V_э$, $V_{\text{общ}}$ – соответственно объем рабочей жидкости, осевшей на целевом объекте обработки, и объем рабочей жидкости, прошедший через распылитель за определенный период времени, м³.

Сравнительные исследования эффективности применения пассивного и активного (пневматического) ветрозащитных устройств показали, что установка экрана (щитка) может снизить снос капель до 70 % [24]. При различном соотношении скорости опрыскивателя к скорости ветра один и тот же экран уменьшает снос с подветренной стороны на 65 %, но в сравнении с базовым вариантом (без экрана) происходит увеличение отложений с подветренной стороны на 81 % [24]. Уменьшение медианно-объемного диаметра распыляемых капель с 320 мкм до 100 мкм при использовании плоскофа-

кельных распылителей приводит к увеличению сносимой жидкости в три раза [25]. При этом установка ветрозащитного экрана на штанге опрыскивателя позволяет снизить снос в 1,8–2,75 раз [25]. При скоростях ветра 4,18–8,33 м/с и расходе рабочей жидкости 0,75 л/мин установка защитных экранов при использовании щелевых распылителей с углами при вершине факела распыла 80 и 110° позволяет снизить снос капель примерно в два раза [26]. В зависимости от конструкции применяемых экранов потери капель рабочего раствора и-за сноса при использовании плоскоструйных распылителей уменьшаются на 85–95 % [27]. При этом их использование не оказывает существенного влияния на равномерность распределения жидкости по обрабатываемой поверхности.

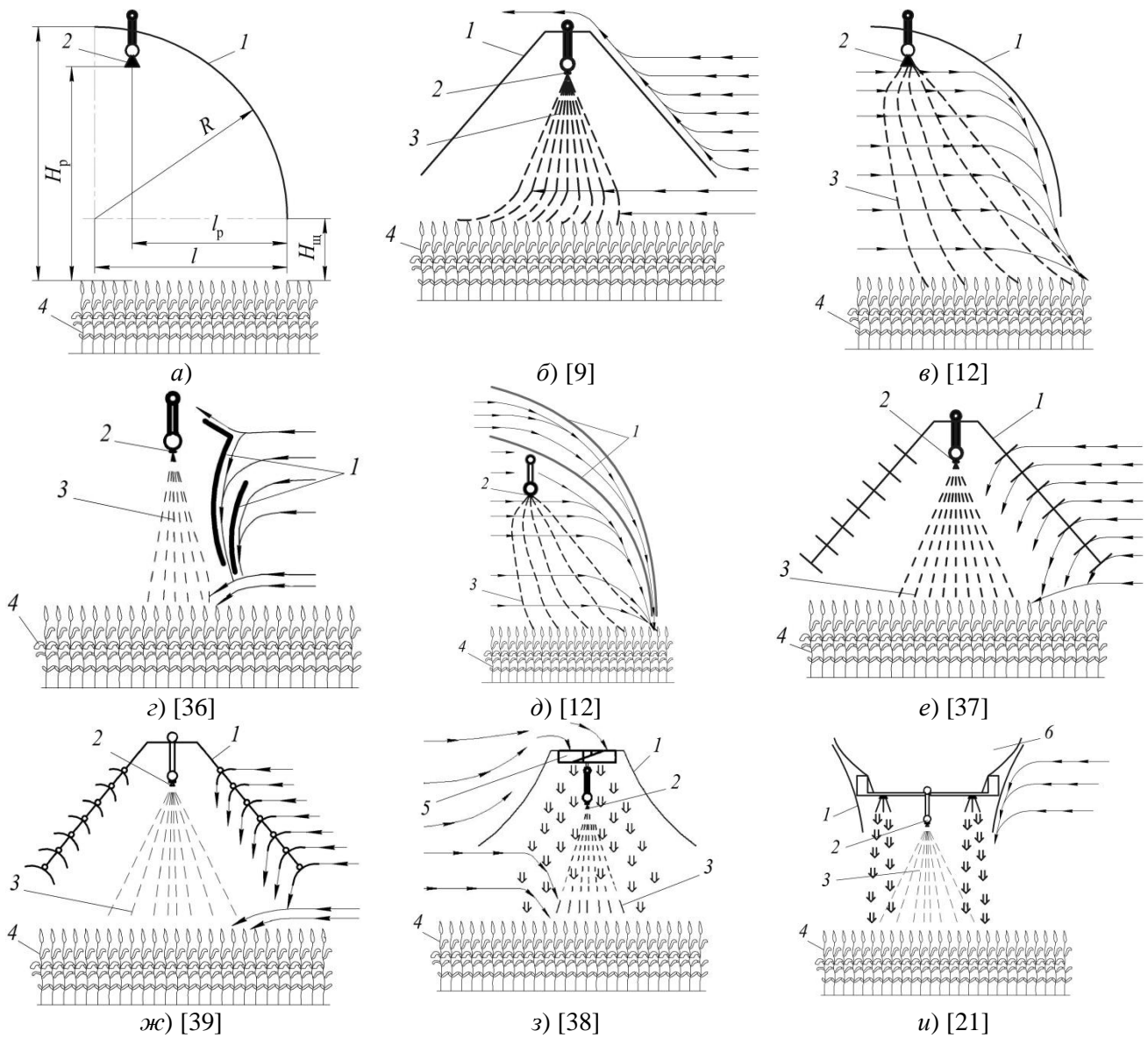
Использование защитных экранов совместно с электростатической зарядкой рабочей жидкости при обработках посевов ячменя позволяет увеличить количество осевших на растениях капель, но при этом возникает проблема их осаждения также и на рабочей поверхности щитка [28]. На посевах пшеницы в сравнении с перфорированным пластиковым экраном, установленным с двух сторон штанги с открытым доступом к распылителям сверху и небольшими щитками конусообразного типа, закрепленными на каждом распылителе, наиболее эффективна установка сплошного пластикового экрана, закрывающего пространство от штанги до верхнего уровня растений [29]. Однако при этом возникают следующие недостатки: отсутствие визуального контроля за работой распылителей, ограниченный доступ к ним, а также осаждение капель рабочей жидкости на рабочих поверхностях щитков. Применение инжекторных распылителей в сравнении со щелевыми плоскоструйными позволяет снизить снос распыленной жидкости на 81–94 %, а совместное их использование с ветрозащитными экранами – на 95–99 % [30]. Различное конструктивное исполнение и параметры установки ветрозащитных устройств относительно распылителей на штанге опрыскивателя существенно влияют на эффективность защиты факелов распыла от воздействия ветра [12, 30].

Основными технологическими параметрами, определяющими эффективность ветрозащитного устройства, являются количество, конструкция, общая площадь рабочих поверхностей и параметры установки друг относительно друга, распылителя и обрабатываемой поверхности щитков, воспринимающих воздействие ветра (рис. 1).

Наименьшая высота установки экрана над обрабатываемой поверхностью определяется возможной амплитудой колебаний концов крайних секций штанги опрыскивателя, то есть эффективностью работы системы ее стабилизации в вертикальной плоскости. В условиях хорошо выровненной поверхности поля при скорости движения трактора 8 км/ч амплитуда колебаний краев штанги длиной 12 м может достигать $\pm 0,20$ м [31,32,33]. Поэтому наименьшее расстояние между нижним краем экрана и верхней точкой обрабатываемой поверхности $H_{\text{нц}}$ должна быть не менее данной величины (рис. 1, а). При меньшем расстоянии установки рабочие поверхности экранов при возникновении вертикальных колебаний штанги будут входить в массив растений, вызывая их повреждение. Увеличение данного параметра, при неизменной высоте установки распылителя $H_{\text{р}}$ влечет увеличение пространства, в которое проникает ветер, что приведет к повышенному воздействию на факел распыла, увеличению объема сносимой жидкости и увеличению значения параметра $D_{\text{с}}$ [12].

В процессе работы опрыскивателя должно обеспечиваться условие равномерности распределения дозы пестицида по обрабатываемой поверхности, а также исключение осаждения капель рабочих растворов не на целевом объекте обработки. Данные требования могут быть нарушены при осаждении капель раствора на элементах и рабочих поверхностях ветрозащитных экранов с последующим неконтролируемым стеканием с них (рис. 1, в). Поэтому рациональная установка ветрозащитных экранов относительно распылителя, определяемая наименьшим расстоянием $l_{\text{р}}$ (рис. 1, а), при котором исключается осаждение капель на их рабочие поверхности, также является важным технологическим параметром, влияющим на качество и энергоемкость проведения технологической операции [9, 34].

Конструктивное исполнение рабочих поверхностей экранов, их форма и параметры установки позволяют эффективно использовать энергию ветра (рис. 1, б–и). Это, в первую очередь, связано с его перенаправлением к обрабатываемому объекту, что позволяет осуществить транспортировку капель рабочих растворов, увеличив их скорость падения при практически не измененных траекториях движения, осуществлять их эффективное проникновение в растительные слои, обеспечивая объемную обработку растений с высокой степенью облиственности (рис. 1, з, д, е, ж). Кроме того, перенаправленный воздушный поток позволяет без существенного изменения величины сносимой жидкости увеличить высоту установки ветрозащитных щитков над обрабатываемой поверхностью.



← — направление ветра <= — создаваемый воздушный поток

Рис. 1. Технологические схемы защиты факела распыла ветрозащитными устройствами различных конструкций: а — схема к обоснованию параметров установки ветрозащитного щитка относительно распылителя и обрабатываемого объекта; б, в, г, д, е, ж, з, и — схемы рабочих процессов различных ветрозащитных устройств: 1 — ветрозащитный экран (щиток); 2 — распылитель; 3 — факел распыла; 4 — обрабатываемый объект; 5 — вентилятор; 6 — воздухораспределительный рукав

Форма и размеры ветрозащитного устройства увеличивают силу лобового аэродинамического сопротивления агрегата, так как его рабочие поверхности воспринимают воздействие направленного воздушного потока. Кроме того, на энергоёмкость выполнения операции оказывает влияние и возрастающая при установке дополнительных элементов масса опрыскивателя. Сила аэродинамического сопротивления зависит от формы и размеров экранов, ориентации их относительно направления ветра, его скорости, а также от свойств и состояния окружающей среды, в которой осуществляется обработка, и определяется по формуле [40]:

$$F_{C_3} = \xi_{3_3} \cdot \frac{\rho_B \cdot v_B^2}{2} \cdot S_3,$$

где ξ_{3_3} — коэффициент аэродинамического сопротивления движению в окружающей среде, зависящий от геометрии экранов и скорости движения опрыскивателя, а также скорости ветра и параметров окружающей среды; S_3 — площадь миделева сечения экрана в вертикальной плоскости, m^2 ; ρ_B — плотность воздуха при нормальных условиях, kg/m^3 ; $\rho_B = 1,29 kg/m^3$, v_B — скорость ветра, m/s .

Нерациональные параметры экранов могут привести к существенному возрастанию энергоемкости процесса, возникновению колебаний штанги в горизонтальной плоскости, приводящих к резкому возрастанию неравномерности распределения рабочего раствора по обрабатываемой поверхности [8, 31].

Один из вариантов уменьшения площади рабочей поверхности экранов является совместное их использование с устройствами, создающими дополнительные воздушные потоки для транспортировки капель (рис. 1, ж) или воздушные экраны для защиты факела распыла от воздействия ветра (рис. 1, з). Однако использование дополнительных элементов, создающих направленный воздушный поток, увеличивает массу опрыскивателя и его стоимость.

Заключение

При проектировании ветрозащитных устройств следует подобрать такие рациональные форму, геометрические размеры и параметры установки экранов, при которых выполняются следующие требования:

- качественное внесение пестицидов при наименьших потерях из-за сноса и аэродинамическом сопротивлении;
- незначительное увеличение массы опрыскивателя;
- отсутствие механических повреждений обрабатываемых растений и поломок экранов;
- исключение осадения капель вносимого рабочего раствора на рабочих поверхностях;
- эффективное использование перенаправленного воздушного потока, создаваемого ветром, для защиты факела распыла, транспортировки капель и проникновения средств защиты в растительные массивы.

Поэтому особое внимание при проектировании полевых опрыскивателей следует уделять моделированию и исследованию процесса движения капель рабочих растворов под воздействием метеорологических условий и факторов окружающей среды, а также влиянию материалов, формы и параметров установки ветрозащитных экранов на аэродинамические характеристики агрегата [35].

ЛИТЕРАТУРА

1. Smith D. B., Harris F. D., Goering C. E. Variables affecting drift from ground sprayers. Transactions of the ASAE 1982, 25(6), 1499–1503.
2. Bode L. E., Butler B. J. Spray characteristics of rotary atomizers. Pesticide Formulations and Application Systems: Second Conference, ASTM Publication STP 7954. Ed., K.G. Seymour, American Society for Testing and Materials Philadelphia. PA. 1983. 89–104.
3. Yates W. E., Cowden R. E., Akesson N. B. Drop size spectra from nozzles in high-speed airstream. Transactions of the ASAE 1985, 28(2), 405–410.
4. Womac A. R., Goodwin J. C., Hart W. E. Tip selection for precision application of herbicides. University of Tennessee Agricultural Experiment Station. Bulletins. https://trace.tennessee.edu/utk_agbulletin/430, 1997. – 48 p.
5. What's the relationship between vapour drift and inversions? / Tom Wolf // *sprayers101* [Электронный ресурс] <https://sprayers101-com.translate.google/vapour-drift-and-inversions/?> – 2020 (доступ 18.08.2024).
6. Bode L. E. Downwind drift deposits by ground applications. Proceedings of the Pesticide Drift Management Symposium, South Dakota State University, Brookings, SD. 1984. – 50 p.
7. Nuyttens D. Drift from field crop sprayers: The influence of spray application technology determined using indirect and direct drift assessment means: Dissertation submitted for the degree of doctor of philosophy: bioengineering / D. Nuyttens. – Leuven, 2007. – 267 p.
8. Защита растений в устойчивых системах земледелия (в 4-х книгах) / Под общей ред. Д. Шпаара. – Торжок: ООО «Вариант», 2004. – кн. 4. – 345 с.
9. Крук, И. С. Способы и технические средства защиты факела распыла от прямого воздействия ветра в конструкциях полевых опрыскивателей: монография / И. С. Крук, Т. П. Кот, О. В. Гордеенко. – Минск: БГАТУ, 2015. – 284 с.
10. Ключков, А. В. Механизация химической защиты растений: монография / А. В. Ключков, А. Е. Маркевич. – Горки: Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 2008. – 228 с.
11. Zhu H., Reichard I. L., Fox R. D., Brazee R. D., Ozkan H. E. Simulation of drift of discrete sizes of water droplets from field sprayers. Transaction of the ASAE 1994, 37(5). 1401–1407.
12. Shields to reduce spray drift / H. E. Ozkan [and oth.] // Journal of Agricultural Engineering Research. – 67. – p. 311–322.
13. Никитин, Н. В. Научно-практические аспекты технологии применения современных гербицидов в растениеводстве / Н. В. Никитин, Ю. Я. Спиридонов, В. Г. Шестаков / под общ. ред. Ю. Я. Спиридонова, В. Г. Шестакова. – М.: Печатный город, 2010. – 200 с.
14. Ключков, А. В. Снижение потерь пестицидов при опрыскивании: монография / А. В. Ключков, П. М. Новицкий, А. Е. Маркевич. – Горки: БГСХА, 2017. – 230 с.
15. Richardson R. D. Control of spray drift with thickening agents. Journal of Agricultural Engineering Research 1974. 19(31), 227–231.
16. Bode L. E., Butler B. J., Goering C. E. Spray drift and recovery as affected by spray thickener, nozzle type and nozzle pressure. Transactions of the ASAE 1976, 18(1), 213–218.
17. Evaporation and deposition coverage area of droplets containing insecticides and spray additives on hydrophilic, hydrophobic, and crabapple leaf surfaces / Y. Yu, H. Zhu, H. E. Ozkan, R. C. Derksen, C. R. Krause // Transactions of the ASABE. – № 52(1). – 2009, p. 39–49.
18. Timothy A Ebert. Understanding pesticide spray application // *Outlooks on Pest Management*. 2007. – p. 234 – 236.

19. We need better drift control technologies / Tom Wolf // <https://sprayers101-com.translate.goog/we-need-better-drift-control-technologies> – 2020 (доступ 16.08.2024).
20. Optimization and evaluation of electrostatic spraying systems and their effects on pesticide deposition and coverage inside dense canopy plants / M. Herkins, L. Zhao, H. Zhu, H. Jeon, J. Castilho-Theodoro // *Agronomy*, 2025, 15, p. 1401–1421.
21. Вожик Ю. Г. Використання повітряної зависі для протидії зустрічному вітру під час обприскування польових культур / Ю. Г. Вожик, П. І. Вітрух, Ю. В. Косоветь, В. І. Панасюк / *Механізація та електрифікація сільського господарства*. – 2020. – Випуск 11(110). – С. 72–81.
22. Furness G. O. A comparison of simple bluff plate and axial fans for air-assisted, high-speed, low-volume spray application to wheat and sunflower plants. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 1991, 48, 57–75.
23. Cenkowski S., Forbes A. M., Townsend J. Effectiveness of windscreens on modifying airflow around a sprayer boom. *Transactions of the ASAE* 1994, 10(4), 471–477.
24. Smith D. B., Harris F. D., Butler B. J. Shielded sprayer boom to reduce drift. *Transactions of the ASAE* 1982, 25(5), 1136–1140, 1147.
25. Fehring R. J., Cavaletto R. A. Spray drift reduction with shrouded boom sprayers. ASAE Paper No. 90–1008, St. Joseph, Mich.: ASAE, 1990.
26. Maybank J., Shewchuk S. R., Wallace K. The use of shielded nozzles to reduce off-target herbicide spray drift. *Canadian Agricultural Engineering* 1990, 32, 235–241.
27. Ford R. J. Comparative evaluation of three drift control devices. *Canadian Agricultural Engineering*. 1984, 26(2). 97–99.
28. Lake J. R., Green R., Tofts M., Dix A. J. The effect of an aerofoil on the penetration of charged spray into barley. *Proceedings of the British Crop Protection Conference-Weeds*. BCPC Publications, 1982, 1009–1016.
29. Wolf T. M., Grover R., Wallace K., Shewchuk S. R., Maybank J. Effect of protective shields on drift and deposition characteristics of field sprayers. *Canadian Journal of Plant Science* 1993, 73, 1261–1273.
30. Drift reducing potential of low drift nozzles with the use of spray-hoods / R. L. Roten, J. C. Ferguson, A. J. Hewitt // *New Zealand Plant Protection* 67: 274-277 (2014). – p. 274–277.
31. Крук, И. С. Научно-технические основы проектирования рабочих органов штанговых опрыскивателей / И. С. Крук. – Минск: БГАТУ, 2018. – 272 с.
32. Ротенберг, Ю. Ю. Высота штанги полевого опрыскивателя / Ю. Ю. Ротенберг, Т. В. Раскатова, И. А. Редкозубов // *Защита и карантин растений*. – 2011. – № 5. – С. 42–43.
33. Петровская, Е. В. Повышение равномерности распределения рабочей жидкости штангового опрыскивателя: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Е. В. Петровская. – Челябинск, 2006. – 195 с.
34. 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.
35. Крук, И. С. Особенности моделирования процесса падения капель при внесении рабочих растворов пестицидов полевыми штанговыми опрыскивателями / И. С. Крук // *Агропанорама*. – 2025. – № 3(169). – С. 2–10.
36. Штанга опрыскивателя с ветрозащитными устройствами: пат. 3928 Респ. Беларусь, МПК А 01М 7/00 / И. С. Крук, А. Е. Маркевич, О. В. Гордеенко, А. И. Гайдуковский, М. И. Назарова, Е. В. Послед; заявитель Белорус. гос. аграр. техн. ун-т. – № u 20070215; заявл. 26.03.2007; опубл. 30.10.2007 // *Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці*. – 2007. – № 5 (58). – С. 163.
37. Штанга опрыскивателя с ветрозащитными устройствами: пат. 6648 Респ. Беларусь, МПК А 01М 7/00 / И. С. Крук, О. В. Гордеенко, Е. В. Послед, А. И. Гайдуковский, Г. Ф. Назарова, А. А. Новиков, П. Э. Гринкевич; заявитель Белорус. гос. аграр. техн. ун-т. – № u 20100267; заявл. 18.03.2010; опубл. 30.10.2010 // *Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці*. – 2010. – № 5 (76). – С. 161.
38. Штанга опрыскивателя с ветрозащитными устройствами: пат. 16589 Респ. Беларусь, МПК А 01М 7/00 / И. С. Крук, Е. В. Послед, О. В. Гордеенко, С. В. Якубовский, П. Э. Гринкевич, Г. Ф. Назарова; заявитель Белорус. гос. аграр. техн. ун-т. – № u 20100608; заявл. 08.06.2010; опубл. 30.12.2012 // *Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці*. – 2012. – № 6 (89). – С. 62.
39. Штанга опрыскивателя с ветрозащитными устройствами: пат. 9714 Респ. Беларусь, МПК А 01М 7/00 / И. С. Крук, В. А. Агейчик, Д. Р. Мальцев, О. В. Гордеенко; заявитель Белорус. гос. аграр. техн. ун-т. – № u 20130442; заявл. 28.05.2013; опубл. 30.12.2013 // *Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці*. – 2013. – № 6 (95). – С. 171.
40. Евграфов, А. Н. Аэродинамика автомобиля: учебное пособие / А. Н. Евграфов. – М.: МГИУ, 2010. – 356 с.

ПРЕДПОСЫЛКИ ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ ВОРСА БАРАБАНА РОТОРНО-БИЛЬНОГО АППАРАТА ПРИ УБОРКЕ ЛЬНА

М. В. ЦАЙЦ, И. А. ГРАЩЕНКО, И. И. СЕРГЕЕВА, Е. Л. ИОНАС, И. А. САВЧЕНКО

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

(Поступила в редакцию 04.09.2025)

Полиамидные и полипропиленовые материалы находят широкое применение в самых различных отраслях, что обусловлено их уникальными физико-химическими свойствами. Исследование возможности их применения в сельском хозяйстве может основываться на нескольких предпосылках: высокая прочность и износостойкость при наличии упругих свойств, устойчивость к химическим веществам, водонепроницаемость и устойчивость к влаге, легкость в обработке и формовании, высокие экологические характеристики, долговечность и устойчивость к воздействию ультрафиолета. Эти предпосылки создают основу для дальнейшего изучения и внедрения полиамидных материалов в различные аспекты сельского хозяйства, что может привести к улучшению производственных процессов и повышению качества продукции.

Настоящее исследование посвящено изучению износостойкости полиамидного ворса, применяемого в вычесывающем барабане роторно-бильного аппарата для обработки льна. Установлено, что износ применяемого в роторно-бильном аппарате ворса из полиамидного материала носит неоднородный характер:

– наблюдается выраженный скос у вершины ворса из-за контакта с металлической декой. Также присутствует определенная деформация, приводящая к увеличению площади поперечного сечения ворса. 74,7 % измерений показали увеличение сечения ворса относительно исходных образцов, что указывает на пластические деформации;

– зафиксирован менее интенсивный износ передней поверхности (по ходу вращения барабана), снижающийся от вершины к основанию. Имеется зависимость износа от расположения ворса на вычесывающем барабане, обусловленное тем, что ворс, расположенный ближе к диску ротора, воздействует на наиболее спутанную ленту льна;

– обнаружены локальные повреждения в виде порезов, требующие дополнительного изучения.

Перспективы дальнейших исследований: углубленное изучение влияния параметров барабана и стеблевой массы на износ, оптимизация геометрии ворса и материалов для повышения износостойкости, анализ аномалий в позиции б барабана и необъяснимых повреждений в виде порезов.

Ключевые слова: *лен, роторно-бильный аппарат, вычесывающий барабан, ворс, полиамидный материал.*

Polyamide and polypropylene materials are widely used in a wide variety of industries due to their unique physical and chemical properties. Research into their potential use in agriculture can be based on several factors: high strength and wear resistance coupled with elastic properties, chemical resistance, water and moisture resistance, ease of processing and molding, high environmental performance, durability, and UV resistance. These factors provide the foundation for further study and implementation of polyamide materials in various aspects of agriculture, which could lead to improved production processes and higher product quality. This study examines the wear resistance of polyamide pile used in the combing drum of a flax processing rotor. It was found that the wear of the polyamide pile used in the rotor is non-uniform:

– a pronounced slope is observed at the pile tip due to contact with the metal deck. A certain deformation is also present, leading to an increase in the pile cross-sectional area. 74.7 % of measurements showed an increase in pile cross-sectional area relative to the original samples, indicating plastic deformation;

– less intense wear was recorded on the front surface (as the drum rotates), decreasing from the tip to the base. Wear is dependent on the location of the pile on the combing drum, due to the fact that pile located closer to the rotor disk impacts the most tangled flax sliver;

– localized damage in the form of cuts was detected, requiring further study.

Future research opportunities include: in-depth study of the influence of drum parameters and stem mass on wear, optimization of pile geometry and materials to improve wear resistance, and analysis of anomalies in position 6 of the drum and unexplained damage such as cuts.

Key words: *flax, rotary beater, combing drum, pile, polyamide material.*

Введение

Полиамидные (ПА) и полипропиленовые (ПП) материалы находят широкое применение в самых различных отраслях, что обусловлено их уникальными физико-химическими свойствами. Исследование возможности применения ПА и ПП материалов в сельском хозяйстве может основываться на нескольких предпосылках: высокая прочность и износостойкость при наличии упругих свойств, устойчивость к химическим веществам, водонепроницаемость и устойчивость к влаге, легкость в обработке и формовании, высокие экологические характеристики, долговечность и устойчивость к воздействию ультрафиолета. Эти предпосылки создают основу для дальнейшего изучения и внедрения ПА и ПП материалов в различные аспекты сельского хозяйства, что может привести к улучшению производственных процессов и повышению качества продукции.

Исследованиями физико-механических свойств ПП и ПА занимались А. Г. Зейнаб, Р. А. Гамида, Р. Б. Шафаг [1]. Исследованиями некоторых технологических свойств и эксплуатационных показателей изделий из ПА и ПП занималась М. М. Акаева [2]. В результате исследований ей было установлено положительное влияние минеральных наполнителей МВ -03-97, МТ-05-96 на текучесть расплава. Работа Насер Гарешаш посвящена повышению упругости композиционного материала и улучшению его сопротивляемости к внешним воздействиям [3]. В работах С. Д. Игнатова и С. И. Цехош исследовались упругие характеристики щёточного ворса из ПА и ПП рабочего оборудования коммунальной машины. Ими получены графики изменения деформации ворса и силы прижатия щетки к очищаемой поверхности во времени [4]. Также установлено влияние износа ворса цилиндрической щётки на его упругие характеристики [5].

Исследование новых способов применения полиамидных материалов может привести к разработке инновационных технологий и решений, способствующих повышению эффективности и устойчивости сельского хозяйства.

С целью повышения чистоты обмолота лент льна, снижения повреждения стеблей и отхода их в путанину по комбайновой технологии авторами предложена конструкция роторно-бильного аппарата для отделения семенной части урожая от стеблей [6, 7, 8], одним из рабочих элементов которого является цилиндрический барабан (рис. 1, а) с вычесывающим ворсом из полиамидного материала цилиндрической формы средним диаметром 3,12 мм и длиной выступающей части – 45,0 мм (рис. 1, в). Ворс установлен девятью продольными рядами, при этом воздействие на обрабатываемую ленту льна осуществлялось от 1-го ряда к 9-му (рис. 1, б). Рабочий процесс предлагаемого аппарата предполагает, что после обмолота, лента стеблей льна попадает под воздействие вычесывающей щетки. Движущийся в зажимном транспортере слой стеблей неоднороден, при этом стебли в слое расположены с перекосом в направлении по ходу и против хода движения ленты [9, 10]. Физико-технологические свойства стеблей и ленты льна также отличаются высокими показателями на разрыв, жесткостью и упругими свойствами в сравнении с другими сельскохозяйственными культурами [9, 11], что оказывает существенное влияние на износ рабочих органов.

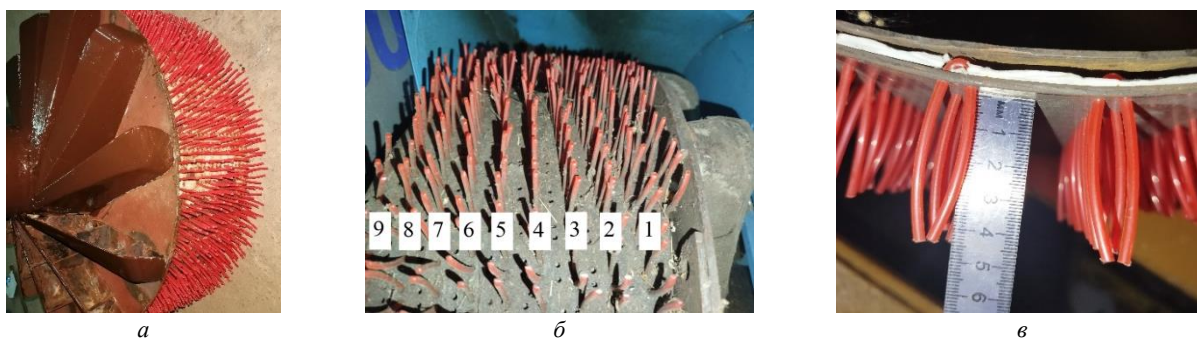


Рис. 1. Вычесывающий барабан роторно-бильного аппарата
а – вид ротора; б – вид вычесывающего барабана спереди; в – вид вычесывающего барабана сбоку

Производственные испытания предложенной конструкции роторно-бильного аппарата в льноуборочном комбайне показали высокие качественные результаты и экономическую эффективность в сравнении с серийным барабанно-гребневым аппаратом [12, 13, 14]. Вместе с тем остаются неисследованными влияние параметров вычесывающего барабана и его элементов на процесс выделения семян из обмолоченной ленты стеблей льна, а также влияние стеблевой массы на работоспособность элементов конструкции устройства. Одним из таких параметров является устойчивость к износу и характер износа ворса вычесывающего барабана.

Целью данной работы является определение характера износа ворса вычесывающего барабана из полиамидного материала, установление направлений его дальнейшего исследования.

Основная часть

Для изучения характера износа ворса из ПА при взаимодействии с лентой стеблей льна с вычесывающего барабана, который испытывался при проведении производственных испытаний [9, 10, 12], общей наработкой 56 часов, были срезаны три поперечных ряда с интервалом по периметру барабана 120°. При этом фиксировалась последовательность расположения ворсин на барабане как показано на рис. 1, б. Визуальный анализ износа ворса показал, что износ ворса неоднородный и имеет ярко выраженный скос у вершины (рис. 2), связанный со взаимодействием ворса и металлической поверхности нижней деки, а также менее выраженный износ передней, по ходу вращения барабана, поверхности

ворса. На некоторых ворсинах присутствует износ в виде порезов, не имеющих конкретного обоснования. Износ передней поверхности снижается от верхней части ворса к его основанию.

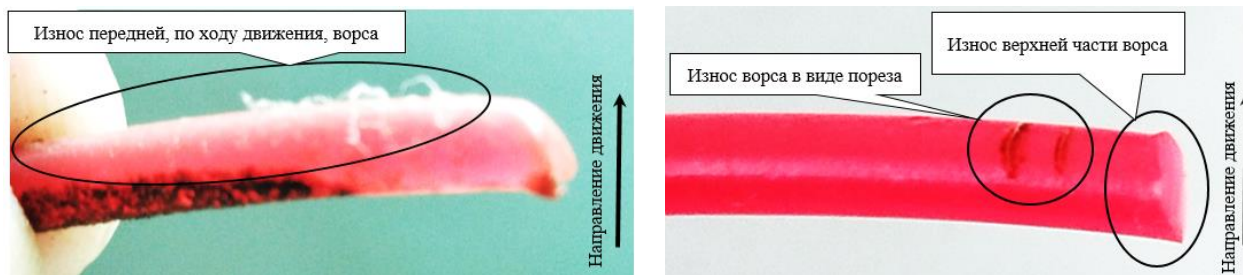


Рис. 2. Виды износа ворса роторно-бильного аппарата

Исходя из характера износа было принято решение по определению величины износа ворса по длине, а также оценке влияния износа ворса, в зависимости от его расположения на вычесывающем барабане. Поскольку износ имеет односторонний характер, то замеры производились в двух плоскостях по значениям x_B и y_B – сечение ворса у вершины, x_C и y_C – сечение ворса по середине длины ($l/2$), x_H и y_H – сечение ворса в нижней части (табл. 1).

Таблица 1. Параметры измерений ворса из ПА материала применяемого в роторно-бильном аппарате

Графическая интерпретация	Условное обозначение	Расшифровка
	x_B , мм	Величина сечения ворса у вершины в направлении движения щетки
	y_B , мм	Величина сечения ворса у вершины в направлении, перпендикулярном движению щетки
	x_C , мм	Величина сечения ворса на расстоянии $l/2$ длины в направлении движения щетки
	y_C , мм	Величина сечения ворса на расстоянии $l/2$ длины в направлении, перпендикулярном движению щетки
	x_H , мм	Величина сечения ворса у вершины в направлении движения щетки
	y_H , мм	Величина сечения ворса у вершины в направлении, перпендикулярном движению щетки
Схема износа ворса и параметры измерений		

Измерение исследуемых параметров ворса проводили с помощью электронного штангенциркуля ШЦЦ-I ГОСТ 166–89 1-го класса точности. Результаты измерений сведены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты измерений и статистического анализа

Определяемые параметры	Положение ворса на вычесывающем барабане									среднее значение	минимальное значение	максимальное значение	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9				
Первый срез	y_B	2,54	2,37	2,6	2,56	2,57	2,87	2,85	2,8	2,66	2,647	2,37	2,87
	x_B	2,91	2,62	2,97	2,92	2,98	3,12	3,06	3,07	3,04	2,966	2,62	3,12
	y_C	3,13	3,05	3,15	3,07	3,11	3,17	3,15	3,1	3,15	3,120	3,05	3,17
	x_C	3,19	3,09	3,17	3,16	3,15	3,2	3,17	3,15	3,1	3,153	3,09	3,2
	y_H	3,16	3,08	3,15	3,05	3,13	3,23	3,12	3,15	3,19	3,140	3,05	3,23
	x_H	3,17	3,1	3,2	3,12	3,18	3,28	3,18	3,16	3,23	3,180	3,1	3,28
Второй срез	y_B	2,65	2,94	2,82	2,92	2,62	3,07	2,9	3,04	3,06	2,891	2,62	3,07
	x_B	2,76	3,03	3	3,06	2,9	3,09	3,09	3,06	3,11	3,011	2,76	3,11
	y_C	3,02	3,08	3,08	3,12	3,12	3,16	3,18	3,13	3,15	3,116	3,02	3,18
	x_C	3,04	3,13	3,11	3,19	3,13	3,18	3,21	3,16	3,16	3,146	3,04	3,21
	y_H	3,04	3,11	3,09	3,12	3,12	3,16	3,17	3,15	3,13	3,121	3,04	3,17
	x_H	3,04	3,12	3,12	3,17	3,15	3,17	3,22	3,18	3,16	3,148	3,04	3,22
Третий срез	y_B	3	2,83	2,89	3,1	2,84	3,1	3,03	3,09	3,1	2,998	2,83	3,1
	x_B	2,98	2,91	2,82	3,11	3,01	3,12	3,06	2,95	3,1	3,007	2,82	3,12
	y_C	3,19	3,06	2,97	3,17	3,07	3,02	3,08	3,11	3,12	3,088	2,97	3,19
	x_C	3,22	3,09	2,92	3,19	3,1	3,13	3,06	3,08	3,16	3,106	2,92	3,22
	y_H	3,08	3,04	3	3,16	3,07	3,13	3,03	3,1	3,19	3,089	3	3,19
	x_H	3,15	3,07	3,05	3,17	3,07	3,09	3	3,07	3,19	3,096	3	3,19
Стандартная ошибка	0,045	0,046	0,036	0,035	0,041	0,021	0,024	0,021	0,028				
Стандартное отклонение	0,191	0,199	0,153	0,151	0,177	0,088	0,102	0,090	0,122				
Среднее значение	3,015	2,984	3,006	3,076	3,018	3,127	3,087	3,086	3,111				

Анализ данных табл. 2 показывает, что стандартная ошибка, полученная на основе выборки, достаточно точно отражает реальное значение в изучаемой группе. При этом следует отметить, что приведенные значения достаточно часто превышают значения оригинальных образцов ПА ворса (не использованных в работе) максимальное значение которых составляет $d_{\max} = 3,18$ мм (среднее – 3,12 мм, а минимальное – 3,03 мм). Это свидетельствует о дополнительных деформациях ворса в процессе эксплуатации аппарата. Кроме того, 121 значение выборки (74,7 %) превышает минимальное значения $d_{\min} = 3,03$ мм оригинальных образцов ворса из ПА материала, и для получения более достоверных данных об износе ворса вычесывающего барабана роторно-бильного аппарата необходима более существенная наработка.

Для оценки износа ворса примем, что в результате износа поперечное сечение ворсины имеет эллипсовидную форму. Тогда величину износа определим, как разницу между площадью сечения целой ворсины и площадью сечения изношенной ворсины по зависимости:

$$\delta_i = S_{\text{ц}} - S_{\text{изн}} = \frac{\pi d_{\max}^2}{2} - \frac{\pi x_i y_i}{2} \quad (1)$$

где δ_i – величина износа ворса ПА в i -м поперечном сечении, мм²; $S_{\text{ц}}$ – площадь поперечного сечения целой ворсины, мм²; $S_{\text{изн}}$ – площадь поперечного сечения изношенной ворсины, мм²; d_{\max} – максимальный диаметр целой ворси, мм; x_i – большая ось i -го поперечного сечения изношенной ворсины, мм; y_i – малая ось i -го поперечного сечения изношенной ворсины, мм.

В результате расчетов и группировки полученных результатов произвели однофакторный анализ зависимости износа ворса по его длине (табл. 3), а также зависимость износа ворса от расположения на вычесывающем барабане, согласно схеме, приведенной на рис. 1, б (табл. 4). С целью определения однородности полученных значений была выполнена нормировка опытных данных, состоящая в вычислении стандартного отклонения от их среднего арифметического значения и в пересчете данных в этой шкале. В результате такого преобразования была получена шкала стандартных отклонений, где некоторые значения выделялись как по знаку, так и по абсолютной величине. Но эти значения не превышали двух стандартных отклонений, поэтому их можно считать принадлежащими одной общей совокупности.

Таблица 3. Алгоритм однофакторного анализа зависимости износа ворса δ по его длине [15]

Показатели	Величина износа ворса δ , мм ²									Число уровней $n_{\text{ур}} = 3$	График зависимости износа ворса δ по его длине
	$\delta_{\text{в}}$ (верхнее сечение)			$\delta_{\text{с}}$ (среднее сечение)			$\delta_{\text{н}}$ (нижнее сечение)				
δ	4,27	1,89	2,95	0,20	0,74	1,03	0,15	0,64	1,22	$\Phi = (\sum \delta)^2 / N = 113,795$	
	6,13	2,59	3,08	1,08	0,84	2,26	0,89	0,74	1,51		
	3,75	1,85	0,74	0,20	0,25	0,00	0,05	0,35	0,15		
	4,14	3,95	2,46	0,65	0,54	0,93	0,94	0,45	1,08		
	3,85	0,98	0,69	0,50	0,10	1,04	0,25	0,15	0,69		
	2,18	1,27	1,32	0,20	0,35	1,08	0,30	0,15	1,61		
	2,38	0,94	1,57	0,55	0,25	0,84	0,25	0,35	0,93		
	4,39			1,46			1,37				
n	22			22			22			$N = 66$	
$\sum \delta$	57,375			15,079			14,209			$\sum \sum \delta = 86,663$	
$\sum \delta^2$	55,7985			1,2066			0,8075			$\sum \sum \delta^2 = 57,813$	
$L = (\sum \delta^2) / n$	149,632			10,3356			9,1764			$\sum L = 169,144$	
$\Phi = \sum \delta / n$	2,608			0,685			0,646				
S	1,0226			0,2024			0,1853				
Δx	0,2000			0,0396			0,0362				

Из данных табл. 3 видно, что износ ворсин по высоте происходит по полиномиальной кривой по зависимости $\delta = 0,9415x^2 - 4,747x + 6,4135$ с достаточно высокой точностью. Анализ графической интерпретации полученной зависимости показал эксцесс на участке от $\delta_{\text{с}}$ до $\delta_{\text{н}}$, что явно выходит за пределы износа по всей полученной выборке данных. Из чего следует, что для получения более точной зависимости износа по длине ворсины необходимо провести дополнительные исследования.

Таблица 3. Алгоритм однофакторного анализа зависимость износа ворса от расположения на вычесывающем барабане [15]

Показатели	Уровни варьирования фактора (от стояние от диска)									Число уровней $n_{ур} = 9$	График износа ворса δ зависимости от положения размещения на вычесывающем барабане
	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
δ	4,27	6,12	3,75	4,14	3,85	1,81	2,18	2,38	3,18	$\Phi =$ $= (\sum \delta)^2 / N =$ $= 170,42$	
	0,20	1,08	0,19	0,64	0,49	-0,1	0,19	0,54	0,54		
	0,14	0,88	0,05	0,93	0,25	-0,75	0,30	0,24	-0,30		
	4,39	1,89	2,59	1,84	3,94	0,98	1,80	1,27	0,93		
	1,46	0,74	0,83	0,25	0,54	0,10	-0,15	0,34	0,24		
	1,36	0,64	0,74	0,34	0,44	0,14	-0,14	0,15	0,34		
	1,84	2,94	3,08	0,74	2,45	0,69	1,32	1,56	0,78		
	-0,25	1,03	2,26	0,0	0,93	1,03	1,08	0,83	0,39		
0,64	1,22	1,51	0,14	1,07	0,69	1,60	0,93	-0,10			
n	9	9	9	9	9	9	9	9	9	$N = 54$	
$\sum \delta$	14,08	16,57	15,02	9,05	14,0	4,66	8,19	8,28	6,04	$\sum \sum \delta = 95,93$	
$\sum \delta^2$	45,48	55,28	38,99	22,60	39,29	6,90	13,69	11,81	12,35	$\sum \sum \delta^2 = 246,45$	
$L = (\sum \delta^2) / n$	22,02	30,50	25,09	9,11	21,79	2,41	7,46	7,62	4,059	$\sum L = 110,96$	
$\Phi = \sum \delta / n$	1,56	1,84	1,66	1,006	1,55	0,51	0,91	0,920	0,671		
S	1,71	1,75	1,31	1,29	1,47	0,74	0,88	0,723	1,018		
Δx	0,818	0,841	0,630	0,620	0,707	0,358	0,422	0,346	0,486		

Полученные средние значения износа ворса в зависимости от положения размещения на вычесывающем барабане наиболее точно аппроксимируются линейной функцией $\delta = -0,139x + 1,8794$ с коэффициентом детерминации $R^2 = 0,6326$. Это обусловлено тем, что ворс, расположенный ближе к диску ротора, воздействует на наиболее спутанную ленту льна. При этом значение доверительного интервала, рассчитанного при 95%-ной вероятности в положении (6) на вычесывающем барабане не охватывает область прямой. Такое положение может объясняться особенностью расположения в камере обмолота, что требует дополнительных наблюдений.

Заключение

Производственные испытания подтвердили, что предложенная конструкция аппарата обеспечивает высокое качество обмолота льна (чистоту выделения семян, снижение повреждения стеблей) и экономическую эффективность по сравнению с серийными аналогами.

Установлено, что износ применяемого в роторно-бильном аппарате ворса из ПА материала носит неоднородный характер:

- наблюдается выраженный скос у вершины ворса из-за контакта с металлической декой. Также присутствует определенная деформация, приводящая к увеличению площади поперечного сечения ворса. 74,7 % измерений показали увеличение сечения ворса относительно исходных образцов, что указывает на пластические деформации в процессе эксплуатации;

- зафиксирован менее интенсивный износ передней поверхности (по ходу вращения барабана), снижающийся от вершины к основанию. Имеется зависимость износа от расположения ворса на вычесывающем барабане, обусловленное тем, что ворс, расположенный ближе к диску ротора, воздействует на наиболее спутанную ленту льна;

- обнаружены локальные повреждения в виде порезов, требующие дополнительного изучения.

По длине ворса износ описывается полиномиальной зависимостью ($\delta = 0,9415x^2 - 4,747x + 6,4135$), с аномалией в зоне между средним и нижним сечениями. По расположению на барабане, интенсивность износа линейно снижается от 1-го к 9-му ряду ($\delta = -0,139x + 1,8794$, $R^2 = 0,6326$).

Перспективы дальнейших исследований: углубленное изучение влияния параметров барабана и стеблевой массы на износ, оптимизация геометрии ворса и материалов для повышения износостойкости, анализ аномалий в позиции 6 барабана и необъяснимых повреждений в виде порезов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ganbarli, Z. A. Physical-Mechanical and Thermal Deformation Properties of Plasticized Highly Filled Composites Based on Polypropylene and Quartz / Z. A. Ganbarli, H. R. Azizbayli, Sh. R. Bagirova // Электронный научный журнал Нефтегазовое дело. – 2023. – No. 2. – P. 118–141. – DOI 10.17122/ogbus-2023-2-118-141.
2. Акаева, М. М. Влияние минеральных наполнителей на полипропилен и полиамид / М. М. Акаева // Известия Чеченского государственного университета. – 2020. – № 4(20). – С. 33–37. – DOI 10.36684/12-2020-20-4-33-37.
3. Насер, Г. Физико-механические свойства композитов полипропилена, наполненных модифицированными наносиликатами / Г. Насер, Д. Х. Халиков // Доклады Академии наук Республики Таджикистан. – 2012. – Т. 55, № 12. – С. 981–988.
4. Игнатов, С. Д. Упругие характеристики щётчного ворса рабочего оборудования коммунальной машины / С. Д. Игнатов, С. И. Цехош // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2019. – Т. 16, № 1(65). – С. 6–17.

5. Цехош, С. И. Исследование влияния износа цилиндрической щётки на её упругую характеристику, на требуемое усилие прижатия и на давление на выходе гидропневмоаккумулятора устройства управления положением щеточного рабочего органа / С. И. Цехош, Б. В. Журавский, П. И. Цехош // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2021. – Т. 18, № 1(77). – С. 106–119. – DOI 10.26518/2071-7296-2021-18-1-106-119.
6. Патент 2788696 С1 РФ Устройство для отделения семенных коробочек и семян льна от стеблей: № 3; заявл. 16.06.2022; опубл. 24.01.2023 / М. В. Симонов, В. А. Шаршунов, Н. С. Сентюров, М. В. Цайц; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Вятский государственный университет» – 3 с.
7. Патент 21293 Респ. Беларусь, МПК А 01d 45/06 (2006.01) Устройство для отделения семенных коробочек льна от стеблей: № а 20130044; заявл. 14.01.13; опубл. 25.05.17 / В. Е. Кругленья, В. И. Коцуба, П. Д. Сентюров, А. Д. Сентюров, М. В. Цайц, Г. А. Райлян, И. Л. Подшиваленко // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2017. – № 4 (117). заявитель Белорус. гос. с.-х. акад. – С. 57.
8. Сентюров, П. Д. Обоснование кинематических параметров роторного очесывающего аппарата / П. Д. Сентюров, М. В. Цайц, В. Е. Кругленья // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения. – 2013. – № 1(12). – С. 74–78.
9. Цайц, М. В. Отделение семенной части от стеблей льна роторно-бильным аппаратом при комбайновой уборке: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Цайц Максим Валерьевич. – Горки, 2024. – 239 с.
10. Обоснование продольного угла наклона боковой поверхности бича к плоскости диска роторно-бильного обмолачивающего аппарата / М. В. Цайц, В. А. Левчук, В. О. Коцуба [и др.] // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2024. – № 1. – С. 149–153.
11. Анализ исследований физико-механических и технологических характеристик стеблей и лент льна / А. В. Чайчиц, В. А. Левчук, М. В. Цайц, А. В. Шик // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства: Сборник научных трудов. – Горки: Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 2024. – С. 162–167.
12. Повышение эффективности получения семян льна-долгунца при комбайновой уборке / В. А. Шаршунов, М. В. Цайц, С. В. Курзенков [и др.] // Вестник НГИЭИ. – 2023. – № 7(146). – С. 44–59. – DOI 10.24412/2227-9407-2023-7-44-59.
13. Результаты производственных испытаний применения роторно-бильного аппарата в прицепном льнокомбайне / М. В. Цайц, В. А. Левчук, В. Г. Ковалев [и др.] // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2025. – № 1. – С. 134–139.
14. Результаты производственных испытаний и экономическая оценка применения роторного бильно-вычесывающего устройства на льноуборочном комбайне / В. А. Шаршунов, В. Н. Босак, М. В. Цайц [и др.] // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. – 2023. – Т. 61, № 4. – С. 324–336. – DOI 10.29235/1817-7204-2023-61-4-324-336.
15. Мельников С. В., Алешкин В. Р., Рошин П. М. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов. – Л.: Колос, 1972. – 168 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ И ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ ВАКУУМНЫХ УСТРОЙСТВ ТОЧНОГО ПОСЕВА КУКУРУЗЫ

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 08.09.2025)

Кукуруза занимает центральное место в аграрном секторе нашей страны, являясь ключевой зерновой культурой. Ее доля в общем объеме производства зерна превышает 40 %, что подчеркивает ее экономическую значимость. Более 60 % урожая кукурузы направляется на кормовые цели, обеспечивая основу для животноводства, включая производство мяса, молока и птицы. В условиях растущего спроса на продовольствие и корма, оптимизация выращивания кукурузы становится приоритетом. Технологии посева эволюционируют стремительно: от традиционных механических сеялок к высокоточным системам, минимизирующим потери семян и повышающим урожайность.

В данной статье подробно анализируется современное состояние исследований вакуумных устройств точного посева кукурузы. Эти устройства используют вакуум для захвата и распределения семян, обеспечивая равномерный интервал и глубину заделки, что снижает нормы высева на 15–20 % по сравнению с механическими аналогами. Обзор охватывает ключевые инновации: от базовых пневматических систем до интеллектуальных моделей с датчиками и автоматизированным контролем. Рассматриваются вызовы, такие как нестабильность вакуумного поля, повреждение семян и адаптация к разным почвам.

Далее излагаются перспективные направления развития: интеграция ИИ для реального времени корректировки параметров, использование CFD-моделирования для оптимизации газовых потоков, разработка энергосберегающих вакуумных насосов и комбинированных систем с GPS-навигацией. Такие подходы позволяют повысить точность посева до 95–98 %, уменьшить энергозатраты на 20–30 % и интегрировать с «умным» земледелием.

Статья представляет справочную ценность для инженеров, агрономов и производителей оборудования. Она способствует созданию эффективных систем посева, способствующих устойчивому развитию сельского хозяйства, повышению продовольственной безопасности и снижению экологического воздействия. В итоге, вакуумные технологии открывают путь к революции в посеве кукурузы, адаптированной к климатическим изменениям и ресурсным ограничениям.

Ключевые слова: вакуумный посев; кукуруза; посев; устройство; выбрасыватель семян.

Corn occupies a central place in our country's agricultural sector, being a key grain crop. Its share of total grain production exceeds 40 %, underscoring its economic importance. Over 60 % of the corn harvest is used for feed, providing the basis for livestock farming, including meat, milk, and poultry production. With growing demand for food and feed, optimizing corn cultivation is becoming a priority. Seeding technologies are rapidly evolving: from traditional mechanical seeders to high-precision systems that minimize seed loss and increase yields.

This article provides a detailed analysis of the current state of research into vacuum precision seeding devices for corn. These devices use vacuum to capture and distribute seeds, ensuring uniform spacing and seeding depth, reducing seeding rates by 15–20% compared to mechanical equivalents. This review covers key innovations, from basic pneumatic systems to intelligent models with sensors and automated control. Challenges such as vacuum field instability, seed damage, and adaptation to different soils are discussed.

Further promising areas of development are outlined: integrating AI for real-time parameter adjustments, using CFD modeling to optimize gas flows, developing energy-efficient vacuum pumps, and combined systems with GPS navigation. These approaches can increase seeding accuracy to 95–98 %, reduce energy costs by 20–30 %, and integrate with smart farming.

This article provides reference value for engineers, agronomists, and equipment manufacturers. It promotes the creation of efficient seeding systems that contribute to sustainable agricultural development, improve food security, and reduce environmental impact. Ultimately, vacuum technologies pave the way for a revolution in corn seeding, adapting to climate change and resource constraints.

Key words: vacuum seeding; corn; seeding; device; seed ejector.

Введение

Кукуруза широко распространена по всему миру и практически культивируется во всех регионах. Пневматическая система посева кукурузы использует воздушный поток для транспортировки семян, что обеспечивает их надежную защиту, высокое качество после посева и высокую урожайность, поэтому она подходит для точного посева. Однако пневматический посев требует достаточно сложной механической конструкции; в настоящее время ещё не существует зрелых пневматических систем посева кукурузы. Разработка пневматических сеялок точного посева кукурузы имеет важное значение для повышения урожайности и обеспечения продовольственной безопасности.

Как правило, пневматическая система посева кукурузы использует привод от катящегося колеса для передачи движения; дисковый выбрасыватель семян обычно имеет вращающуюся конструкцию и начинает вращаться под действием приводной силы. Устройство обеспечивает питание вакуумного вентилятора, поддерживая вакуум в корпусе с отрицательным давлением. Между внутренней и

наружной стороны всасывающего отверстия дискового выбрасывателя создаётся перепад давления, в результате чего семена под действием давления прилипают к отверстию выброса и вращаются вместе с диском. Когда диск поворачивается к положению высевания, отрицательное давление в отверстии исчезает, и семена под воздействием центробежной силы и силы тяжести падают с диска, что соответствует одному циклу посева [1].

Французская компания Monosem разработала пневматический выбрасыватель семян [2], рама выбрасывателя семян выполнена из алюминиевого сплава, диск имеет равномерно расположенные зубья для посева. Была разработана ступенчатая зубчатая структура очистки семян, повышающая одностороннюю точность посева и выброса, итальянская компания Maschio производит пневматический выбрасыватель семян [3], приводной механизм выполнен в виде сочетания карданного вала и косозубой шестерни. Диск оснащён лопатками для семян, обеспечивая высокую текучесть посева.

Американская компания Precision производит ESET пневматический выбрасыватель семян, диск изготовлен из смоляного материала, отличается высокой точностью, малым весом и удобством монтажа. Вокруг всасывающих отверстий дискового выбрасывателя семян предусмотрены канавки и перемешивающие зубья, что дополнительно усиливает эффект перемешивания семян и улучшает качество посева [4]. Норвежская компания Kverneland разработала пневматический выбрасыватель семян Optima, в котором корпус с отрицательным давлением и дисковый выбрасыватель семян вращаются одновременно, что снижает износ механических деталей и повышает стабильность работы выбрасывателя семян [5].

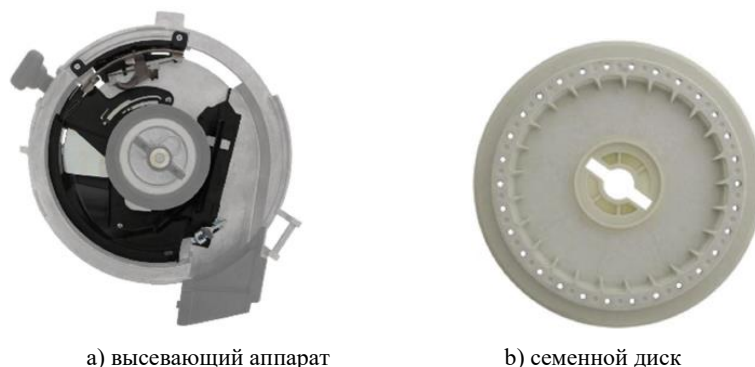


Рис. 1. Пневматический высевальной аппарат ESET с пневмоприсосом

Язги [6], используя технологию высокоскоростной съёмки, проанализировал траекторию движения семян в процессе пневматической точной посевной работы, применил метод отклика поверхности для оптимизации экспериментальной схемы, выявил основные факторы, влияющие на равномерность посева, а также провел углубленное исследование взаимосвязи между количеством всасывающих отверстий пневматического выбрасывателя семян и согласованностью межсеменного расстояния.

Для анализа влияния конструкции и рабочих параметров на показатели заполнения пневматического выбрасывателя семян, Varut [7] исследовали такие факторы, как форма отверстия, скорость вращения, отрицательное давление, площадь отверстия и масса тысячи семян в рамках экспериментального исследования. Результаты показали, что перечисленные показатели существенно влияют на коэффициент заполнения.

Основная часть

С целью анализа качества посева пневматического выбрасывателя семян, Karayel [8–9] использовали степень вакуума, скорость вращения отверстий для всасывания семян и скорость движения вперёд в качестве исследовательских показателей, применяя методы высокоскоростной съёмки и математического моделирования. Благодаря оптимизации данных был проанализирован оптимальный режим работы устройства, выявлены закономерности влияния различных показателей на эффективность выброса семян и их приоритетность.

Singh [10] разработал регрессионную математическую модель зависимости рабочих параметров от качества посева, проанализировал связь параметров конструктивного проектирования, рабочих параметров и параметров машины пневматического выбрасывателя семян с качеством посева, провёл испытания в лабораторных и полевых условиях, результаты которых показали, что прокатывание и отскок семян существенно влияют на межрасстояние.

Onal [11–12], изучая параметры конструктивного проектирования и скорость выброса пневматического выбрасывателя семян, на основе теории гидродинамики выявил зависимость между конструктивными параметрами, скоростью выброса и качеством посева, оптимизировал параметры конструкции выбрасывателя и скорость выброса с учётом кукурузных семян, а также разработал систему контроля закономерностей распределения семян, которая, комбинируя лазерный луч и компьютерную систему, способна точно определять распределение семян.

Язги и др. [13] разработали плоский и круглый выбрасыватель семян кукурузы и провели их испытания производительности. Проанализировано влияние нормы высева и угла наклона машины на характеристики высева и диапазон траектории семян. Результаты показывают, что диапазон траектории движения круглых семян немного меньше, чем у плоских; были определены оптимальные рабочие параметры для плоских и круглых зерен.

Абдолахзаре и др. [14], используя методы генетического программирования и технологию высокоскоростной съемки, создали математическую модель зависимости скорости движения пневматического выбрасывателя семян и параметров разрежения от физических характеристик семян.

Текущее состояние отечественных исследований.

В нашей стране исследования в области пневматических сеялок проводятся недостаточно и длятся сравнительно недолго. В конце 1970-х годов отечественные ученые начали изучать пневматические сеялки [15]. После этого, при государственной поддержке, исследования пневматических сеялок в нашей стране быстро развивались в научно-исследовательских и производственных организациях.

Пневматический выбрасыватель семян обладает недостаточной герметичностью отрицательной камеры. Ян Бинсин и соавторы из Китайского сельскохозяйственного университета [16–17] разработали пневматический выбрасыватель семян точного дозирования кукурузы, основанный на механическом воздействии для выброса семян и методе гравитационного дозирования, при этом механизм выброса семян в данной машине действует синхронно с механизмом отрицательной камеры, что повышает точность посева.

Ляо Цинси и др. из Центрального китайского сельскохозяйственного университета [18–19] разработали выбрасыватель семян комбинированной конструкции с совместным приводом положительного и отрицательного давления. Данное устройство использует принципы всасывания воздуха для сбора семян, положительного давления для опускания семян и их выброса, при этом проведены анализ и испытания характеристик посева, а также выполнен математический анализ и обработка экспериментальных данных с применением методов многомерной нелинейной регрессии. В итоге установлен порядок значимости факторов, влияющих на качество посева, а также исследованы параметры стабилизации давления в системе выбрасывателя семян. На основе принципа сброса избыточного давления предложена стратегия управления стабилизацией давления в системе выбрасывания семян.

При посеве кукурузных семян с использованием пневматического выбрасывателя семян часто возникают проблемы с поворотом и пропусками семян. Ян Ли и Чжан Дунсин из Китайского сельскохозяйственного университета [20] разработали дисковый выбрасыватель семян с опорной конструкцией для семян; исследования показали, что стабильность заполнения семян была повышена.

Дин Ли и соавторы из Китайского сельскохозяйственного университета [21] установили, что положение адгезии плоских кукурузных семян при пневматическом посеве значительно влияет на качество посева. Экспериментально было выявлено, что с увеличением плоскости адгезии повышается индекс соответствия посева; при увеличении боковой адгезии растёт индекс повторного выброса; а с ростом вертикального индекса адгезии увеличивается уровень пропусков посева.

Ли Юйхвань и другие из Китайского сельскохозяйственного университета [22–23] предложили метод точный посев с последующей линейной посевной технологией, заключающийся в изменении положения адгезии семян на стадии посева, проектировании механизма линейного высева в зоне пневматического точного выбрасывателя семян и последующем выполнении линейного высева; Благодаря усовершенствованному проектированию удалось эффективно решить проблемы нестабильного положения семян и их бокового разброса.

При посеве семена переходят в дискретное состояние, управление их положением является ключевым этапом для повышения качества заполнения плоских семян. Поскольку кукуруза – плоское семя, эта нерегулярная структурная особенность затрудняет контроль позы семян в процессе их выбрасывания. В настоящее время существует три метода контроля потока семян: механический размешивающий выбрасыватель семян, электромагнитное совместное воздействие вибрационного раз-

деления семян и воздушный поток, приводящий в движение транспортировку с возмущающим разделением семян [24].

Чэнь Цзинь и Ли Яомин из Университета Цзянсу [25] разработали пневматический барабанный выбрасыватель семян и использовали электромагнитную вибрационную систему подачи семян в сеялку. Применяя метод двухвариантной линейной интерполяции из математики, по формулам определяют трёхмерное направление и расстояние всасывания семян в отверстии, радиальное расстояние всасывания, а затем вычисляют объём пространства всасывания семян. На основе дискретного элементного метода проведён анализ движения семян кукурузы в условиях вибрации, выполнены испытания работы выбрасывателя семян и определены оптимальные параметры его функционирования.

Для уменьшения сопротивления движению семян в процессе заполнения и повышения качества заполнения, Ли Чжи и Чэнь Хайтао из Северо-Восточного сельскохозяйственного университета [26] всесторонне проанализировали преимущества и недостатки традиционного барабанного пневматического выбрасывателя семян, разработали сито семенного ложа с положительным потоком воздуха и с помощью программного обеспечения Fluent для моделирования воздушного потока исследовали распределение давления внутри камеры с положительным давлением и у выхода отверстий входного сита.

Заключение

Из приведённых исследований по улучшению распределения посевного материала следует, что традиционные методы выбрасывания семян являются простыми и реализуемыми, однако они наносят большой ущерб семенам, повышая уровень их повреждения. Конструкция электромагнитного вибрационного выбрасывателя семян сложна, вибрация контролируема, однако это также увеличивает нестабильность работы выбрасывателя. Пневматический выбрасыватель семян эффективно защищает семена, снижая их повреждаемость, однако исследования показывают, что этот тип выбрасывателя лучше подходит для контроля положения плоских семян. Использование воздушных потоков для управления процессом подачи и положением плоских семян является оптимальным проектным решением для пневматического выбрасывателя плоских семян.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лю Цзэци. Экспериментальные исследования и разработка пневматического выбрасывателя плоских семян, основанного на воздушном потоке / Лю Цзэци. – Шаньдунский политехнический университет, 2023.
2. Сеялка с точным дозатором Monosem [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.monosem.com/precision-planters/single-seed-planter/pneumatic-planter/monoshox-nx-m-me/> (дата обращения: 20 марта 2023).
3. Сеялка Maschio. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.maschio.co.uk/products/precision-drills/mtr-precision-seed-drill/> (дата обращения: 20 марта 2023).
4. Система дозирования семян Precision Planting eSet [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.precisionplanting.com/#products/eset/> (дата обращения: 20 марта 2023).
5. Пневматическая точная сеялка Kverneland Optima. [Электронный ресурс]. – URL: <https://ien.kverneland.com/Seeding-Equipment/pneumatic-precision-drills/kverneland-optima-r> (дата обращения: 20 марта 2023).
6. Yazgi, A. Измерение равномерности распределения семян высевашевого аппарата точного высева в зависимости от количества отверстий на вакуумном диске / A. Yazgi A. Degirmencioglu // Измерение. – 2014. – № 56. – С. 128–135.
7. Barut, Z B. Влияние различных эксплуатационных параметров на удержание семян в высевашевом аппарате одинарного высева пневматической сеялки / Barut Z B., Oezmerzi A. // Турецкий журнал сельского хозяйства и лесного хозяйства, 2004, 28(6): 435–441.
8. Karayel D., Barut Z B., Özmerzi A. Математическое моделирование вакуумного давления в высевашевом аппарате точного высева. Инженерная биология, 2004, 87(4): 437–444.
9. Karayel D. Работа модифицированного вакуумного высевашевого аппарата точного высева для посева кукурузы и сои по нулевой технологии. Исследование почвы и обработки почвы, 2009, 104(1): 121–125.
10. Singh R C., Singh G., Saraswat D C. Оптимизация конструктивных и эксплуатационных параметров пневматического высевашевого устройства для посева семян хлопчатника. Инженерная биология, 2005, 92(4): 429–438.
11. Önal O., Önal I. Разработка компьютеризированной системы для оценки точности распределения семян в ряду. Турецкий журнал сельского хозяйства и лесного хозяйства, 2009, 33(2): 99–109.
12. Önal I., Deirmenciolu A., Yazgi A. Оценка точности распределения семян вакуумного высевашевого аппарата точного высева на основе теоретических расчетов и экспериментов. Турецкий журнал сельского хозяйства и лесного хозяйства, 2012, 36(2): 133–144.
13. Yazgi A., Taylor R K., Navid H., et al. Моделирование работы и характеристик высева семян высевашевым аппаратом сеялки для кукурузы с использованием методологии поверхности отклика. Прикладная инженерия в сельском хозяйстве, 2017, 33(2): 181–189.
14. Abdolazhare Z., Mehdizadeh S A. Нелинейное математическое моделирование равномерности распределения семян пневматической сеялки с использованием генетического программирования и обработки изображений. Нейронные вычисления и приложения, 2018, 29(2): 363–375.
15. Чжао Липин. Современное состояние исследований и разработки прецизионных выбрасывателей семян / Чжао Липин, На Сяоян // Сельскохозяйственные технологии и оборудование. – 2018. – № (6). – С. 30–31.

16. Проектирование пневматического прецизионного выбрасывателя семян кукурузы с дисковым выбрасывателем и синхронно вращающейся камерой разрежения / Янь Бинсинь, Чжан Дунсин, Цуй Тао [и др.] // Журнал сельскохозяйственной инженерии. – 2017. – № 33(23). – С. 15–23.
17. Янь Бинсинь. Исследование проектирования пневматического прецизионного выбрасывателя семян с синхронным вращением диска и камеры / Янь Бинсинь. – Пекин: Китайский сельскохозяйственный университет, 2018.
18. Исследование факторов, влияющих на эффективность всасывания семян в пневматическом прецизионном выбрасывателе для мелких семян / Ляо Итхао, Ляо Цинси, Ван Лэй [и др.] // Журнал сельскохозяйственной инженерии. – 2018. – №34(24). – С. 10–17.
19. Метод стабилизации давления и экспериментальное исследование пневматической системы выбрасывателя семян точного прямого посева рапса / Ляо Итхао, Шу Цайся, Ляо Цинси [и др.] // Журнал сельскохозяйственной инженерии. – 2017. – 33(15). – С. 49–56.
20. Комбинированный точный выбрасыватель семян кукурузы с пневматическим всасыванием и механическим вспомогательным подсевом / Ян Ли, Ши Сун, Цуй Тао [и др.] // Журнал сельскохозяйственной техники. – 2012. – №43(S1). – С. 48–53.
21. Анализ влияния позы адгезии пневматического выбрасывателя семян кукурузы на посевные показатели // Дин Ли, Ян Ли, Чжан Дунсин [и др.] // Журнал сельскохозяйственной техники. – 2021. – №52(7). – С. 40–50.
22. Анализ и экспериментальное исследование процесса линейного посева воздухозаборного высокоскоростного точного выбрасывателя семян кукуруз / Ли Юйхвань, Ян Ли, Чжан Дунсин [и др.] // Журнал сельскохозяйственной инженерии / – 2020 / – № 36(9). – С. 26–35.
23. Анализ посевных характеристик и оптимизация конструкции воздухозаборного высокоскоростного точного выбрасывателя семян кукуруз / Ли Юйхвань, Ян Ли, Чжан Дунсин [и др.] // Журнал сельскохозяйственной инженерии – 2022. – № 38(8). С. 1–11.
24. Ши Сун. Проектирование и экспериментальное исследование комбинированного пневматического точного выбрасывателя семян кукурузы с отверстиями / Ши Сун. – Пекин: Китайский сельскохозяйственный университет, 2015.
25. Динамический анализ процесса всасывания семян воздухозаборным барабанным выбрасывателем семян / Чжао Чжан, Ли Яоминг, Чэнь Цзин [и др.] // Журнал сельскохозяйственной инженерии. – 2011. – Т. 27, №7. – С. 112–116.
26. Ли Чжи. Оптимизация конструкции и экспериментальное исследование пневматического выбрасывателя семян со всасывающим барабаном для сои / Ли Чжи. – Хэйлунцзян: Северо-восточный сельскохозяйственный университет, 2020.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ МИКРОВОЛНОВОЙ ПРЕДПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ ЗЕРНОБОБОВЫХ КУЛЬТУР И АНАЛИЗ ЕЕ ПАРАМЕТРОВ

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 15.09.2025)

Повышение урожайности и стрессоустойчивости сельскохозяйственных культур остается одной из приоритетных задач современного земледелия. В условиях изменения климата, дефицита водных ресурсов и роста фитопатогенной нагрузки особое значение приобретает качество семян, которое напрямую определяет их всхожесть, энергию прорастания и последующую продуктивность растений. Научно обосновано, что предпосевная обработка семян играет ключевую роль в активации физиологических процессов, повышении полевой всхожести и формировании более жизнеспособных всходов. Кроме того, такие процедуры позволяют существенно сократить распространение инфекций и снизить риск поражения растений болезнями уже на ранних этапах вегетации, что в конечном итоге обеспечивает стабильное повышение урожайности.

Традиционные способы обработки – химическое протравливание, термостатирование в горячей воде, конвективная тепловая сушка – применяются в практике достаточно широко. Однако каждый из них имеет ряд существенных ограничений: высокая энергозатратность и длительность процесса, использование значительного объема химических реагентов, необходимость строгого контроля дозировок и утилизации отходов. Это не только увеличивает себестоимость технологии, но и создает экологические риски, что противоречит современным требованиям устойчивого сельского хозяйства.

В этом контексте все большую актуальность приобретает микроволновая обработка семян, основанная на сочетании теплового и нетеплового воздействия электромагнитного поля. Исследования показывают, что при обработке пшеницы и ячменя наблюдается ускоренное прорастание и снижение зараженности грибковыми инфекциями. В случае кукурузы и сои технология способствует формированию более мощной корневой системы и лучшей адаптации растений к засухе. Метод обеспечивает равномерное нагревание семенного материала, инактивацию патогенной микробиоты и при этом сохраняет высокую биологическую ценность семян. Отсутствие химических остатков и многократное сокращение времени обработки делают микроволновую технологию перспективным направлением модернизации оборудования и внедрения экологически чистых решений в системе предпосевной подготовки семян.

Ключевые слова: микроволновая обработка; предпосевная стимуляция; обеззараживание семян; зернобобовые сельскохозяйственные культуры.

Increasing crop yields and stress resistance remains a priority in modern agriculture. In the face of climate change, water shortages, and increasing phytopathogenic pressure, seed quality is particularly important, directly determining germination, vigor, and subsequent plant productivity. It has been scientifically proven that pre-sowing seed treatment plays a key role in activating physiological processes, increasing field germination, and developing more viable seedlings. Furthermore, such procedures significantly reduce the spread of infections and decrease the risk of plant diseases early in the growing season, ultimately ensuring a consistent increase in yield. Traditional seed treatment methods—chemical dressing, hot water thermostating, and convective heat drying—are widely used in practice. However, each has a number of significant limitations: high energy consumption and process time, the use of significant amounts of chemical reagents, and the need for strict dosage control and waste disposal. This not only increases the cost of the technology but also creates environmental risks, which conflicts with modern sustainable agriculture requirements.

In this context, microwave seed treatment, based on a combination of thermal and non-thermal electromagnetic fields, is becoming increasingly relevant. Research shows that microwave seed treatment accelerates germination and reduces fungal infections in wheat and barley. In the case of corn and soybeans, the technology promotes the development of a more robust root system and better adaptation of plants to drought. The method ensures uniform heating of the seed, inactivation of pathogenic microbiota, while preserving the high biological value of the seeds. The absence of chemical residues and a significant reduction in processing time make microwave technology a promising approach for modernizing equipment and implementing environmentally friendly solutions in pre-sowing seed preparation systems.

Key words: microwave treatment; pre-sowing stimulation; seed disinfection; grain legume crops.

Введение

Качество семян напрямую определяет урожайность и товарные свойства продукции растениеводства. Еще большую актуальность этот показатель приобретает в условиях изменения климата, дефицита водных ресурсов и роста фитопатогенной нагрузки.

Предпосевная обработка семенного материала рассматривается как важнейшая агротехническая мера, обеспечивающая стабильную и высокую продуктивность, а также комплексную профилактику заболеваний и повышение жизнеспособности семенного материала. Научно обосновано [1], что предпосевная обработка семян играет ключевую роль в активации физиологических процессов, повышении полевой всхожести и формировании более жизнеспособных всходов. Кроме того, такие процедуры позволяют существенно сократить распространение инфекций и снизить риск поражения

растений болезнями уже на ранних этапах вегетации, что в конечном итоге обеспечивает стабильное повышение урожайности.

Распространенные методы, к числу которых относятся химическое протравливание, дражирование, инкрустация, горячее водное обеззараживание и конвективная сушка, достаточно широко применяются на практике и доказали свою эффективность. Однако каждый из них имеет ряд существенных ограничений: высокая энергозатратность и длительность процесса, использование значительного объема химических реагентов, необходимость строгого контроля дозировок и утилизации отходов [2, 3]. Это не только увеличивает себестоимость технологии производства семян, но и создает экологические риски, что противоречит современным требованиям устойчивого развития сельского хозяйства и его экологичности.

В этом контексте все большую актуальность приобретает микроволновая обработка семян, основанная на сочетании теплового и нетеплового воздействия электромагнитного поля. Исследования показали, что при обработке пшеницы и ячменя наблюдается ускоренное прорастание и снижение зараженности грибковыми инфекциями [4]. В случае кукурузы и сои технология способствует формированию более мощной корневой системы и лучшей адаптации растений к засухе, а также повышению энергии прорастания и устойчивости к неблагоприятным факторам среды [5]. Метод обеспечивает равномерное нагревание семенного материала, инактивацию патогенной микробиоты и при этом сохраняет высокую биологическую ценность семян. Отсутствие химических остатков и многократное сокращение времени обработки делают микроволновую технологию перспективным направлением модернизации оборудования и внедрения экологически чистых решений в системе предпосевной подготовки семян.

За последние годы микроволновая обработка благодаря сверхбыстрому нагреву, сокращенному времени воздействия, отсутствию химических остатков и технологической интегрируемости (рис. 1) привлекла значительное внимание исследователей, продемонстрировав существенный потенциал в предпосевной подготовке семян [6, 7].

<p style="text-align: center;">Традиционные методы предпосевной обработки</p> <ul style="list-style-type: none"> • Химическое протравливание • Термостабилизация в горячей воде • Конвективная тепловая сушка • Дражирование • Инкрустация 	<p style="text-align: center;">Перспективы микроволновой обработки</p> <ul style="list-style-type: none"> • Сочетание теплового и нетеплового воздействия • Ультракороткое и равномерное нагревание • Инактивация патогенной микробиоты
<p style="text-align: center;">Недостатки</p> <ul style="list-style-type: none"> • Высокая энергозатратность и продолжительность процесса • Необходимость использования больших объемов химических веществ 	<p style="text-align: center;">Преимущества</p> <ul style="list-style-type: none"> • Сокращение времени обработки • Отсутствие химических остатков • Экологическая безопасность и высокая эффективность

Рис. 1. Перспективы микроволновой обработки семян для улучшения их качества

Несмотря на достигнутые результаты, подавляющее большинство работ сосредоточено на лабораторных испытаниях, тогда как исследования, направленные на изучение различных культур, уточнение режимов обработки и разработку инженерных решений для практического применения, все еще недостаточно развиты.

Целью представленных материалов и исследований является систематизация и критический анализ современных данных о предпосевной микроволновой обработке семян зернобобовых культур. В фокусе анализа находятся биофизические механизмы взаимодействия электромагнитного поля с семенным материалом, а также характеристики параметров и режимов воздействия. Особое внимание уделено рассмотрению тепловых и нетепловых эффектов, формирующихся в семенах под действием микроволнового излучения, с целью обоснования их влияния на повышение посевных и качественных показателей семян, а также причинам, сдерживающим внедрение этой технологии в их производство.

Основная часть

Микроволны представляют собой электромагнитное излучение диапазона частот от 300 МГц до 300 ГГц. Наиболее широко в агротехнологиях используется промышленный диапазон 2,45 ГГц, кото-

рый обеспечивает эффективное поглощение энергии водой и другими полярными молекулами. Основным физическим механизмом является диэлектрический нагрев. Под действием переменного электромагнитного поля молекулы воды, жиры и белки в семенах, обладающие дипольным моментом, начинают быстро изменять свое ориентационное положение, стремясь согласоваться с направлением этого поля. Высокая частота колебаний (миллиарды раз в секунду) приводит к интенсивному трению между молекулами, что сопровождается выделением тепла в объеме материала. В отличие от конвективного или контактного нагрева, тепло при микроволновом воздействии возникает внутри семени, что обеспечивает: равномерное распределение температуры в объеме; ультракороткое время нагрева; отсутствие перегрева поверхности при достаточном контроле мощности.

Кроме теплового действия, микроволновое поле оказывает и нетепловые эффекты: изменение проницаемости клеточных мембран; активация ферментативных систем; стимуляция обменных процессов на клеточном уровне.

Данные эффекты способствуют прерыванию покоя семени и повышению его энергии прорастания. Эти же явления рассматриваются как возможные факторы повышения стрессоустойчивости семян [8].

Комбинация тепловых и нетепловых эффектов обеспечивает инактивацию спор грибов, бактерий и вирусов, находящихся на поверхности и внутри семян, тем самым снижая риск последующих заболеваний растений [9]. При этом не образуются химические остатки, как при протравливании, что является экологическим преимуществом метода.

Таким образом, микроволновая обработка семян основана на преобразовании электромагнитной энергии в тепловую внутри влажных структур семенного материала, сопровождаемую дополнительными нетепловыми эффектами, которые усиливают физиологическую активность и снижают инфекционную нагрузку.

Синергия теплового и нетеплового действий обеспечивает одновременное повышение жизнеспособности и обеззараживание семян, а совокупный механизм проиллюстрирован на рис. 2.



Рис. 2. Схематическое представление механизма действия микроволновой предпосевной обработки

За последние годы отечественные и зарубежные исследователи добились существенных успехов в изучении воздействия микроволн на семена зерновых и бобовых культур. Экспериментальные данные показывают, что кратковременная обработка семенного материала сельскохозяйственных культур микроволнами невысокой мощности повышает их лабораторную всхожесть на 5–12 %, снижает инфицированность грибами видов *Fusarium* и *Alternaria* более чем на 80 %, способствует формированию мощной корневой системы и улучшает адаптацию растений к засухе и другим стрессам [10, 11].

Достижимый эффект определяется не только сочетанием мощности, частоты и продолжительности воздействия, но также исходным содержанием влаги в семенах, схемой пакетной обработки и однородностью распределения микроволнового поля [12].

Причинами ограниченного внедрения микроволновой обработки семян в сельском хозяйстве являются:

– *недостаточная теоретическая база и стандартизация этого процесса*: отсутствие полноценных моделей, связывающих физические параметры микроволн (мощность, частоту, время воздействия) с биологической реакцией семян; недостаток данных для унификации процесса;

– *технические сложности масштабирования*: однородное распределение микроволнового поля в больших объемах семян трудно обеспечить, что приводит к локальному перегреву или недостаточному прогреву отдельных семян; разработка промышленных установок, способных безопасно и эффективно обрабатывать большие партии семян, требует значительных инвестиций и инженерных решений;

– *отсутствие экономической обоснованности на текущем этапе*: внедрение микроволновых установок требует первоначальных капиталовложений и переоборудования линий подготовки семян; для фермеров и производителей семян традиционные методы дешевле и привычнее, несмотря на экологические недостатки.

– *ограниченность данных по долгосрочному эффекту*: недостаточно исследований, оценивающих влияние микроволн на урожайность, стрессоустойчивость и жизненный цикл растений в полевых условиях, что снижает доверие к технологии со стороны агропроизводителей.

– *слабая интеграция с существующими агротехнологиями*: микроволновая обработка не всегда свободно интегрируется в существующие линии предпосевной подготовки семян; требует разработки новых стандартов контроля влажности, температуры и времени обработки семян, а также обучения персонала;

– *научно-технологический разрыв*: большинство исследований сосредоточено на лабораторных экспериментах, тогда как промышленное внедрение требует инженерного, экономического и агрономического обоснования.

По сравнению с традиционными химическими технологиями предпосевной обработки семян микроволновая технология обладает заметными преимуществами в эффективности, экологической безопасности и возможности интеграции оборудования, демонстрируя при этом широкую универсальность. Тем не менее морфологические различия семян различных культур и неоднородное распределение влаги обуславливают вариативность оптимальных режимов, а неравномерность микроволнового поля может приводить к локальному перегреву или недостаточному прогреву отдельных фракций. Эти факторы остаются ключевыми ограничениями при переходе к промышленному использованию данной технологии.

Нами была произведена сравнительная характеристика различных методов предпосевной обработки семян (таблица). Представленные в этой таблице соотношения нужно рассматривать не только как теоретические преимущества, но и как практические критерии целесообразности внедрения микроволновой линии предпосевной подготовки семян. Короткое время воздействия подтверждается удержанием стабильного температурного профиля без признаков поверхностного потемнения. Эффективность обеззараживания проявляется в уменьшении доли контаминированных проб при неизменной или повышенной энергии прорастания. Экологическая нейтральность устанавливается отсутствием химических остатков в технологической цепочке подготовки семян.

Сравнение микроволновой обработки с распространенными методами обеззараживания семян

Метод	Время обработки	Эффективность обеззараживания	Влияние на всхожесть	Экологическое воздействие	Стоимость
Химическое протравливание	Средняя	Высокая	Возможное угнетение	Остаточные химические вещества	Средняя
Горячее водное обеззараживание	Длительное	Средняя	Риск термического повреждения	Отсутствие остаточных веществ	Средне-высокая
Конвективная термическая сушка	Длительное	Средняя	Возможная избыточная потеря влаги	Отсутствие остаточных веществ	Высокая
Микроволновая обработка	Краткое (секундный диапазон)	Высокая	Повышение или сохранение	Отсутствие остаточных веществ	Средняя

В инженерном плане эти положения реализуются через последовательную настройку СВЧ – активатора в поточный процесс. Конфигурация встраиваемого узла предполагает волновод с выравниванием распределения поля, вращающийся стол или шнековый питатель, а также температурный контроль в массе материала при помощи инфракрасного пирометра и термодпары, установленной в репрезентативной фракции. Система контроля качества включает экспресс-оценку температурного профиля партии, определение лабораторной всхожести и микологические испытания. Требования безопасности обеспечиваются экранированием камеры, регулярным контролем утечек СВЧ и соблюдением норм охраны труда, а оценка посевных показателей выполняется в соответствии с методиками ISTA.

Заключение

Микроволновая предпосевная обработка представляет собой физический метод, одновременно обеспечивающий обеззараживание и физиологическую активацию семян. Технология позволяет в кратчайшие сроки существенно снизить инфицированность семенного материала патогенами и в большинстве случаев сохранить либо повысить показатели всхожести. По сравнению с традиционными способами метод отличается отсутствием химических остатков, высокой эффективностью. Многочисленные отечественные и зарубежные исследования подтверждают, что при рациональном подборе мощности, времени воздействия и влажности семян можно добиться эффективного фитосанитарного эффекта без ущерба для жизнеспособности семян.

Несмотря на очевидные преимущества микроволновой обработки семян, данный метод пока не получил широкого внедрения в сельском хозяйстве. Основными причинами этого являются недостаточная теоретическая база и отсутствие универсальных моделей, связывающих параметры электромагнитного воздействия с биологической реакцией семян, а также трудности масштабирования технологии на промышленные объемы. Дополнительным сдерживающим фактором является ограниченность данных о долгосрочном влиянии микроволн на урожайность и стрессоустойчивость растений. Кроме того, слабая интеграция микроволновой обработки с существующими агротехнологическими линиями требует разработки новых стандартов контроля процессов и дополнительного обучения персонала. Решение этих проблем требует комплексного подхода, включающего фундаментальные исследования, инженерные разработки и агрономические испытания.

Дальнейшие исследования следует сосредоточить на повышении энергетической эффективности микроволновых установок, обеспечении однородности распределения электромагнитного поля и разработке адаптивных режимов для различных культур, что ускорит внедрение данной технологии в аграрное производство в качестве альтернативы традиционным технологиям предпосевной их обработки и стимулирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Jatana B. S., Grover S., Ram H., Baath G. S. Seed Priming: Molecular and Physiological Mechanisms Underlying Biotic and Abiotic Stress Tolerance // *Agronomy*. – 2024. – Vol. 14, № 12. – P. 2901.
2. Nelson S. O. Microwave and radio frequency applications in agriculture // *Food Engineering Reviews*. – 2011. – Vol. 3, № 3–4. – P. 143–158.
3. Brodie G., Jacob M. V., Farrell P. Microwave technologies as part of an integrated weed management strategy: A review // *International Journal of Agronomy*. – 2012. – Article ID 636905. – DOI: 10.1155/2012/636905.
4. Benabderrahim M. A., Bettaieb I., Hannachi H., Rejili M., Dufour T. Cold plasma treatment boosts barley germination and seedling vigor: Insights into soluble sugar, starch, and protein modifications // *Journal of Cereal Science*. – 2024. – Vol. 116. – P. 103852.
5. Recek N., et al. Germination and Growth of Plasma-Treated Maize Seeds Planted in Fields and Exposed to Realistic Environmental Conditions // *International Journal of Molecular Sciences*. – 2023. – Vol. 24, № 7. – P. 6868.
6. Курзенков, С. В. Изучение факторов, влияющих на урожайность сельскохозяйственных культур, и мероприятия по улучшению этого показателя / С. В. Курзенков, Цзюньянь Лу // *Актуальные научно-технические и экологические проблемы мелиорации земель: материалы Международной научно-практической конференции / редкол.: В. И. Желязко (гл. ред.) [и др.]*. – Горки: БГСХА, 2025. – С. 92–98.
7. Wu X., Li Y., Gao H., et al. Influence of microwave treatment on seed vigor and fungal infection in maize // *Crop Protection*. – 2019. – Vol. 119. – P. 16–22.
8. Abubakar M., Alghanem S. M. S., Alhailoul H. A. S., et al. Microwave seed priming and ascorbic acid assisted phytoextraction of heavy metals through spinach // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. – 2024. – Vol. 282. – P. 116731.
9. Jiao S., Deng Y., Yang X., et al. Effects of microwave treatment on germination and seedling growth of wheat seeds // *Journal of Cereal Science*. – 2018. – Vol. 83. – P. 110–116.
10. Zhang H., Xu F., Wu X., et al. Microwave-assisted seed priming improves germination and seedling growth in soybean // *Industrial Crops and Products*. – 2020. – Vol. 154. – P. 112696. – DOI: 10.1016/j.indcrop.2020.112696.
11. Vian A., Davies E., Gendraud M., Bonnet P. Plant responses to high frequency electromagnetic fields // *BioMed Research International*. – 2016. – Article ID 1830262. – DOI: 10.1155/2016/1830262.
12. Kaur S., Kapoor S., Sandhu J. S. Physical and biochemical changes in wheat seeds induced by microwave treatment // *Plant Growth Regulation*. – 2005. – Vol. 47, № 3. – P. 201–210.

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ ОБЗОР ТЕХНОЛОГИЙ ОТБОРА ПОЧВЕННЫХ ПРОБ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОГО ВНЕСЕНИЯ УДОБРЕНИЙ В УСЛОВИЯХ БЕЛАРУСИ

В. С. АСТАХОВ, В. А. ЛЕВЧУК, Г. О. ИВАНЧИКОВ

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

(Поступила в редакцию 15.09.2025)

В контексте Беларуси внедрение точного земледелия активно продвигается на государственном уровне: в 2021 году был объявлен план по полному охвату страны системой прецизионного земледелия в течение пяти лет, с пилотными проектами в 2025–2026 годах, фокусирующимися на оптимизации внесения удобрений и использовании навигационных систем для повышения эффективности. Страна обладает высоким потенциалом для таких технологий благодаря наличию более 1380 специализированных хозяйств и разработкам, таким как мобильное приложение «Сам себе агроном» от Национальной академии наук, а также международному сотрудничеству, включая изучение китайских инноваций в использовании дронов и сенсоров. В 2024 году сельскохозяйственный сектор Беларуси показал рост на 5.1 %, особенно в животноводстве, что подчеркивает необходимость интеграции прецизионных методов для дальнейшего развития.

Настоящая статья предлагает комплексный обзор современных технологий отбора почвенных проб, включая зональное управление по рельефу и электропроводности, сеточный отбор (grid sampling), использование датчиков влажности (TDR, FDR, capacitive), цифрового картирования и автоматизированных систем, таких как Radicle Agronomics, их сравнительный анализ по критериям точности, стоимости и применимости, а также рекомендации по применению в белорусском сельском хозяйстве. Это позволит ответить на потребности аграриев, руководителей хозяйств и специалистов, предоставив практические инструменты для адаптации прецизионных методов к местным условиям, способствуя устойчивому развитию отрасли и повышению конкурентоспособности белорусского агросектора на глобальном рынке.

Ключевые слова: минеральные удобрения, точное земледелие, сельское хозяйство.

In the context of Belarus, the implementation of precision farming is being actively promoted at the state level: in 2021, a plan was announced to fully cover the country with a precision farming system within five years, with pilot projects in 2025–2026 focusing on optimizing fertilizer application and using navigation systems to increase efficiency. The country has significant potential for such technologies, thanks to its more than 1,380 specialized farms and developments such as the "Be Your Own Agronomist" mobile app from the National Academy of Sciences, as well as international collaboration, including exploring Chinese innovations in the use of drones and sensors. In 2024, Belarus's agricultural sector grew by 5.1%, particularly in livestock farming, highlighting the need to integrate precision methods for further development.

This article provides a comprehensive overview of modern soil sampling technologies, including zonal management based on relief and electrical conductivity, grid sampling, the use of moisture sensors (TDR, FDR, capacitive), digital mapping, and automated systems such as Radicle Agronomics. A comparative analysis of these technologies is provided based on accuracy, cost, and applicability, along with recommendations for their application in Belarusian agriculture. This will address the needs of farmers, farm managers, and specialists by providing practical tools for adapting precision methods to local conditions, promoting sustainable development and increasing the competitiveness of the Belarusian agricultural sector in the global market.

Key words: mineral fertilizers, precision farming, agriculture.

Введение

Точное земледелие, также известное как прецизионное земледелие или site-specific crop management, представляет собой современный подход к управлению сельскохозяйственным производством, который использует передовые технологии для точного учета пространственной и временной изменчивости полей, оптимизации использования ресурсов и повышения общей эффективности. Этот метод включает интеграцию данных из сенсоров, спутниковых систем, дронов, GPS-навигации и аналитики больших данных, позволяя фермерам применять удобрения, воду, семена и пестициды именно там и в тех количествах, где они необходимы, минимизируя отходы и максимизируя урожайность. В глобальном масштабе точное земледелие становится ключевым инструментом для повышения эффективности сельскохозяйственного производства, особенно в условиях ограниченных ресурсов, таких как вода и плодородные почвы, а также растущих экологических вызовов, включая изменение климата, деградацию земель и необходимость снижения углеродного следа агропромышленности [1, 4]. Согласно исследованиям, внедрение таких технологий может повысить прибыльность ферм на 10–20 %, сократить использование удобрений и пестицидов на 15–30 %, а также способствовать сохранению окружающей среды за счет более эффективного распределения ресурсов, таких как земля, вода, топливо и химикаты. Однако несмотря на очевидные преимущества, переход к точному земледелию сталкивается с вызовами, включая высокие начальные затраты на оборудование, необходи-

мость в квалифицированных специалистах и доступ к надежным данным, что особенно актуально для развивающихся регионов.

В Беларуси, где сельское хозяйство играет значительную роль в экономике, составляя около 7–8 % ВВП и обеспечивая продовольственную безопасность, точное земледелие приобретает особую актуальность в контексте специфических почвенно-климатических условий. Здесь преобладают подзолистые (подзолистые) почвы, которые занимают более 70 % сельскохозяйственных угодий, характеризуясь низкой естественной плодородностью, высоким уровнем кислотности (рН часто в диапазоне 4.4–5.5, а иногда и ниже, достигая сильно кислых значений от 3.99 до 6.67) и бедностью питательными веществами, такими как азот, фосфор и калий [8]. Эти почвы, типичные для Полесья и северных регионов страны, формируются под влиянием влажного климата и лесной растительности, что приводит к вымыванию полезных элементов в нижние горизонты и накоплению кислот. В результате, без надлежащего управления, такие почвы демонстрируют низкую урожайность и повышенную уязвимость к эрозии, засолению и загрязнению. За последние 50 лет, благодаря мелиоративным работам и внесению известковых материалов, в некоторых районах наблюдается сдвиг от слегка кислых к нейтральным значениям рН (например, с 5.5–6.0 до более высоких показателей в 68.8% обследованных территорий), но общая проблема сохраняется, требуя постоянного мониторинга и корректировки. Правильный отбор почвенных проб для дифференцированного внесения удобрений имеет решающее значение, поскольку позволяет выявить локальные вариации в кислотности, содержании макро- и микроэлементов, что критично для минимизации затрат на агрохимикаты и повышения урожайности на 15–25 % без ущерба для экосистемы. Эти почвы требуют тщательного управления питательными веществами, включая точное дозирование извести для нейтрализации кислотности и удобрений для баланса элементов, чтобы избежать перерасхода ресурсов и предотвратить загрязнение грунтовых вод. Отсюда цель статьи – комплексный анализ современных технологий отбора почвенных проб, а также рекомендации по применению их в белорусском сельском хозяйстве.

Основная часть

1. Значение отбора почвенных проб в точном земледелии

Отбор почвенных проб представляет собой фундаментальный процесс в системе точного земледелия, служащий основой для создания высокоточных электронных карт содержания питательных веществ, кислотности и других агрохимических показателей, которые позволяют применять удобрения, известь и другие агрохимикаты с учетом пространственной вариабельности почвенного покрова, минимизируя перерасход ресурсов и повышая урожайность на 15–30 % [1]. Этот подход подразумевает систематический сбор образцов почвы с использованием GPS-координат для привязки данных, что обеспечивает детальное картирование полей и выявление зон с различной продуктивностью, способствуя оптимизации затрат на удобрения и снижению экологического воздействия за счет предотвращения вымывания нитратов в грунтовые воды. В глобальном контексте точное земледелие, опирающееся на качественный отбор проб, позволяет повысить эффективность производства при ограниченных ресурсах, интегрируя данные из сенсоров, спутников и лабораторных анализов для создания цифровых моделей полей, что особенно актуально в условиях климатических изменений и растущего спроса на продовольствие.

В условиях подзолистых (подзолических) почв, характерных для Беларуси и занимающих значительную часть сельскохозяйственных угодий (до 70–80 % в северных и центральных регионах), высокая кислотность (рН часто в диапазоне 4.5–5.5, с отдельными горизонтами до 2.7–3.7) и низкое содержание питательных веществ, таких как азот, фосфор, калий, кальций и магний, требуют детального анализа для предотвращения избыточного или недостаточного внесения удобрений и мелиорантов [8]. Эти почвы, формирующиеся под влиянием влажного климата, лесной растительности и песчаных отложений, подвержены вымыванию полезных элементов в нижние слои, что приводит к низкой буферной способности, медленному выветриванию и уязвимости к эрозии, делая их малопродуктивными для интенсивного земледелия без корректировки. В Беларуси, где такие почвы преобладают в Полесье и на задровых равнинах, отбор проб позволяет выявить внутривидовую изменчивость кислотности и питательных веществ, коррелирующую с рельефом и высотой над уровнем моря, что критично для дифференцированного внесения извести и удобрений, как показано в исследованиях 2025 года на тестовых полигонах. Без тщательного отбора проб риск алюминиевой токсичности и дефицита микроэлементов возрастает, что снижает урожайность и требует дополнительных мелиоративных мер, таких как известкование для повышения рН и улучшения структуры почвы.

Это не только повышает экономическую эффективность за счет снижения затрат на удобрения (до 20–30 % экономии) и увеличения прибыли ферм, но и снижает экологическую нагрузку путем минимизации загрязнения окружающей среды нитратами, фосфатами и тяжелыми металлами, что особенно важно в контексте устойчивого развития и национальных стратегий Беларуси по цифровизации агросектора [4]. Внедрение таких практик в Республике Беларусь, поддерживаемое государственными программами по точному земледелию (включая создание цифровых платформ и пилотные проекты в 2025–2026 годах), способствует сохранению биоразнообразия, улучшению качества почв и соответствию международным стандартам устойчивого сельского хозяйства, таким как цели ООН по устойчивому развитию. В итоге, отбор почвенных проб становится ключевым инструментом для перехода от традиционного к прецизионному земледелию, обеспечивая баланс между производительностью, экономикой и экологией в условиях специфических белорусских почв.

2. Обзор технологий отбора почвенных проб

Сеточный метод отбора проб

Сеточный метод предполагает деление поля на равные ячейки (обычно от 0,25 до 5 акров) с отбором проб в центре каждой ячейки или в нескольких точках внутри нее [5]. Компания Ag-Chem Equipment Co., Inc. рекомендует использовать ячейки размером 2,5 акра или меньше, предпочтительно 1 акр для орошаемых полей или регионов с осадками не менее 635 мм в год [1]. Для реализации метода применяются устройства, такие как GridSampler, и программное обеспечение SGIS, обеспечивающее точную геопривязку проб с помощью GPS [1].

Преимущества: Высокая точность в определении вариабельности почвенных свойств. Подходит для полей с высокой неоднородностью.

Недостатки: Высокие затраты на отбор и анализ проб. Требуется значительных временных ресурсов.

Оборудование: GPS-устройства. Почвенные зонды или буры. Программное обеспечение для обработки данных (например, SGIS).

Зональный метод отбора проб

Зональный метод основан на делении поля на зоны с аналогичными характеристиками, такими как тип почвы, рельеф, история урожайности или содержание органического вещества [5]. Пробы отбираются внутри каждой зоны, что снижает общее количество необходимых анализов.

Преимущества: Более экономичен по сравнению с сеточным методом. Эффективен для полей с известными паттернами вариабельности.

Недостатки: Требуется предварительных данных для определения зон. Может упустить мелкомасштабную вариабельность.

Оборудование: GPS для геопривязки. Датчики для определения зон (например, датчики электропроводности почвы). Программное обеспечение для анализа данных.

Сенсорный метод отбора проб

Сенсорный метод использует датчики для измерения свойств почвы, таких как электропроводность, которая коррелирует с текстурой, влажностью и содержанием питательных веществ [6]. Эти данные могут направлять отбор проб или непосредственно использоваться для создания карт переменного внесения удобрений.

Преимущества: Снижает количество необходимых проб. Обеспечивает непрерывные данные по полю.

Недостатки: Высокая начальная стоимость датчиков. Требуется калибровки и технической экспертизы.

Оборудование: Датчики электропроводности (например, EM38, Veris). Регистраторы данных. Программное обеспечение для интерпретации.

Автоматизированный метод отбора проб

Автоматизированные системы, такие как Falcon, используют машины для сбора проб с точной геопривязкой через GPS. Это повышает эффективность и консистентность процесса.

Преимущества: Высокая скорость и точность. Снижение человеческого фактора.

Недостатки: Высокая стоимость оборудования. Необходимость технического обслуживания.

Оборудование: Автоматизированные пробоотборники. GPS-системы.

3. Сравнение затрат и эффективности методов

Затраты на отбор почвенных проб зависят от метода, размера ячеек или зон, а также используемого оборудования. Ниже приведена таблица, основанная на исследовании [7], сравнивающем три метода в различных условиях.

Результаты способов отбора почвенных проб

Площадь	Метод	Общая стоимость (\$)	Затраты на рабочую силу (\$/га)	Затраты на анализ (\$)	Затраты на датчики/карты (\$)
A1	Зональный (ZME)	52,611.18	6.88	81.21	0
A1	Сеточный (GS)	60,170.42	10.31	4,277.36	0
A1	Сенсорный (OS)	60,323.98	6.88	135.35	774.10
A2	Зональный (ZME)	5,085.28	6.88	81.22	0
A2	Сеточный (GS)	6,028.69	10.31	622.65	0
A2	Сенсорный (OS)	7,668.95	6.88	135.35	93.20
A3	Зональный (ZME)	19,386.02	6.88	81.22	0
A3	Сеточный (GS)	22,920.92	10.31	622.65	0
A3	Сенсорный (OS)	25,022.40	6.88	135.36	313.15

Анализ:

- Зональный метод (ZME) является наиболее экономичным, но может быть менее точным в условиях высокой вариабельности [7].
- Сеточный метод (GS) обеспечивает высокую точность, но увеличивает затраты на 14–18 % по сравнению с ZME [7].
- Сенсорный метод (OS) требует дополнительных вложений в оборудование, но может быть эффективным для управления калием и азотом [6, 7].

Выбор метода зависит от бюджета хозяйства, вариабельности почв и доступных технологий. Например, сеточный метод предпочтителен для полей с высокой неоднородностью, тогда как зональный метод подходит для более однородных участков [5].

4. Применение в условиях Беларуси

Особенности белорусских почв

Подзолистые почвы, преобладающие в Беларуси [8], характеризуются высокой кислотностью, низким содержанием питательных веществ и склонностью к вымыванию минералов. Эти свойства требуют тщательного отбора проб для точного определения потребностей в удобрениях. Например, сеточный метод может быть полезен для выявления мелкомасштабной вариабельности, тогда как зональный метод эффективен при наличии данных о типах почв или рельефе.

Тенденции в белорусском сельском хозяйстве

Беларусь активно внедряет технологии точного земледелия. Согласно планам Министерства сельского хозяйства, в течение пяти лет система точного земледелия будет внедрена по всей стране [9]. Стартап OneSoil, использующий спутниковые данные для мониторинга полей, демонстрирует потенциал цифровых технологий в управлении сельскохозяйственными ресурсами [3]. Эти тенденции подчеркивают важность выбора подходящих методов отбора проб для интеграции с современными системами.

Рекомендации для аграриев

Малым хозяйствам нужно внедрять использование зонального метода для снижения затрат, опираясь на доступные данные о почвах или рельефе [5].

Крупным хозяйствам рекомендовано рассмотрение сеточного или сенсорного методов для повышения точности, особенно на полях с высокой вариабельностью [5, 6].

Инновационным хозяйствам необходимо инвестировать в автоматизированные системы и сенсоры для долгосрочной эффективности [6].

Заключение

Технологии отбора почвенных проб представляют собой фундаментальный элемент точного земледелия, обеспечивая точную оценку пространственной изменчивости почвенных свойств, что позволяет оптимизировать внесение удобрений, минимизировать экологические риски и повышать общую устойчивость сельскохозяйственного производства [1, 4]. В эпоху цифровизации и растущих вызовов, таких как изменение климата и истощение ресурсов, эти технологии способствуют повышению урожайности на 15–30 %, снижению затрат на агрохимикаты до 30 % и сохранению биоразнообразия за счет дифференцированного подхода к управлению полями. Современные методы отбора проб интегрируют GPS-навигацию, датчики реального времени и автоматизированные системы, позволяя собирать данные о кислотности, содержании питательных веществ и влажности с высокой точностью, что особенно актуально для регионов с неоднородными почвами. Однако их эффективность зависит от правильного выбора стратегии, учитывающей локальные условия, что подчеркивает необходимость комплексного анализа преимуществ и ограничений каждого подхода.

В условиях Беларуси, где подзолистые почвы, занимающие до 87,5 % пахотных земель, характеризуются низкой плодородностью, высокой кислотностью (pH 2,7–3,7 в некоторых горизонтах) и бедностью гумусом, азотом и другими элементами, а также подверженностью деградации из-за гидроморфизма и эрозии [8, 9], выбор подходящего метода отбора проб становится стратегически важным для устойчивого развития агросектора. Эти почвы, типичные для задровых равнин и водораз-

делов под хвойной растительностью, требуют тщательного управления, включая регулярный мониторинг реакции среды и буферности к изменениям рН, чтобы поддерживать продуктивность и предотвратить дальнейшее истощение. Активное внедрение цифровых технологий в Беларуси, включая государственные инициативы по созданию «Цифровой платформы точного земледелия» в 2025–2026 годах, с участием 7 агропредприятий и выделением 6,8 млн рублей, усиливает роль таких методов: пилотные проекты фокусируются на обработке почвы, севе и уборке с использованием ИИ и сенсоров, что уже привело к росту сектора на 5,1 % в 2024 году и обещает дальнейшую оптимизацию в 2025-м. Это позволит белорусским хозяйствам, таким как те, что участвуют в проектах в Мядельском районе, интегрировать точное земледелие на национальном уровне, повышая конкурентоспособность на глобальном рынке.

Сеточный (grid sampling), зональный (zone sampling), сенсорный (sensor-based) и автоматизированный (automated) методы предлагают различные подходы к отбору проб, каждый из которых адаптирован к конкретным сценариям и имеет свои преимущества и ограничения. Сеточный метод подразумевает деление поля на равномерную сетку (например, 1–2,5 га на ячейку) с отбором проб в каждой точке, что обеспечивает высокую разрешающую способность данных и точное картирование вариабельности, повышая надежность почвенных карт на 40 %, но требует значительных затрат на анализ (больше ядер для отбора) и может быть избыточным для однородных полей. Зональный метод группирует поле по зонам на основе рельефа, типов почв или исторических данных урожайности, снижая количество проб (экономия до 50 % по сравнению с сеточным) и фокусируясь на управляемых единицах, но его точность зависит от качества предварительных данных и может недооценивать случайную вариабельность. Сенсорный подход использует датчики (например, для электропроводности, влажности или спектроскопии) для реального времени анализа, минимизируя трудозатраты и обеспечивая непрерывные данные, но ограничен зависимостью от калибровки и погодных условий, а также высокой начальной стоимостью оборудования. Автоматизированный метод, часто сочетающий мобильные агрегаты с GPS и ИИ (например, автоматические буры или гибридные системы), ускоряет процесс (оперативность в 3–5 раз выше традиционных) и снижает человеческий фактор, но требует инвестиций в технику и может быть неэффективным на сложном рельефе или в малых хозяйствах. Сравнительный анализ показывает, что сеточный и зональный методы лучше подходят для начальной оценки, в то время как сенсорный и автоматизированный – для динамического мониторинга, с гибридными вариантами (например, machine learning vs grid), предлагающими баланс между стоимостью и качеством.

Белорусским аграриям и руководителям хозяйств следует учитывать вариабельность почв (особенно в дерново-подзолистых типах с разной степенью устойчивости к кислотности), бюджет (начальные инвестиции от 10–50 тыс. рублей на гектар для автоматизированных систем) и доступные технологии (включая государственные платформы и выставки вроде БелАгро-2025) при выборе метода, чтобы обеспечить экономическую эффективность, экологическую устойчивость и долгосрочную продуктивность. Рекомендуется начинать с зонального или сеточного подхода для базового картирования, переходя к сенсорным и автоматизированным для масштабирования, с интеграцией данных из национальных проектов для минимизации рисков и максимизации отдачи. В итоге адаптация этих технологий позволит Беларуси не только справиться с вызовами подзолистых почв, но и внести вклад в глобальную устойчивость агропроизводства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванчиков, Г. О. Значение минеральных удобрений в современном земледелии / Г. О. Иванчиков, В. С. Астахов // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства. – Горки: БГСХА, 2024. – Вып. 9. – С. 116–120.
2. Белов, Г. Д. Механизация локального внесения минеральных удобрений / Г. Д. Белов, В. А. Дьяченко. – Минск: Урожай, 1977. – 80 с.
3. Найдин, П. Г. Удобрение зерновых и зернобобовых культур / П. Г. Найдин. – М.: Сельхозиздат, 1963. – 263 с.
4. Иванчиков, Г. О. Путь к устойчивому земледелию: минеральные удобрения и инновации / Г. О. Иванчиков, В. С. Астахов // Наше сельское хозяйство. – 2023. – №17. – С. 53–55.
5. Farmaha B. S., Caughman W., Park D. Precision Agriculture-Based Soil Sampling Strategies. Clemson University, 2020. – URL: <https://lgpress.clemson.edu/publication/precision-agriculture-based-soil-sampling-strategies/> (дата обращения: 24.07.2025).
6. Sant'Anna F. S., et al. Comparative analysis of soil-sampling methods used in precision agriculture. Journal of Agricultural Engineering, 2021. – URL: <https://www.agroengineering.org/jae/article/view/1117> (дата обращения: 24.07.2025).
7. Sant'Anna F. S., et al. Comparative economic analysis of soil sampling methods used in precision agriculture. Anais da Academia Brasileira de Ciências, 2020. – URL: <https://www.scielo.br/j/aabc/a/HVQXYурxHBRp3wf3FfnPzcj/?lang=en> (дата обращения: 24.07.2025).
8. Bogdevich I. M., Smeyan N. I., Levitan T. V., eds. Soil Science and Agricultural Chemistry. Minsk: BRISSA, 2000. – 246 p.
9. Систему точного земледелия планируется внедрить по всей Беларуси в этой пятилетке. БЕЛТА, 2021. – URL: <https://belta.by/society/view/sistemu-tochnogo-zemledelija-planiruetsja-vnedrit-po-vsej-belarusi-v-etoj-pjatiletke-grakun-437753-2021/> (дата обращения: 24.07.2025).

ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РАСПЫЛЕНИЯ ЖИДКОСТИ ЦЕНТРОБЕЖНЫМ ДИСКОВЫМ РАСПЫЛИТЕЛЕМ

Д. А. МИХЕЕВ, ЧЖАН ЮН

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

(Поступила в редакцию 26.09.2025)

Предпосевная обработка семян значительно влияет на получаемый урожай сельскохозяйственных культур. Использование современных, эффективных способов предпосевной обработки семян обеспечивает получение хорошего урожая. Современным и высокоэффективным способом предпосевной обработки семян является способ создания искусственной оболочки на семенах: протравливание, инкрустирование, дражирование. Для получения равномерной и однородной оболочки на семенах необходимо выбрать оптимальные режимы работы используемого оборудования (протравливателя, инкрустатора, дражирователя). Для нанесения жидких компонентов различной вязкости на семена целесообразно применять центробежные дисковые распылители.

Центробежные дисковые распылители широко используются в процессах создания искусственных оболочек на поверхности семян, при протравливании, инкрустации и дражировании. Эффективность распыления жидкого компонента напрямую влияет на качество получаемых семян с оболочкой и энергопотребление, а также оно зависит от множества факторов, включая конструктивные параметры диска, рабочие параметры оборудования и свойства наносимой жидкости. Для повышения эффективности создания искусственных оболочек на поверхности семян, а также эффективности распыления центробежным дисковым распылителем жидких компонентов, являющегося одним из основных элементов оборудования для создания искусственных оболочек, в данной работе исследована математическая модель размера капель жидкого компонента от параметров центробежного дискового распылителя. Определена взаимосвязь эффективности распыления от таких параметров, как радиус диска, скорость вращения диска, расхода жидкости, количество лопастей. Определено влияние этих параметров на размер капель. Результаты проведенных исследований определяют направления оптимизации каждого параметра дискового распылителя и предлагается теоретическая основа для проектирования центробежных дисковых распылителей.

Ключевые слова: искусственная оболочка, дисковый распылитель, семена, распыление, капли.

Pre-sowing seed treatment significantly impacts the yield of agricultural crops. Using modern, effective pre-sowing seed treatment methods ensures good yields. A modern and highly effective pre-sowing seed treatment method involves creating an artificial seed coating: seed dressing, encrusting, and pelleting. To achieve a uniform and homogeneous seed coating, it is necessary to select the optimal operating modes for the equipment used (seed dressing, encrusting, and pelleting). Centrifugal disc atomizers are recommended for applying liquid components of varying viscosities to seeds. Centrifugal disc atomizers are widely used in the creation of artificial seed coatings, including dressing, encrustation, and pelleting. Liquid component atomization efficiency directly impacts the quality of the resulting coated seeds and energy consumption, and depends on numerous factors, including the disk design, equipment operating parameters, and the properties of the applied liquid. To improve the efficiency of creating artificial seed coatings, as well as the efficiency of spraying liquid components using a centrifugal disc atomizer, a key component of artificial seed coating equipment, this paper examines a mathematical model of liquid component droplet size as a function of centrifugal disc atomizer parameters. The relationship between atomization efficiency and parameters such as disk radius, disk rotation speed, liquid flow rate, and number of blades is determined. The influence of these parameters on droplet size is also determined. The results of the study identify areas for optimization of each disk atomizer parameter and propose a theoretical basis for the design of centrifugal disc atomizers.

Key words: artificial casing, disc atomizer, seeds, spraying, drops.

Введение

Для получения высокого урожая хорошего качества необходимо использовать современные, высокоэффективные способы предпосевной обработки семян. Одним из таких способов является способ создания искусственной оболочки на поверхности семян – дражирование.

Технология создания искусственных оболочек на поверхности семян (инкрустирование и дражирование) имеет большой потенциал в повышении урожайности многих сельскохозяйственных культур. Недостаток микро- и макроэлементов в почве компенсируется искусственным их нанесением на поверхность семян. Наиболее актуальна такая обработка для семян, имеющих небольшую норму высева, таких как рапс, свекла, кукуруза и др. [2, 7, 8, 10].

Для получения качественных дражированных семян необходимо использовать эффективное оборудование позволяющее создавать равномерную оболочку на семенах. При использовании технологии постепенного наслаивания оболочки, важным этапом в процессе создания искусственной оболочки является этап распыления связующей жидкости [1, 2]. От равномерности нанесения жидкости на семена зависит качество получаемого семенного драже. В процессе дражирования жидкость распыляется на мелкие капли, которые прилипают к поверхности семян. Затем добавляется сухой порошок. Поскольку поверхность семян влажная, порошок прилипает к поверхности семян, образуя слой искусственной оболочки на поверхности семени [1, 2].

Для распыления жидкости в процессе создания искусственных оболочек применяются различные технологии. Наиболее универсальной и эффективной технологией распыления жидкости является использование вращающегося диска [3, 9].

Технология центробежного распыления преобразует жидкость в мелкие капли с помощью высокоскоростного вращающегося диска. Ее основное преимущество заключается в том, что для процесса распыления не требуется создавать высокое давление в подающем трубопроводе, что позволяет эффективно избегать проблемы засорения распылителей, характерной для традиционного распыления под давлением. Изменяя скорость диска, можно точно контролировать размер капель. Кроме этого, центробежный диск позволяет распылять вязкие жидкости [2, 3, 9].

Исследование закономерностей влияния конструктивных параметров центробежного диска и режимов его работы на размер капель жидкости является важным этапом в определении оптимальных параметров работы оборудования и достижении максимально качественных дражированных семян.

В данной статье изучена математическая модель распыления жидкости с оценкой влияния различных параметров на качество распыления для оптимизации оборудования.

В УО БГСХА был разработан экспериментальный дражиратор семян, позволяющий применять способ постепенного наслаивания оболочки и создавать дражированные семена различных сельскохозяйственных культур. На экспериментальном дражираторе были получены дражированные семена сахарной свеклы, рапса и др. культур [2, 4, 5, 6]. Для получения качественных дражированных семян в дражираторе необходимо определить оптимальные конструктивно-технологические параметры и режимы его работы. Кроме этого, в процессе эксплуатации оборудования необходимо проводить эргономические изменения и его оптимизацию.

Для построения математической модели распыления жидкости центробежным дисковым распылителем, основанной на инженерной практике и методах обработки гидромеханики, были определены следующие принципы [9]:

1. Жидкость является несжимаемой ньютоновской жидкостью, то есть плотность жидкости остается постоянной на протяжении всего процесса течения и не меняется во времени и пространстве, что обеспечивает сохранение массы жидкости в модели и служит основой для последующего анализа эффекта распыления.

2. Поскольку метод распыления дискового распылителя – центробежный, центробежная сила является основной движущей силой в процессе распыления. Поэтому влияние поверхностного натяжения и вязкости жидкости не учитывается в процессе анализа. Однако в реальном процессе распыления поверхностное натяжение и вязкость жидкости являются объективными и влияют на эффект распыления. Чтобы сделать созданную математическую модель более соответствующей фактическому распылению, в окончательную модель необходимо ввести поправочный коэффициент. Поправочный коэффициент – это параметр, который учитывает влияние таких неучтенных факторов, как поверхностное натяжение и вязкость. Он корректирует математическую модель, чтобы приблизить результаты прогнозирования модели к фактическому эффекту распыления.

3. Жидкость равномерно распределена в центральной области, с равными расходами в каждом канале лопасти, что позволяет избежать помех в модели, вызванных смещенным потоком. Более того, поток в канале лопасти стабилен. Величина и направление скорости в каждой точке пространства зависят только от пространственного положения.

4. Поскольку центробежное ускорение, возникающее в процессе распыления, значительно превышает ускорение свободного падения, влияние силы тяжести на траекторию жидкости и процесс распыления минимально, поэтому влиянием силы тяжести пренебрегаем.

После того, как жидкость поступает в центр диска с постоянным расходом через трубку для подачи жидкости, она сначала образует кольцевую пленку жидкости в горизонтальном сечении центра диска. При вращении диска с постоянной угловой скоростью жидкость под действием центробежной силы инерции движется к краю. Достигнув лопастей, она разделяется лопастями на несколько потоков, которые поступают в веерообразные каналы. В горизонтальной области поток жидкости ускоряется радиально вдоль каналов лопастей. При этом высота лопасти остается постоянной, а площадь сечения потока изменяется только в зависимости от радиального положения. При входе в наклонную область высота лопасти постепенно увеличивается в зависимости от радиального положения благодаря наклону наружу верхней и нижней кромок диска. Кроме того, наклон лопастей создает определенный угол с горизонтальной плоскостью, сообщая потоку жидкости осевую составляющую скорости. Внутри канала поток жидкости непрерывно испытывает действие центробежной силы, накапливая кинетическую энергию. Достигнув края диска, скорость потока постепенно увеличивается в радиальном направлении до максимального значения. Когда поток жидкости отходит от края диска, дисбаланс между инерцией и поверхностным натяжением приводит к дроблению жидкости. Перво-

начально образовавшиеся нити жидкости под действием сопротивления воздуха распадаются на капли, в конечном итоге образуя облако капель [3, 9].

Основная часть

Нами предлагается теоретический метод исследования влияния конструктивных и динамических параметров дискового распылителя для их оптимизации с целью получения качественного распыла в процессе создания искусственных оболочек на поверхности семян.

На рис. 1 представлен центробежный дисковый распылитель, который имеет радиус R и толщину a во всех сечениях. Во время работы он вращается вокруг центральной оси со скоростью ω . Он имеет двухслойную структуру: центральные области верхнего и нижнего дисков горизонтальны, разделены расстоянием h и имеют радиус r . Края дисков наклонены наружу, образуя угол α с горизонтальной плоскостью. n наклонных лопаток равномерно распределены между двумя дисками, образуя веерообразный проточный канал под углом β к горизонтальной плоскости. Впускное отверстие для жидкости расположено в центре верхнего диска, через который жидкость протекает с расходом U . После попадания в центральную область через канал она ускоряется вдоль веерообразного проточного канала под действием центробежной силы, в конечном итоге распыляясь по краям с образованием однородных капель.

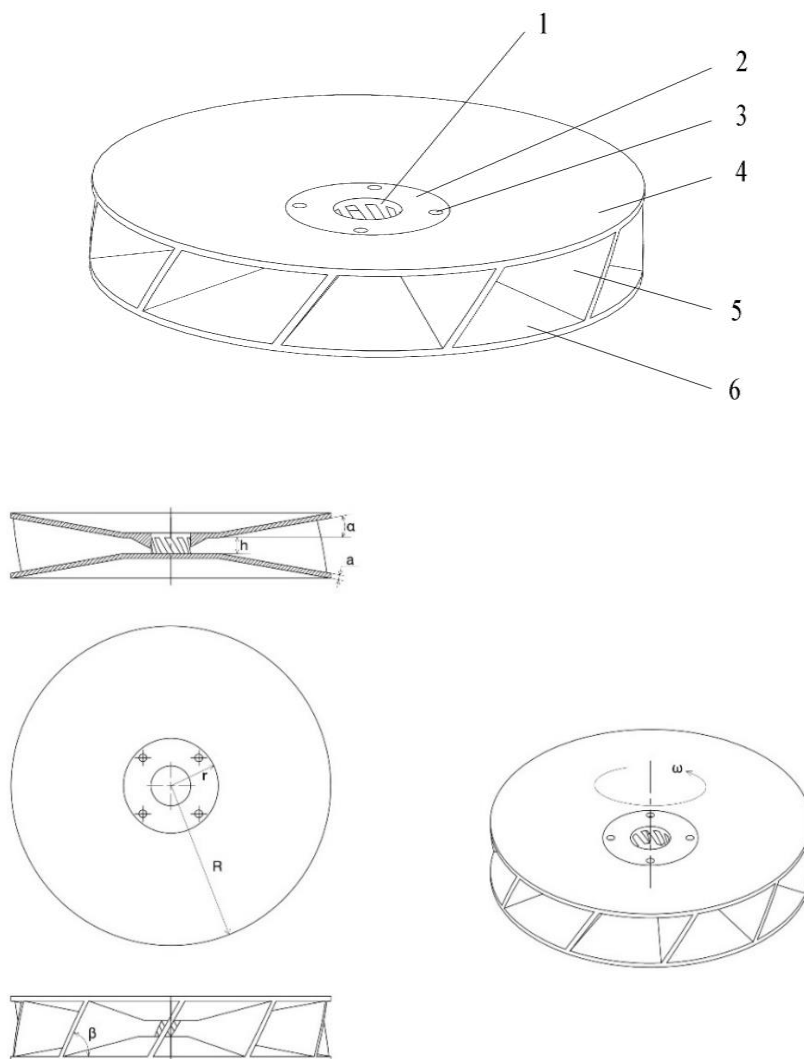


Рис. 1. Принципиальная схема центробежного дискового распылителя

1 – входное отверстие для жидкости; 2 – центральная горизонтальная зона; 3 – отверстия для крепления диска;
4 – верхний диск; 5 – наклонные лопасти; 6 – нижний диск

Анализ изменения высоты лопасти

Поскольку только центральный радиус r верхнего и нижнего дисков горизонтален, а края наклонены наружу под углом α к горизонтали, высота лопасти, между двумя дисками, меняется.

В горизонтальной области с радиусом $r' \leq r$ высота лопасти постоянна и обозначается как b_0 .

В наклонной области с радиусом $r' > r$ высота лопасти изменяется в зависимости от радиуса и обозначается как $b(r')$. Исходя из геометрических соотношений, выражение для высоты лопасти $b(r')$ имеет вид:

$$b(r') = b_0 + 2(r' - r) \tan \alpha \quad (1)$$

где r' – радиальная координата положения, м.

Расчет площади проходного сечения канала лопастей

Канал лопастей имеет веерообразную форму поперечного сечения, и его структурные параметры играют ключевую роль в пропускной способности жидкости. В процессе работы распылителя количество и угол наклона лопаток напрямую влияют на радиальную ширину канала лопастей, траекторию потока жидкости и эффективность потока. Поэтому необходимо всесторонне рассмотреть и рассчитать площадь проходного сечения канала лопастей.

Поскольку канал лопасти имеет веерообразную форму поперечного сечения, то, учитывая угол β между лопастью и горизонтальной плоскостью, исходя из геометрических характеристик диска, можно узнать, что радиальная ширина s канала определяется числом лопаток n , то есть $s = 2\pi r' \frac{\sin(\pi/n)}{n}$.

В горизонтальной области с радиусом $r' \leq r$ эффективная площадь поперечного сечения потока жидкости A_{r1} равна:

$$A_{r1} = b_0 s \cos \beta = \frac{2b_0 \pi r' \sin(\pi/n) \cos \beta}{n} \quad (2)$$

В наклонной области с радиусом $r' > r$ эффективная площадь поперечного сечения потока жидкости A_{r2} равна:

$$A_{r2} = b(r') s \cos \beta = [b_0 + 2(r' - r) \tan \alpha] \frac{2\pi r' \sin(\pi/n) \cos \beta}{n} \quad (3)$$

где A_{r1} и A_{r2} – эффективные площади поперечного сечения потока жидкости, m^2 ; $\cos \alpha$ – косинус угла между лопастью и горизонтальной плоскостью, используемый для изменений площади сечения потока, вызванных наклоном лопасти.

Моделирование дисковых распылителей с помощью уравнения неразрывности.

Уравнение неразрывности, являющееся одним из основных уравнений гидромеханики, основано на законе сохранения массы, который гласит, что при стационарном течении несжимаемой жидкости объёмный расход, протекающий через любое поперечное сечение в единицу времени, остаётся постоянным. В процессе работы центробежного дискового распылителя жидкость поступает в диск через несколько параллельных каналов. Поскольку геометрическая структура и условия входа жидкости в каждый канал согласованы, согласно уравнению неразрывности, расход в каждом канале должен быть одинаковым. Следовательно, можно получить:

$$Q_i = \frac{U}{n \times 60 \times 1000} \quad (4)$$

где Q_i – объёмный расход через любое поперечное сечение в единицу времени, m^3/c ; U – общий расход через инфузионную трубку, л/мин; n – количество лопастей, шт.

Ограничивая уравнение непрерывности, можно построить более точную математическую модель для анализа производительности распылителя в различных условиях эксплуатации.

В горизонтальной области с радиусом $r' \leq r$ радиальная скорость потока $v_{r1}(r')$ равна:

$$v_{r1}(r') = \frac{Q_i}{A_{r1}} = \frac{U}{60000 \cdot 2\pi b_0 r' \sin(\pi/n) \cos \beta} \quad (5)$$

В наклонной области с радиусом $r' > r$ радиальная скорость потока $v_{r2}(r')$ равна:

$$v_{r2}(r') = \frac{Q_i}{A_{r2}} = \frac{U}{60000 \cdot 2\pi [b_0 + 2(r' - r) \tan \alpha] r' \sin(\pi/n) \cos \beta} \quad (6)$$

Анализ центробежных сил и изменения кинетической энергии.

При высокоскоростном вращении диска жидкость находится в неинерциальной системе отсчёта. Согласно принципу Даламбера, центробежная сила инерции вводится для построения системы равновесия. Для анализа жидкость можно поместить в цилиндрическую систему координат (r, θ, z) , где r

– радиальная координата (от оси вращения наружу), θ – окружная координата (угол вокруг оси вращения), а z – осевая координата (перпендикулярная плоскости диска), как показано на рис. 2.

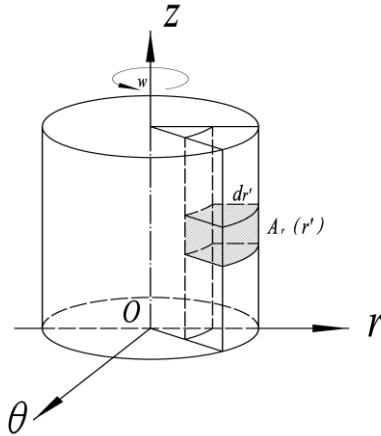


Рис. 2. (r, θ, z) цилиндрическая система координат

Сначала проанализируем центробежную силу, действующую на жидкость. В цилиндрической системе координат радиальная толщина элемента жидкости равна dr' , а площадь сечения потока равна $A_r(r')$. В этом случае объём элемента жидкости можно выразить как:

$$dV = A_r(r') dr' \quad (7)$$

где dV — объём элемента жидкости, m^3 ; $A_r(r')$ — площадь сечения потока жидкости, m^2 ; dr' — радиальная толщина элемента жидкости, м.

В это время радиальная центробежная сила dF_{cr} , действующая на элемент жидкости, равна:

$$dF_{cr} = \rho A_r(r') \omega^2 r' dr' \quad (8)$$

где dF_{cr} — радиальная центробежная сила, действующая на элемент жидкости, Н; ρ — плотность жидкости, kg/m^3 ; ω — угловая скорость диска, rad/c .

Далее анализируем изменение кинетической энергии. При радиальном движении работа центробежной силы преобразуется в приращение кинетической энергии. Интегрирование радиальной центробежной силы даёт полную работу W_c .

В горизонтальной области работа центробежной силы W_{c1} равна:

$$W_{c1} = \int_{r_0}^r \rho A_{r1} \omega^2 r' dr' = \rho \omega^2 \cos \beta \cdot \frac{2\pi b_0 \sin(\pi/n)}{n} \int_{r_0}^r r' \cdot r' dr' = \rho \omega^2 \cos \beta \cdot \frac{2\pi b_0 \sin(\pi/n)}{3n} (r^3 - r_0^3) \quad (9)$$

В наклонной области работа центробежной силы W_{c2} равна:

$$\begin{aligned} W_{c2} &= \int_r^R \rho A_{r2} \omega^2 r' dr' = \rho \omega^2 \cos \beta \cdot \frac{2\pi \sin(\pi/n)}{n} \int_r^R [b_0 + 2(r'-r) \tan \alpha] r' \cdot r' dr' = \\ &= \rho \omega^2 \cos \beta \cdot \frac{2\pi \sin(\pi/n)}{n} \left[\int_r^R b_0 r'^2 dr' + 2 \tan \alpha \int_r^R r'^3 dr' - 2r \tan \alpha \int_r^R r'^2 dr' \right] = \\ &= \rho \omega^2 \cos \beta \cdot \frac{2\pi \sin(\pi/n)}{n} \left[\frac{b_0}{3} (R^3 - r^3) + \frac{\tan \alpha}{2} (R^4 - r^4) - \frac{2r \tan \alpha}{3} (R^3 - r^3) \right] \quad (10) \end{aligned}$$

где r_0 — начальный радиус жидкости, поступающей в канал лопатки (Радиус впуска жидкости), м; W_{c1} — работа центробежной силы в горизонтальной области, Дж; W_{c2} — работа центробежной силы в наклонной области, Дж.

Тогда полная центробежная работа W_c равна:

$$W_c = W_{c1} + W_{c2} \quad (11)$$

Согласно теореме о кинетической энергии, работа, совершаемая центробежной силой, равна изменению кинетической энергии, то есть:

$$W_c = \Delta E_k = \frac{1}{2} \rho (v_R^2 - v_{r0}^2) \int_{r_0}^R A_r(r') dr' \quad (12)$$

где v_R – скорость жидкости на краю диска, m/c ; v_{r0} – начальная радиальная скорость, m/c .

Поскольку начальная радиальная скорость потока $v_{r0} \ll v_R$, можно приближённо считать, что $v_{r0} \approx 0$. В этом случае формулу (12) можно упростить до:

$$W_c = \frac{1}{2} \rho v_R^2 \int_{r_0}^R A_r(r') dr' \quad (13)$$

Характеристика эффекта распыления и создание модели

Размер капли является основным показателем для измерения эффекта распыления. Ее размер зависит от кинетической энергии и поверхностной энергии жидкости на краю диска. Эта зависимость связана с центробежной силой, площадью сечения потока и расходом, полученными выше.

Когда жидкость отрывается от края диска, кинетическая энергия движущейся с высокой скоростью жидкости преодолевает поверхностное натяжение и приводит к её разрыву. Этот процесс можно рассматривать как преобразование кинетической энергии в поверхностную энергию капли.

Если предположить, что масса капли равна m , то её кинетическая энергия E_k на краю диска равна:

$$E_k = \frac{1}{2} m v_R^2 \quad (14)$$

В процессе распыления жидкости увеличение площади поверхности после распыления составляет ΔA , а увеличение ее поверхностной энергии E_s составляет:

$$E_s = \sigma \Delta A \quad (15)$$

где σ – коэффициент поверхностного натяжения жидкости, H/m ; ΔA – Увеличение площади поверхности жидкости после распыления, m^2 .

Согласно закону сохранения энергии, энергия жидкости до и после распыления остаётся неизменной, то есть кинетическая энергия E_k жидкости до распыления равна приращению поверхностной энергии E_s после распыления. Можно установить следующее уравнение:

$$\frac{1}{2} m v_R^2 = \sigma \Delta A \quad (16)$$

Когда жидкость существует в виде сплошной жидкой пленки или жидких нитей на краю диска, можно предположить, что площадь поверхности жидкости в исходном состоянии относительно мала (например, если жидкость образует кольцевую жидкую пленку на краю диска, то ее площадь поверхности пренебрежимо мала по сравнению с общей площадью поверхности большого числа капель, образующихся при последующем дроблении).

При дроблении жидкости на капли общая площадь поверхности значительно увеличивается. Это увеличение представляет собой прирост площади поверхности после распыления. Поскольку начальная площадь поверхности пренебрежимо мала, прирост площади поверхности после распыления приблизительно равен сумме площадей поверхностей всех капель. Если предположить, что капли, образующиеся при дроблении жидкости на краю диска, имеют сферическую форму, диаметр всех капель равен d , а количество капель равно N , то общая площадь поверхности после распыления составит $N\pi d^2$. Тогда для одной капли прирост площади поверхности после распыления составит ΔA :

$$\Delta A = \pi d^2 \quad (17)$$

Его объём V равен:

$$V = \frac{\pi d^3}{6} \quad (18)$$

Его масса m равна:

$$m = \rho V = \rho \frac{\pi d^3}{6} \quad (19)$$

Подставляя формулы (17) и (19) в формулу (16), можно получить:

$$\frac{1}{2} \rho \cdot \frac{\pi d^3}{6} \cdot v_R^2 = \sigma \cdot \pi d^2 \quad (20)$$

Дальнейшее упрощение даёт:

$$d = \frac{6\sigma}{\rho v_R^2} \quad (21)$$

Объединяя формулы (13) и (21), получаем:

$$d = \frac{6\sigma}{\rho \frac{2W_c}{\rho \int_{r_0}^R A_r(r') dr'}} = \frac{3\sigma \int_{r_0}^R A_r(r') dr'}{W_c} \quad (22)$$

В то же время, учитывая совокупное влияние угла наклона лопасти β и угла наклона кромки диска α на течение жидкости и процесс распыления, например, изменение направления потока жидкости и площади сечения потока под углом наклона лопасти, а также влияние угла наклона кромки диска на скорость изменения высоты лопасти, эти факторы отражены в предыдущем выводе высоты лопасти, площади сечения потока и т.д. Чтобы компенсировать отклонение, вызванное игнорированием некоторых факторов в идеальной модели, и приблизить результаты прогнозирования модели к инженерной практике, для количественной оценки этих эффектов вводится поправочный коэффициент $f(\alpha, \beta)$ (безразмерная величина, полученная путем анализа экспериментальных данных). В конечном итоге математическая модель размера капли, содержащая все ключевые параметры, получается следующим образом:

$$d = \frac{3\sigma f(\alpha, \beta) \int_{r_0}^R A_r(r') dr'}{W_{c1} + W_{c2}} \quad (23)$$

где $f(\alpha, \beta)$ – поправочный коэффициент, комплексный фактор, количественно характеризующий фактическое влияние неучтенных факторов, таких как поверхностное натяжение, вязкость и не идеальность потока, на размер капель. Это гарантирует, что погрешность между рассчитанным по модели размером капель и фактически измеренным значением находится в приемлемых инженерных пределах, обеспечивая более полную корреляцию между структурными параметрами и эффективностью распыления. Более того, применимость модели может быть расширена путем корректировки параметров поправочной функции для жидкостей с различными свойствами (например, растворов покрытий с различными поверхностными натяжениями и вязкостью). Этот коэффициент должен быть определен экспериментальным путем.

Подставляя формулы (9) и (10) в формулу (23), можно получить следующую упрощенную формулу:

$$d = \frac{3\sigma n f(\alpha, \beta) (R^2 - r_0^2)}{4\pi \rho \omega^2 \cos \beta \sin(\pi/n) \left[b_0 (r^3 - r_0^3) + \frac{3 \tan \alpha}{2} (R^4 - r^4) - 2r \tan \alpha (R^3 - r^3) \right]} \quad (24)$$

Из анализа формулы (24) видно, что эффект распыления центробежного дискового распылителя (основным показателем которого является размер капель) имеет значительную количественную корреляцию со структурными параметрами, как показано ниже:

– Радиус диска R – Большой радиус диска удлиняет радиальный путь потока жидкости, увеличивается накопленная работа, совершаемая центробежной силой, жидкость получает большую кинетическую энергию на краю, а капли после дробления становятся мельче.

– Радиус горизонтальной области r . При увеличении радиуса горизонтальной области увеличивается доля работы, совершаемой в горизонтальной области, и уменьшается размер капель; если r близок к R , уменьшается доля наклонной области, ослабевает влияние изменения высоты лопасти на скорость потока и увеличивается размер капель.

– Число лопастей n – увеличение числа лопастей уменьшит размер капель, но слишком большое значение сузит веерообразный канал и увеличит сопротивление потоку.

– Увеличение угла наклона кромки диска α – с увеличением α высота лопасти увеличивается в радиальном направлении, увеличивая площадь сечения потока и уменьшая размер капель. Однако слишком большое значение приведет к чрезмерной осевой скорости жидкости, что увеличит разбрызгивание капель.

– Увеличение угла наклона лопасти β – с увеличением β (т.е. по мере приближения лопастей к вертикали) осевая скорость жидкости увеличивается, радиальная скорость уменьшается, а работа центробежной силы уменьшается, что приводит к увеличению размера капель.

– Начальная высота лопасти b_0 – увеличение начальной высоты лопасти увеличивает площадь горизонтального потока и уменьшает размер капель. Однако, если b_0 слишком велико, площадь горизонтального потока становится избыточной, что ослабляет сопротивление потоку до попадания жид-

кости в каналы лопасти. В этом случае даже незначительные отклонения в положении лопасти могут привести к неравномерному распределению жидкости между различными каналами, что в конечном итоге снижает равномерность распределения размера капель после распыления (капли кажутся слишком крупными в одних областях и слишком мелкими в других).

– Скорость вращения диска ω – увеличение скорости вращения диска значительно увеличивает центробежную работу, существенно уменьшая размер капель. Это наиболее чувствительный параметр для управления размером капель. На практике регулировка скорости позволяет быстро и точно контролировать размер капель.

Заключение

Получена зависимость размера капель жидкого компонента от конструктивных и динамических параметров центробежного дискового распылителя путем создания математической модели. Эта модель учитывает такие ключевые параметры, как радиус диска, количество лопастей и угол. Она связывает размер капель с центробежной силой, а также вводит поправочные коэффициенты $f(\alpha, \beta)$ для компенсации пренебрежения поверхностным натяжением и силами вязкости, точно отражая физические механизмы процесса распыления жидкости.

Размер капель уменьшается с увеличением радиуса диска R , скорости диска ω , количества лопастей n и горизонтального радиуса r , и увеличивается с увеличением угла наклона лопастей β . Среди них скорость диска ω оказывает наиболее существенное влияние на размер капель и должна рассматриваться как основной параметр для управления рабочими условиями.

В данном исследовании предлагаются направления оптимизации каждого параметра и предоставляется теоретическая основа для проектирования центробежных дисковых распылителей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Михеев, Д. А. Исследования нанесения жидких компонентов на поверхность семян с помощью дискового распылителя в камере смешивания дражиратора / Д. А. Михеев // Молодежь и инновации – 2015: материалы Междунар. науч.- практ. конф. молодых ученых (г. Горки, 27–29 мая, 2015 г.): в 2 ч. / Белорус. гос. с.-х. акад.; редкол.: П. А. Саскевич [и др.]. – Горки, 2015. – Ч. 2. – С. 243–245.
2. Михеев, Д. А. Дражирование семян сахарной свеклы центробежным дражиратором с лопастным отражателем: монография / Д. А. Михеев; под ред. Д. А. Михеева. – Горки. 2017. – 180 с.
3. Червяков А. В. Динамика движения капли связующей жидкости при ее отрыве с дискового распылителя в камере смешивания дражиратора / А. В. Червяков; С. В. Курзенков; Д. А. Михеев // Вестн. Белорус. гос. с.-х. акад. – 2013. – № 1. – С. 119–123.
4. Михеев, Д. А. Инкрустирование семян рапса минеральным составом на основе трепла с добавлением бора / Д. А. Михеев, В. Н. Исаченко // Вестн. Белорус. гос. с.-х. акад. – 2021. – № 3. – С. 176–180.
5. Петровец, В. Р. Эффективность дражирования семян сахарной свеклы в центробежном дражираторе / В. Р. Петровец, Д. А. Михеев, В. П. Гнилозуб // Вестні Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. – 2020. – Т. 58. – № 3. – С. 364–372.
6. Петровец, В. Р. Результаты полевых исследований дражированных семян гречихи органическими удобрениями на основе гуминовых кислот с обоснованием конструктивно-технологических параметров центробежного дражиратора с лопастным отражателем / В. Р. Петровец, Д. А. Михеев // Вестні Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. – 2018. – Т. 56. – № 3. – С. 357–365.
7. Taylor A G, Amirkhani M, Hill N. Modern seed technology// Agriculture. – 2021. – № 11. – С. 630.
8. Ван Сиси. Гранулирование семян и прогресс в исследованиях / Ван Сиси, Пи Нана, Вэн Цюньфань // Хунаньская сельскохозяйственная наука. – 2024. – № 3. – С. 85–90.
9. Оптимизация конструкции центробежной распылительной форсунки и характеристики осаждения капель / Гао Сюэцин, Ван Дин, Ли Синьдэ, et al // Журнал «Инженерия ирригационных и дренажных машин». – 2023. – № 7 (41) . – С. 749–756.
10. Korakianiti E. S. Rekkas D. M. Dallas P. P, et al. Optimization of the pelletization process in a fluid-bed rotor granulator using experimental design // Aaps Pharmscitech. – 2000. – № 1(4). – С. 35.

К ВОПРОСУ РАЗРАБОТКИ МЕТОДИКИ СРАВНИТЕЛЬНОЙ ОЦЕНКИ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ЗАЩИТЕ КУКУРУЗЫ ОТ НАСЕКОМЫХ-ВРЕДИТЕЛЕЙ ПРИ ПОМОЩИ АГРОДРОНОВ И НАЗЕМНЫХ ОПРЫСКИВАТЕЛЕЙ

А. В. ЛЕНСКИЙ, А. А. ЖЕШКО

РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»,
г. Минск, Республика Беларусь, e-mail: alex_lensky@mail.ru

(Поступила в редакцию 02.10.2025)

В статье приведено общее техническое описание агродронов, подробно изложено устройство силовой установки, системы управления и навигации, а также наземного и вспомогательного оборудования. Рассмотрены особенности настройки параметров химической обработки для обеспечения безопасности выполнения технологических операций по внесению химических средств защиты растений. Представлена программа экспериментальных исследований, которые проводились с целью сравнительной оценки мероприятий по защите кукурузы от насекомых-вредителей при помощи агродронов и наземных опрыскивателей. Подробно рассмотрены методические подходы проведения сравнительной оценки мероприятий по защите кукурузы от насекомых вредителей при помощи агродронов и опрыскивателей (наземных технических средств), где представлены характеристики условий проведения исследований, повторность реализации экспериментов, а также особенности выполнения подготовительных операций и проведения хронометража. Представлена графическая интерпретация схемы экспериментальных исследований, где изображена схема движения наземного опрыскивателя и агродрона по обрабатываемому участку, а также указаны геометрические параметры рабочего участка и особенность отбивки поворотных полос для наземного опрыскивателя. Также изложены методические подходы оценки биологической эффективности обработки кукурузы от насекомых-вредителей при помощи агродрона, где представлены требования к проведению экспериментов и технологические параметры работы агродрона, особенности приготовления рабочего раствора и последовательность проведения инсектицидной обработки. Представлены результаты маршрутных обследований посевов кукурузы и определение локаций для проведения сравнительной оценки агродрона и штангового опрыскивателя. Установлено, что эффективность обработки против стеблевого кукурузного мотылька целесообразно выполнять непосредственно перед уборкой, а эффективность биологической обработки против западного кукурузного жука оценивается на 3–7 день после проведения опрыскивания.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, сельское хозяйство, химическая защита растений, насекомые-вредители, параметры эксплуатации агродрона, эксперимент.

This article provides a general technical description of agrodrones, detailing the design of the power unit, control and navigation system, as well as the ground and auxiliary equipment. It also examines the specifics of setting up chemical treatment parameters to ensure the safety of crop protection chemical application operations. A program of experimental studies is presented, which were conducted to comparatively evaluate corn protection measures from insect pests using agrodrones and ground sprayers. This article examines in detail methodological approaches to comparative evaluation of corn insect pest control measures using agrodrones and sprayers (ground-based equipment). It presents characteristics of the research conditions, the repeatability of experiments, as well as the specifics of preparatory operations and timing. A graphical interpretation of the experimental design is provided, depicting the movement of the aerial sprayer and agrodrome across the treatment area, as well as the geometric parameters of the work area and the specifics of establishing headlands for the ground sprayer. Methodological approaches to assessing the biological effectiveness of corn insect pest control using agrodrones are also presented. These include requirements for conducting experiments and the technological parameters of the agrodrome, the specifics of preparing the working solution, and the sequence of insecticide treatment. The article also presents the results of route surveys of corn crops and the identification of locations for a comparative evaluation of the agrodrome and boom sprayer. It has been established that the effectiveness of treatment against the European corn borer is best achieved immediately before harvesting, while the effectiveness of biological treatment against the western corn rootworm is assessed 3–7 days after spraying.

Key words: unmanned aerial vehicle, agriculture, chemical plant protection, insect pests, agrodrome operating parameters, experiment.

Введение

В настоящее время урожайность сельскохозяйственных культур напрямую зависит от качественного применения химических средств защиты растений, поскольку своевременное их внесение предотвращает потери продукции от негативного влияния сорных растений, болезней и насекомых-вредителей. Критериями эффективного выполнения химической обработки должны являться показатели производительности, биологической и экономической эффективности, а также снижение экологической нагрузки на окружающую среду.

Существенным резервом повышения производительности выполнения химических обработок является применение беспилотных летательных аппаратов (БЛА), что позволяет выполнять агротехнические операции по уходу за сельскохозяйственными культурами в сжатые агротехнические сроки и «разгрузить» энергетические средства машинно-тракторного парка хозяйства для их использования на выполнении других сельскохозяйственных работ. Широкая номенклатура появившихся в настоящее время агродронов требует тщательной научной проработки вопросов их эксплуатации и сравнения ра-

боты БЛА с полевыми опрыскивателями, разработки методики полевых испытаний, поиска путей повышения показателей экономической эффективности, а также уменьшения негативного влияния химических обработок на окружающую среду и нахождения оптимальных параметров полета для обеспечения максимальной биологической эффективности рабочих растворов средств защиты растений.

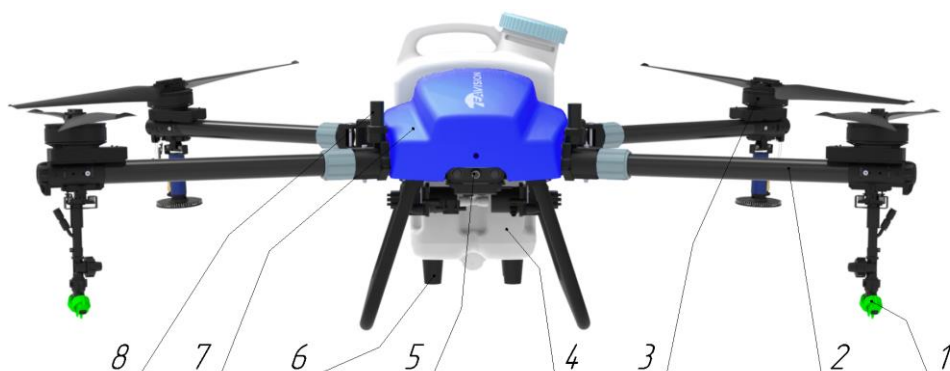
Проведенные до настоящего времени зарубежными и отечественными учеными исследования можно считать отправной точкой для обоснования оптимальных параметров работы агродронов, однако важнейшим этапом также является проведение сравнительной оценки мероприятий по защите сельскохозяйственных культур при помощи БЛА и наземных технических средств.

Основная часть

Общее техническое описание агродронов. В общем виде агродрон представляет собой модульную конструкцию, которая состоит из рамы, на которой смонтированы основные узлы, рабочие и вспомогательные элементы беспилотного летательного аппарата. В зависимости от комплектации функциональные возможности агродронов могут существенно отличаться. Агродроны могут оснащаться ультразвуковыми датчиками, которые позволяют осуществлять автоматическую посадку и избегать столкновения с препятствиями во время полета, акселерометром для стабилизации положения БЛА в горизонтальном положении, барометрическими датчиками для фиксации дрона на заданной высоте и автопилотом, который позволяет сформировать маршрут для перемещения БЛА, обеспечить его работу и возвращение в исходную точку в автоматическом режиме [1–4].

Средняя масса агродрона с установленными аккумуляторами и оборудованием для внесения пестицидов составляет 30–50 кг, а полезная нагрузка находится в интервале от 30 до 70 кг. В соответствии с полезной нагрузкой варьируют габаритные размеры БЛА. В среднем, габаритная ширина агродрона в рабочем положении составляет 2,8 м, высота – 0,7 м. В транспортном положении ширина достигает 0,7 м., что достигается реализацией инновационных решений в конструкции рамы и механизме складывания лучей. В качестве материалов для изготовления дронов применяют износостойкий и прочный авиационный алюминий, из которого изготавливают шасси и раму. Несущие элементы конструкции создают из углеродного ударопрочного пластика, пропеллеры и лучи, как правило, изготавливают из карбона.

К общим эксплуатационным характеристиками, которым должен соответствовать современный агродрон, можно отнести следующие. При опрыскивании сельскохозяйственных культур минимальная рабочая высота должна составлять не менее чем 1 м над культурой, а максимальная высота полета может достигать 5 м и более. При выполнении химических обработок максимальное время полета (до полного опорожнения бака для рабочего раствора) не превышает 15–20 мин. Максимальное время полета с полностью загруженным баком составляет до 10 мин. Дальность полета при отсутствии препятствий достигает 3 км, а наибольший угол крена 30°. Для эффективного опрыскивания большинства сельскохозяйственных культур необходимо, чтобы агродрон двигался со скоростью не превышающей 10–12 м/с, транспортная скорость при этом должна составлять порядка 20 м/с для повышения производительности химзащитных работ при пополнении холостых проходов и возвращении к месту заправки. Агродрон должен обеспечивать наилучшие технико-экономические показатели процесса внесения пестицидов при колебании температур в диапазоне от 0 °С до +40 °С и скорости ветра не превышающем 5 м/с. На рис. 1 представлена схема агродрона с наиболее типичной комплектацией.



- 1 – форсунки (щелевые или центробежные); 2 – луч; 3 – мотор с регулятором оборотов;
4 – бак для химических средств защиты растений с установленной системой подачи раствора;
5 – камера фронтальная; 6 – система радаров; 7 – крышка; 8 – антенны связи

Рис. 1. Общая схема агродрона

В соответствии с рис. 1 агродрон с оборудованием для внесения пестицидов состоит из щелевых или центробежных форсунок 1, лучей 2, моторов с регуляторами оборотов 3, бака для химических средств защиты растений с установленной системой подачи раствора 4, фронтальной камеры 5, системы радаров 6, крышки 7 и антенн связи 8.

К полезной нагрузке агродрона относится система внесения химических средств защиты растений, которая состоит из бака, центробежных либо щелевых форсунок, трубопроводов, одного или нескольких насосов, датчиков уровня и расхода рабочего раствора. Производительность водяных насосов современных агродронов составляет не менее 16 л/мин, что позволяет обеспечивать внесение рабочего раствора в диапазоне ширины захвата до 10 м. Центробежные форсунки обеспечивают распыление рабочего раствора в диапазоне от 50 до 500 мкм и могут быть оснащены системой водяного охлаждения для повышения ресурса их работы.

Также к полезной нагрузке относятся радары для превращения столкновений и поддержания высоты, светодиодные контрольные фонари и фронтальная камера. Радар высоты устанавливается, как правило, в нижней части дрона и отслеживает с его помощью изменения рельефа в направлении движения с корректировкой высоты, что обеспечивает равномерное внесение средств защиты растений. Рабочий диапазон функционирования радара высоты находится в пределах от 0,3 до 15 м, при этом точность должна составлять не менее 0,5 м. Радары предотвращения столкновений позволяют установить расстояние между движущимся дроном и препятствием в направлении полета. На некоторых моделях могут использоваться круговые радары, позволяющие обнаруживать препятствие в любом направлении. Препятствия могут быть зафиксированы в диапазоне от 1 до 25 м с точностью не менее 0,1 м. Наибольшую эффективность радары обеспечивают при скорости полета не превышающей 6 м/с, высоте полета не менее 2 м и угле крена до 20°.

Для передачи видеоизображения на пульт оператора используется фронтальная камера с подсветкой, что позволяет контролировать окружающую обстановку. Для улучшения визуального контроля за работой агродрона в темное время суток используются светодиодные фонари, которые встраиваются в лучи. Радары предотвращения столкновений и высоты, светодиодные фонари и фронтальная камера не сильно изменяют массу агродрона, не потребляют много энергии и не ухудшают динамику полета. Целевая нагрузка (раствор для внесения пестицидов) увеличивает массу, но также не влияет на центровку агродрона. С помощью контроллера осуществляется корректировка работы моторов с учетом динамического изменения массы БЛА.

Силовая установка, как правило, состоит из бесколлекторных электродвигателей, регуляторов оборотов и воздушных винтов. Источником энергии служат аккумуляторы, которые имеют соответствующие протоколы испытаний и сертификаты. Для осуществления контроля за уровнем заряда аккумулятора используются специальные приложения пульта управления, также информацию об уровне заряда можно визуально контролировать при помощи пятиступенчатого светодиодного индикатора на корпусе аккумулятора. В случае низкого уровня заряда (первый уровень) оператор получает соответствующее сообщение, а при достижении критического заряда (второй уровень) предусматривается автоматический возврат агродрона на точку взлета либо немедленная посадка. Гарантийный срок эксплуатации аккумуляторов должен составлять не менее 650 циклов, а современные модели батарей имеют ресурс более 2000 циклов. Данные о количестве циклов конкретного аккумулятора можно получить с помощью специальных приложений.

Система управления и навигации агродрона формируется по модульному принципу. В передней части на специальной площадке располагаются приемник радиосигнала, полетный контроллер, модуль точного позиционирования и GPS приемник. Антенны модуля точного позиционирования размещаются по краям площадки, при этом минимальное расстояние между ними должно составлять не менее 40 см. Антенны для связи с пультом управления располагаются под несущей рамой. В передней и задней частях агродрона, как правило, располагаются платы для подключения силовой установки и полезной нагрузки к полетному контроллеру.

Для определения местоположения агродрона в пространстве используется спутниковая система позиционирования GPS, а также модуль точного позиционирования RTK, который может работать с собственной базовой станцией или посредством получения дифференциальных поправок NTRIP. Точность, обеспечиваемая системой глобального позиционирования, должна составлять не менее 1,5 м в горизонтальной и 0,5 м в вертикальной плоскости. Система точного позиционирования позволяет получить до 0,05 м в горизонтальной и 0,1 м в вертикальной плоскостях.

Пульт дистанционного управления предназначен для управления агродроном. При этом канал радиочастот должен соответствовать законодательству Республики Беларусь. Для стабильной и устойчивой работы расстояние между агродроном и пультом управления должно быть не более 1 км. Пульт отображает информацию о маршруте полета, видео с камеры, а также параметры полета и внесения пестицидов. Управление осуществляется с помощью стиков, кнопок и переключателей. Для информирования оператора в процессе эксплуатации агродрона предусмотрены сигналы, которые отображаются на пульте управления. Данные сигналы информируют оператора о необходимости калибровки акселерометра, магнитного компаса, GPS и других систем, предупреждают об уровне радиосигнала и качестве точного позиционирования, записи маршрута, критическом уровне заряда аккумулятора, срабатывании радаров препятствий, остатке рабочего раствора в баке, возврате на точку взлета и изменении режима полета [5–6].

Наземное вспомогательное оборудование. Транспортировка агродрона должна осуществляться на грузовом микроавтобусе, при этом агродрон должен быть зафиксирован ремнем, продетым через монтажные кронштейны рамы, а лопасти винтов должны быть переведены в транспортное положение и зафиксированы специальными креплениями. Емкость для пестицидов должна быть тщательно очищена и пуста во время транспортировки. Аккумулятор во время транспортировки должен быть снят. Для зарядки аккумуляторов в полевых условиях целесообразно использовать бензиновый генератор с розеткой 32А и мощностью не менее 7 кВт. Для контроля метеоусловий, в частности, измерения скорости ветра используется портативный ультразвуковой анемометр, установленный на штативе на высоту порядка 3 м.

Настройка параметров химической обработки. Для обеспечения безопасности выполнения технологических операций по внесению химических средств защиты растений необходимо выполнить ряд подготовительных настроек, последовательность которых определена в руководстве по эксплуатации агродронов, где приводится оценка рисков при выполнении полетов гражданского беспилотного летательного аппарата.

Планирование маршрута полета необходимо проводить после выполнения подготовительных предполетных процедур и осуществлять его с учетом программы и методики экспериментальных исследований. Для большинства серийно выпускаемых агродронов составление плана осуществляется с использованием специальных программных приложений (рис. 2). Приложения позволяют устанавливать скорость полета, высоту выполнения химических обработок, норму внесения рабочего раствора и задавать другие параметры.

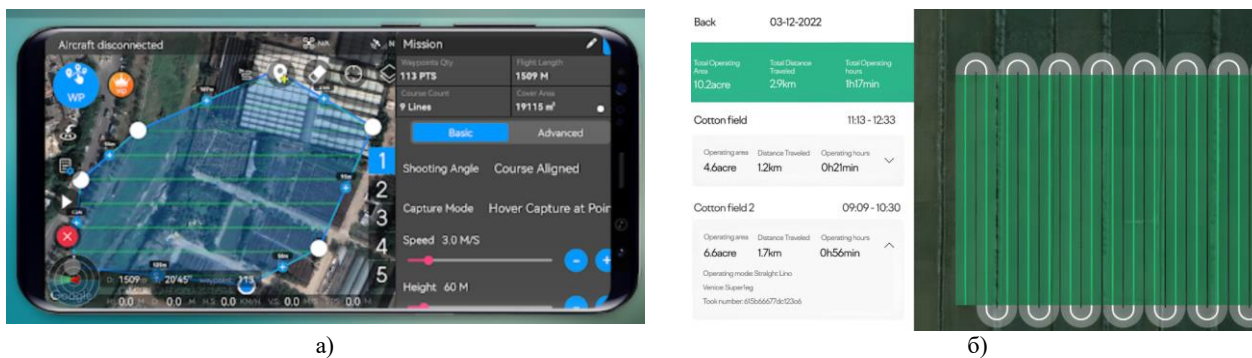


Рис. 2. Приложения для настройки параметров полета:
а) приложение DJI; б) приложение XAG

Предполетная подготовка также включает обязательную проверку стабильности работы системы внесения пестицидов. Для этих целей в полевых условиях проводят проверку корректности работы данной системы и в случае необходимости калибруют весовой модуль и датчик потока в соответствии с рекомендациями, приведенными в руководстве по эксплуатации производителя агродрона. Равномерность распределения рабочей жидкости каждой из форсунок проверяется и сравнивается с общим расходом при выполнении предварительных настроечных полетов до проведения основных экспериментальных исследований.

Далее в соответствии с планом проведения экспериментальных исследований осуществляется приготовление рабочего раствора. При этом необходимо учитывать, что для различных схем внесения препарата могут использоваться растворы различной концентрации, в этой связи нужно строго соблюдать рекомендуемую норму внесения рабочего раствора.

Программа экспериментальных исследований. Для сравнительной оценки мероприятий по защите кукурузы от насекомых вредителей при помощи агродронов и штанговых опрыскивателей программой экспериментальных исследований предусматривается решить следующие задачи:

1. Провести сравнительную оценку мероприятий по защите кукурузы с использованием агродронов и опрыскивателей при фиксированной ширине опрыскивания и рекомендуемой высоте полета. Провести исследования по осаждению капель на поверхность почвы (по возможности).

Цель – определить технико-экономические показатели выполнения технологической операции по химической обработке кукурузы и дать сравнительную оценку эффективности применения БЛА и опрыскивателя.

2. Выполнить оценку биологической эффективности действия инсектицидов против стеблевого мотылька и западного кукурузного жука при использовании БЛА и опрыскивателя.

Цель – установить показатели снижения численности насекомых-вредителей (западного кукурузного жука) и уменьшения повреждаемости культурных растений стеблевым мотыльком при обработке кукурузы с использованием БЛА и опрыскивателя.

Методические подходы экспериментальных исследований. Цель полетов – определение технико-экономических показателей работы БЛА и опрыскивателя при выполнении технологической операции по химической обработке кукурузы. Полеты БЛА осуществляются в ручном и/или автоматизированном режиме с целью проведения химической обработки в условиях VLOS в сегрегированном воздушном пространстве над землями сельскохозяйственного назначения (полевые участки). Движение опрыскивателя осуществляется на выделенном участке челночным способом.

Полеты гражданского БЛА выполняются на основании поданной в Центр единой системы организации воздушного движения (ЦЕС ОрВД) и одобренной заявки на использование воздушного пространства Республики Беларусь (ИВП).

Условия проведения экспериментальных исследований. Выполнение технологической операции по химической обработке кукурузы агродроном проводится при следующих режимах полета и метеоусловиях:

- максимальная рабочая скорость полета при опрыскивании – до 10 м/с;
- максимальная рабочая высота полета – до 5 м над культурой, максимальная высота возврата на точку взлета – до 20 м;
- максимальная дальность полета – зона радиусом в 500 м. от точки взлета;
- максимальная допустимая скорость ветра – 5 м/с, рабочая температура – от +15 °С до +40 °С, погодные ограничения: туман, дождь, шквалистый ветер, мокрый снег, снег с дождем;
- время полета: день, вечер.

Выполнение технологической операции по химической обработке кукурузы опрыскивателем проводится при следующих режимах работы и метеоусловиях:

- максимальная рабочая скорость движения – до 3,3 м/с;
- максимальная допустимая скорость ветра – 5 м/с, рабочая температура – от +15 °С до +40 °С, погодные ограничения: туман, дождь, шквалистый ветер, мокрый снег, снег с дождем;
- время работы: день, вечер.

На качество опрыскивания при помощи агродрона оказывает влияние возможность сноса препарата, поэтому для контроля этого риска следует руководствоваться практическими рекомендациями: выполнять обработку на высотах не более 5 м над культурой и скорости порядка 8 м/с (в настоящем исследовании оценка сноса не проводится).

Экспериментальные исследования должны проводиться при минимальной вариации температуры воздуха и скорости ветра, чтобы исключить или снизить потенциальные риски, связанные с воздействием указанных факторов на процесс распыления и осаждения капель рабочего раствора.

Измерения метеорологических параметров проводятся при помощи портативной метеостанции.

Для корректного отображения параметров окружающей среды измерительное оборудование должно быть установлено стационарно на расстоянии 10–20 м от экспериментального участка и на высоте 3 метра над землей.

Методические подходы проведения сравнительной оценки мероприятий по защите кукурузы от насекомых вредителей при помощи агродронов и опрыскивателей (наземных технических средств). Для проведения сравнительной оценки мероприятий по защите кукурузы от насекомых вредителей при помощи агродронов и опрыскивателей (наземных технических средств) выбираются аналогич-

ные по геометрическим размерам и рельефу рабочие участки, площадь обработки для которых является эквивалентной [7].

Характеристики условий проведения исследований записываются на отдельном листе с указанием даты и места проведения исследований, характеристики культуры (сортовые особенности, стадия роста, высота), характеристики участка и метеоусловий (размер участка, рельеф, температура и относительная влажность воздуха, скорость и направление ветра по отношению к полету БЛА).

С 3-кратной повторностью проводят измерения характеристик и параметров полета БЛА. При этом вносят в таблицу значения скорости полета, высоты полета над культурой, ширину и норму внесения рабочего раствора, скорость вращения атомизаторов форсунок (или размер капли), расход заряда аккумулятора, производительность.

Путем проведения хронометража определяют подготовительно-заключительное время, которое учитывает подготовку БЛА к работе, время одного прохода, а также время на выполнение разворотов в конце гона. Значения данных показателей и информация о времени обработки всего экспериментального участка позволяют вычислить коэффициент рабочих ходов БЛА как отношение времени рабочих ходов к общему времени обработки. Определение времени перезаправки технологической емкости БЛА новой порцией рабочего раствора позволяет вычислить коэффициент использования времени смены при работе агродрона, что при известной рабочей ширине внесения раствора и скорости полета, позволяет определить сменную производительность.

Перед началом исследований определяют рабочую ширину захвата путем измерения шага расстановки распылителей на штанге и определения общей длины штанги (контроль). Для определения расхода рабочей жидкости (производительности) опрыскивателя контролируют расход через отдельные распылители и вычисляют общий расход рабочей жидкости в единицу времени. Также перед началом исследования подготавливают участок к работе, намечают линию первого прохода и отбивают поворотные полосы.

Путем проведения хронометража определяют подготовительно-заключительное время для опрыскивателя, которое включает время на проведение ежесменного технического обслуживания, время на подготовку агрегата к переезду на рабочий участок, время на технологические переезды. Дополнительно учитываются и фиксируются время на техническое обслуживание опрыскивателя в течение смены, время регламентированных перерывов на отдых и личные надобности. Путем выполнения хронометража также определяют время на подготовку раствора и заполнение накопительной емкости новой порцией рабочей жидкости. Коэффициент использования времени смены для опрыскивателя определяют как отношение времени основной работы к действительному времени смены.

Для проведения сравнительной оценки мероприятий по защите кукурузы от насекомых вредителей при помощи агродронов и опрыскивателей дополнительно вычисляют удельный расход топлива и электроэнергии, удельную материалоемкость и другие технико-экономические показатели.

Визуализация схемы экспериментальных исследований представлена на рис. 3. Агродрон перемещается над центральным рядком и обрабатывает при фиксированной ширине опрыскивания до 10 рядков кукурузы с междурядьями 70 см. Результаты каждого опыта фиксируются не менее трех раз в целях обеспечения сопоставимости и оценки стабильности выходного параметра. Таким образом, рабочая ширина захвата опрыскивателя составляет не менее 7 м. Длина гона при обработке БЛА равна рабочей длине участка, поскольку при работе агродрона для его разворота и захода на новую позицию не требуется дополнительного пространства.

Для определения технико-экономических параметров опрыскивателя на эквивалентном по площади участке отбивают поворотные полосы, ширина которых равна рабочей ширине захвата штангового опрыскивателя. Работу начинают с выполнения рабочих ходов, а в конце опыта проводят обработку поворотных полос рабочего участка. Таким образом, в соответствии с рис. 3 длина рабочего участка определяется как сумма рабочей длины гона и ширин поворотных полос.

Методические подходы оценки биологической эффективности обработки кукурузы от насекомых-вредителей при помощи агродрона. Экспериментальные исследования должны проводиться при максимальной скорости ветра не более 5 м/с и температуре окружающей среды до +30 °С. Технологические параметры агродрона устанавливаются на основании ранее выполненной оценки качества осаждения рабочего раствора: норма внесения рабочего раствора – 10 л, установленная ширина внесения – 8 м (ширина полетного галса – 6 м), скорость полета – 7–8 м/с, высота полета – 3,5–4 м над культурой, размер капли – 150 мкм.

Экспериментальные исследования по защите кукурузы от стеблевого кукурузного мотылька проводятся в стадии «8–10 листьев» при высоте растений 1,5–1,7 м (III декада июня – I декада июля), от западного кукурузного жука в стадии «цветение – развитие первых зерен» при высоте растений 2,0–3,0 м (III декада июля – I декада августа)

Рабочий раствор для проведения исследований по биологической оценке эффективности действия пестицидов готовится непосредственно перед обработкой (емкость заполняется на 2/3 водой, добавляется необходимый объем пестицида и раствор перемешивается, добавляется оставшийся объем воды и готовый раствор снова перемешивается).

Инсектицидная обработка кукурузы проводится после предварительной оценки пороговых значений численности вредителей: стеблевой кукурузный мотылек – 1–2 яйцекладки/100 растений (при возделывании на зерно) и 2–3 яйцекладки/100 растений (при возделывании на зеленую массу); западный кукурузный жук – 20 особей/ловушку за 7 суток.

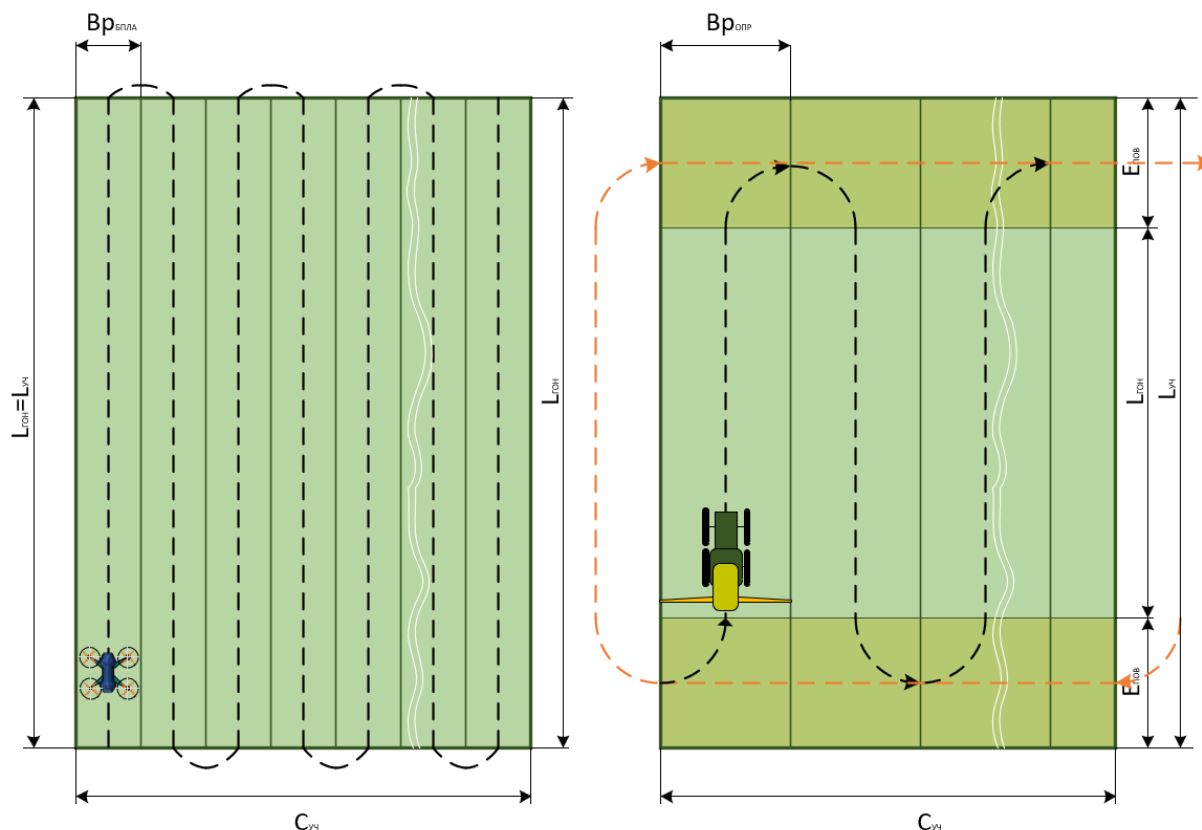


Рис. 3. Схема экспериментальных исследований

Эксперименты по определению биологической эффективности обработки кукурузы от насекомых-вредителей осуществляются на отдельных полевых участках методом сплошного опрыскивания при ранее определенных рациональных параметрах эксплуатации агродрона.

Эффективность обработки против стеблевого кукурузного мотылька определяют непосредственно перед уборкой. Стебли и початки осматривают, срезают на уровне почвы и, при наличии повреждений вредителем, вскрывают их вдоль до основания. Определяется количество гусениц и рассчитывается степень поврежденности растений в сравнении с базовым вариантом (без проведения химической обработки).

Эффективность обработки против западного кукурузного жука определяется на основании подсчета отловленных имаго вредителя на феромонных ловушках. Ловушки располагают в посевах кукурузы за 3–5 суток до обработки на разные рядки по диагонали на высоте 1 м с последующей заменой на новые непосредственно перед обработкой и далее в разные дни учетов (через 1–3 суток, 6–8 суток, 12–16 суток после обработки). Определяется среднесуточная численность на ловушку и рассчитывается снижение численности имаго вредителя в сравнении с исходной численностью.

Результаты маршрутных обследований посевов кукурузы и определение локаций для проведения сравнительной оценки агродрона и штангового опрыскивателя. В целях определения локаций для вы-

полнения сравнительных исследований эффективности технических средств для химических обработок (агродрон и штанговый опрыскиватель) были проведены маршрутные обследования полей в различных регионах Республики Беларусь, где предшественником была кукуруза.

Учеты в растительных остатках кукурузы, проведенные в Гомельской области в I декаде мая, показали, что популяция стеблевого кукурузного мотылька (05–06.05.2025 г.) находилась в стадии гусеницы. Гусеницы активны, однако следует отметить, что некоторая часть гусениц (на отдельных полях до 33,3 %) погибла (рис. 4).

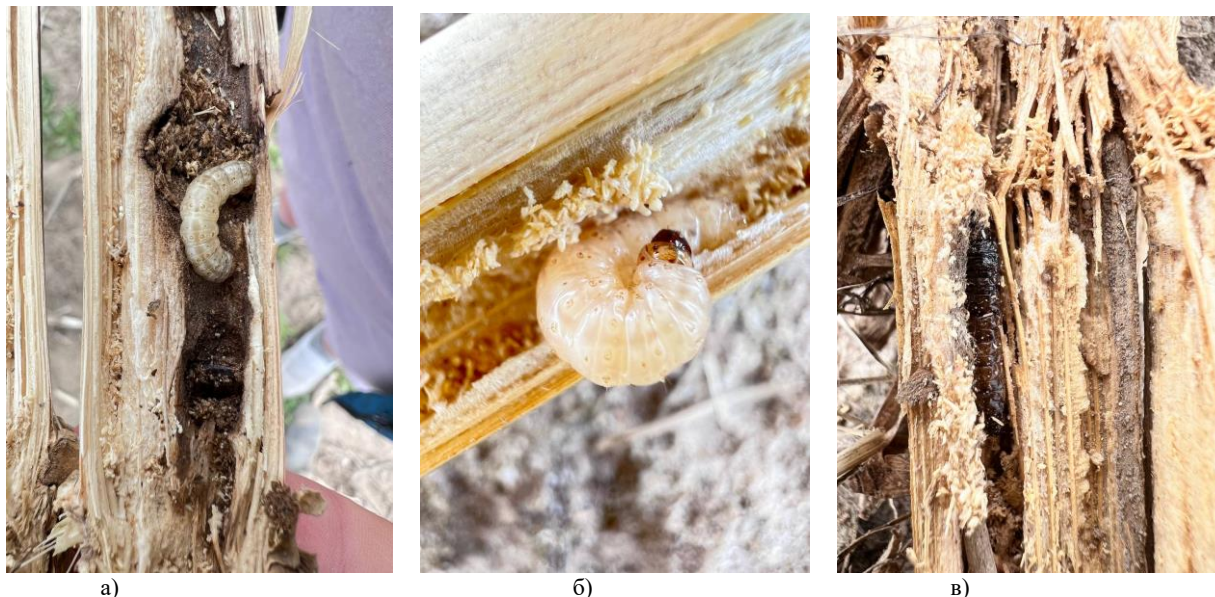


Рис. 4. Гусеницы СКМ внутри растительных остатков кукурузы: а–б) живые гусеницы, в) погибшая гусеница (Гомельская область, 2025 г.)

Установлена 40,0–90,0%-ная заселенность остатков перезимовавшими гусеницами стеблевого кукурузного мотылька, что может указывать на высокую плотность фитофага в вегетационном сезоне в посевах кукурузы, которая расположена рядом.

О наличии гусениц в стебле в большинстве случаев свидетельствует отверстие, проделанное гусеницей для выхода бабочек вредителя, которые располагались как в прикорневой части стебля, так и на высоте 2–3 узлов (рис. 5).



Рис. 5. Отверстия в стебле кукурузы для выхода имаго вредителя

Во II декаде мая при анализе растительных остатков в Березовском, Брестском, Ивановском, Кобринском, Малоритском районах Брестской области также отмечена высокая их заселенность гусеницами СКМ – 39,7–68,1 %. Гусеницы все активны, что свидетельствует о благоприятной их перезимовке.

В конце III декады мая в Гродненской области (Гродненский, Мостовский, Скидельский, Щучинский р-ны) отмечена 18,6–44,1 % заселенность растительных остатков кукурузы гусеницами стеблевого кукурузного мотылька.

Необходимо в дальнейшем контролировать стадии развития стеблевого кукурузного мотылька для установления срока вылета бабочек и начала яйцекладки и при пороговой ее численности (1–2 яйцекладки/100 растений (при возделывании на зерно) и 2–3 яйцекладки/100 растений (при возделывании на зеленую массу)) планировать проведение инсектицидных обработок с помощью агродрона и высококлиренсного опрыскивателя.

Для облегчения обнаружения яйцекладок на растении кукурузы установлено, что чаще всего для откладки яиц самки СКМ используют 7-й лист (22,6 %), 6-й – 20,6 % и 4-й – 16,2 % (рис. 6).

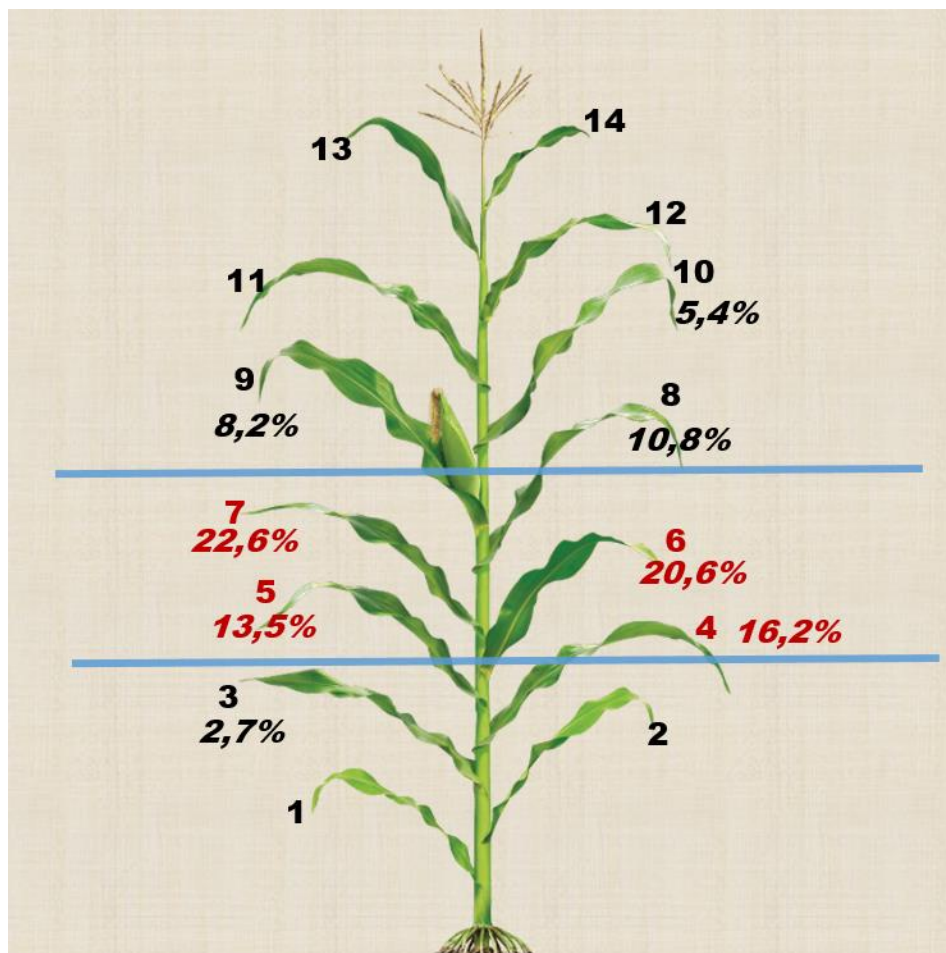


Рис. 6. Листовые пластинки кукурузы, чаще всего используемые самками СКМ для откладки яиц (по результатам многолетних исследований)

Яйцекладки размещались на высоте 19–179 см (среднее значение 89 см) при высоте кукурузы 100–239 см, начиная с 3-го (2,7 %) до 10-го листа (5,4 %).

Заключение

Эффективность обработки против стеблевого кукурузного мотылька определяют непосредственно перед уборкой. Стебли и початки осматривают, срезают на уровне почвы и, при наличии повреждений вредителем, вскрывают их вдоль до основания. Определяется количество гусениц и рассчитывается процент поврежденности растений в сравнении с вариантом без обработки растений токсикантами.

Для проведения инсектицидных обработок для защиты кукурузы от СКМ и ЗКЖ с помощью агродрона и наземного опрыскивателя подобраны инсектициды, обладающие высокой биологической эффективностью.

Фенологические наблюдения за культурой показали, что в южных регионах страны в начале III декады мая растения кукурузы находятся в стадии 3–4 листьев, в центральных – 1–2 листьев.

В Брестской области (в очагах с высокой численностью западного кукурузного жука (Coleoptera: Galerucinae: Chrysomelidae: *Diabrotica virgifera virgifera* Le Conte, ЗКЖ)) в посевах кукурузы в III декаде мая проведены почвенные раскопки, по результатам которых личинок фитофага не обнаружено.

Подготовлено 50 феромонных ловушек с синтетическим половым феромоном западного кукурузного жука «Дивабат» для их расстановки в агроценозах кукурузы, расположенных рядом с очагами с высокой численностью имаго в 2024 г. Обработку растений кукурузы инсектицидами для защиты от ЗКЖ необходимо проводить при ЭПВ диабротики – 20 особей/ловушку за 7 суток. Эффективность защитных мероприятий от ЗКЖ определяется на основании подсчета отловленных имаго вредителя на феромонных ловушках. Ловушки располагают в посевах кукурузы за 3–5 суток до опрыскивания на разные рядки по диагонали на высоте 1 м с последующей заменой на новые непосредственно перед обработкой и далее в разные дни учетов (через 1–3 суток, 6–8 суток, 12–16 суток после обработки). Определяется среднесуточная численность на ловушку и рассчитывается снижение численности имаго вредителя в сравнении с исходной численностью.

ЛИТЕРАТУРА

1. DJI Agras T50. – URL: <https://ag.dji.com/t50> (дата обращения: 13.05.2025).
2. XAG P100Pro. – URL: <https://www.xa.com/en/p100pro> (дата обращения: 13.05.2025).
3. Z30/Z50 Routine Maintenance Guide / URL: https://www.youtube.com/watch?v=3Fp_xE6zI-4 (дата обращения: 13.05.2025).
4. TopXGun FP600 Agriculture Drone. – URL: <https://www.topxgunag.com/topxgun-fp600-agriculture-drone> (дата обращения: 13.05.2025).
5. Ленский, А. В. Конструктивные особенности агродронов / Ленский А. В., Абдулхаев Х. Г. // Интеграция образования, науки и производства: проблемы и решения: сб. материалов Междунар. науч.-практич. конф. (Наманган, 16–17 октября 2024). – Наманганский инженерно-строительный институт, 2024. – 441 с. – С. 230–234.
6. Ленский, А. В. Классификация беспилотных летательных аппаратов для сельского хозяйства / Ленский А. В. // Интеграция образования, науки и производства: проблемы и решения: сб. материалов Междунар. науч.-практич. конф. (Наманган, 16–17 октября 2024). – Наманганский инженерно-строительный институт, 2024. – 441 с. – С. 235–239.
7. Оценка эффективности применения комплекса защиты растений на базе агродрона А-60Х / Ю. Леоновец [и др.] // Наука и инновации. – 2023. – №11 (249). – С. 32–36.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СЕМЯН КУКУРУЗЫ DENGHAI 618

Д. А. МИХЕЕВ, ЧЖАН ЮН

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

(Поступила в редакцию 15.10.2025)

Повышение урожайности кукурузы является приоритетным направлением в развитии сельского хозяйства. Одним из эффективных способов увеличения урожайности кукурузы является проведение предпосевной обработки семян методом дражжирования. Для повышения эффективности исследования механизма дражжирования семян кукурузы и оптимизации производительности оборудования для дражжирования семян была предложена концепция метода дискретных элементов (DEM). Для проведения метода дискретных элементов и дальнейшего моделирования процесса создания искусственных оболочек на семенах кукурузы необходимо определить физико-механические свойства семян. В результате научных исследований были исследованы семена кукурузы сорта Denghai 618, этот сорт имеет наибольшее распространение в регионе Хэтао Внутренней Монголии, Китай. Были изучены и использованы методики определения физико-механических свойств семян. В результате исследований были определены геометрические размеры и форма семян сорта Denghai 618, также была определена плотность семян, коэффициенты трения и коэффициент восстановления семян. Результаты научных исследований показывают, что среди семян кукурузы сорта Denghai 618 форма конского зуба составляет наибольшую долю, достигая 79,5%; плотность семян составляет 1,2952 г/см³; коэффициент трения покоя между семенами составляет 0,5802, коэффициент динамического трения между семенами 0,2797, коэффициент трения покоя между семенами и стальной пластиной составляет 0,4903, динамический коэффициент трения между семенами и стальной пластиной составляет 0,2942; коэффициент восстановления нормальной реакции после столкновения между семенами составляет 0,2818, а коэффициент восстановления после столкновения семян со стальной пластиной составляет 0,7275. Определенные физико-механические показатели семян являются вводными параметрами для использования дискретно-элементного численного моделирования частиц.

Ключевые слова: семена кукурузы, дискретный элемент, форма семян, коэффициент трения, коэффициент восстановления.

Increasing corn yields is a priority in agricultural development. One effective way to increase corn yields is pre-sowing seed treatment using pelleting. To improve the efficiency of studying the corn seed pelleting mechanism and optimize the performance of seed pelleting equipment, the concept of the discrete element method (DEM) was proposed. To implement the discrete element method and further model the process of creating artificial seed coats, it is necessary to determine the physico-mechanical properties of the seeds. The research involved studying the Denghai 618 corn variety, which is most widely grown in the Hetao region of Inner Mongolia, China. Methods for determining the physico-mechanical properties of the seeds were explored and applied. As a result of the research, the geometric dimensions and shape of Denghai 618 seeds were determined, as well as the seed density, friction coefficients and seed recovery coefficient. The results of scientific research show that among the Denghai 618 corn seeds, the horsetooth shape accounts for the largest proportion, reaching 79.5 %; the seed density is 1.2952 g / cm³; the static friction coefficient between seeds is 0.5802, the dynamic friction coefficient between seeds is 0.2797, the static friction coefficient between seeds and a steel plate is 0.4903, and the dynamic friction coefficient between seeds and a steel plate is 0.2942; the recovery coefficient of the normal reaction after collision between seeds is 0.2818, and the recovery coefficient after collision of seeds with a steel plate is 0.7275. The determined physical and mechanical properties of seeds are input parameters for using discrete element numerical modeling of particles.

Key words: corn seeds, discrete element, seed shape, friction coefficient, recovery coefficient.

Введение

Кукуруза – это одна из важнейших сельскохозяйственных культур, занимающая третье место в мире по посевной площади после пшеницы и риса. Значимость кукурузы заключается в разных направлениях использования зерна и зеленой массы.

Зерно используется на продовольственные, кормовые и технические цели. В пищевой промышленности кукурузное зерно является сырьем для производства крупы, муки, масла, крахмала, спирта. Зерно сахарного подвита кукурузы употребляется в пищу в вареном и консервированном виде.

Кукурузу можно считать и технической культурой, в связи с использованием зерна на технические цели. Кукурузный крахмал используется в бумажной, химической и фармацевтической промышленности. Доля кукурузы в мировом производстве крахмала составляет около 75 %.

С ростом цен на энергоресурсы возрос интерес к использованию зерна кукурузы для производства биотоплива. Выход биоэтанола из кукурузного зерна выше, чем у других культур.

Кукурузное зерно отличается высокими кормовыми достоинствами. Как высокоэнергетический корм, зерно кукурузы пригодно для кормления всех видов животных и птицы. Оно является неотъемлемой частью комбикормов. Кукуруза – лучшая силосная культура, так как отличается благоприятным соотношением питательных веществ и хорошо силосуется.

Кукуруза имеет большое агрономическое и экологическое значение. Выращиваемая на зерно, она является хорошим предшественником для многих культур, раннеспелые гибриды – для озимой пшеницы [1].

Повышение урожайности такой значимой сельскохозяйственной культуры является приоритетным направлением развития сельского хозяйства.

Одним из путей увеличения урожайности кукурузы является проведение предпосевной обработки семян методом дражирования.

В процессе дражирования семена смешиваются друг с другом и с компонентами искусственной оболочки (сухим порошком), а также взаимодействуют с элементами камеры смешивания дражировщика [2]. Анализ процесса создания искусственной оболочки на семенах является достаточно сложными. В прошлом большинство исследований процесса контакта и столкновения семян в процессе дражирования проводились экспериментальными методами, а структурные параметры и воздействие элементов оборудования оптимизировались с помощью экспериментальной теории оптимизации проектирования, оптимизация рабочих параметров. Однако экспериментальный процесс слишком сложен, трудоемок и дорог, что в определенной степени ограничивает его широкое применение и следовательно, сдерживает исследования механизма дражирования семян.

С развитием компьютерных технологий вышеуказанные проблемы могут быть решены путем использования метода дискретных элементов (DEM) для анализа контакта частиц с механическими деталями [3].

Объектом исследования метода дискретных элементов являются большие наборы частиц, такие как гранулированные среды, сыпучие материалы и молекулы, а также их движение, взаимодействие и деформации. Это метод, который упрощает группу частиц в набор частиц с определенной формой и массой и рассчитывает контакт между частицами [4]. В настоящее время метод дискретных элементов стал общим методом анализа контакта между частицами и связанными с ними механическими компонентами. Он широко используется в области сельскохозяйственного машиностроения [5–10].

На основе теории анализа дискретных элементов [11] было разработано программное обеспечение для анализа дискретных элементов EDEM, которое в дальнейшем использовалось для проведения моделирования процесса дражирования семян кукурузы. Моделирование позволяет выявить кинематические и динамические характеристики семян, а также определить взаимосвязь и механизм смешивания семян и сухого порошка в процессе создания искусственной оболочки. В результате моделирования можно улучшить процесс создания искусственной оболочки на семенах путем оптимизирования параметров оборудования.

В моделировании дискретных элементов физические параметры частиц и параметры контакта между частицами являются предпосылками для численного моделирования.

Цель исследования – определение физико-механических свойств семян кукурузы сорта Denghai 618 для дальнейшего использования полученных данных в моделировании процесса движения семян с использованием метода дискретных элементов (DEM).

Основная часть

В статье рассмотрены экспериментальные методы исследования физико-механических свойств семян кукурузы сорта Denghai 618, с целью получения входных данных для проведения метода дискретных элементов и дальнейшего моделирования процесса создания искусственной оболочки на семенах.

В качестве объекта исследования был выбран сорт семян кукурузы Denghai 618, имеющий наибольшую распространенность в регионе Хэтао Внутренней Монголии, Китай.

Были проведены экспериментальные исследования по определению: параметров формы семян, плотности, коэффициента трения, коэффициента восстановления. Результаты физических испытаний использовались в качестве основы для выбора диапазона параметров в моделировании, предоставляя теоретическую основу для использования теории и методов дискретных элементов для анализа динамических и кинематических характеристик семян кукурузы в процессе дражирования, механизме создания искусственной оболочки, скорости создания искусственной оболочки и т. д.

Определение формы семян кукурузы

Случайным образом было отобрано 200 семян кукурузы сорта Denghai 618. Проанализированы геометрические параметры их формы и подсчитана доля семян каждой формы. Результаты исследований показали, что форму семян можно представить пятью разновидностями: форма зуба лошади, форма треугольной призмы, форма эллипсоидного конуса, сферическая форма и неправильная форма [12].

Среди характеристик семян, относящихся к форме зуба лошади, следует выделить четыре ребра сбоку, в основном семена соответствуют форме зуба лошади, а вид снизу прямоугольный (рис. 1 а). К характеристикам семян в форме треугольной призмы относятся: три ребра сбоку, вид снизу в фор-

ме треугольника, а общая форма похожа на треугольную призму (рис. 1 *b*). К характеристикам семян в форме эллипсоидного конуса можно отнести следующее: нет никаких ребер сбоку, вид снизу эллипсоидный (рис.1 *c*). Сферические семена имеют полную форму похожую на шар (рис.1 *d*). Неправильные семена не имеют фиксированной формы (рис.1 *e*).

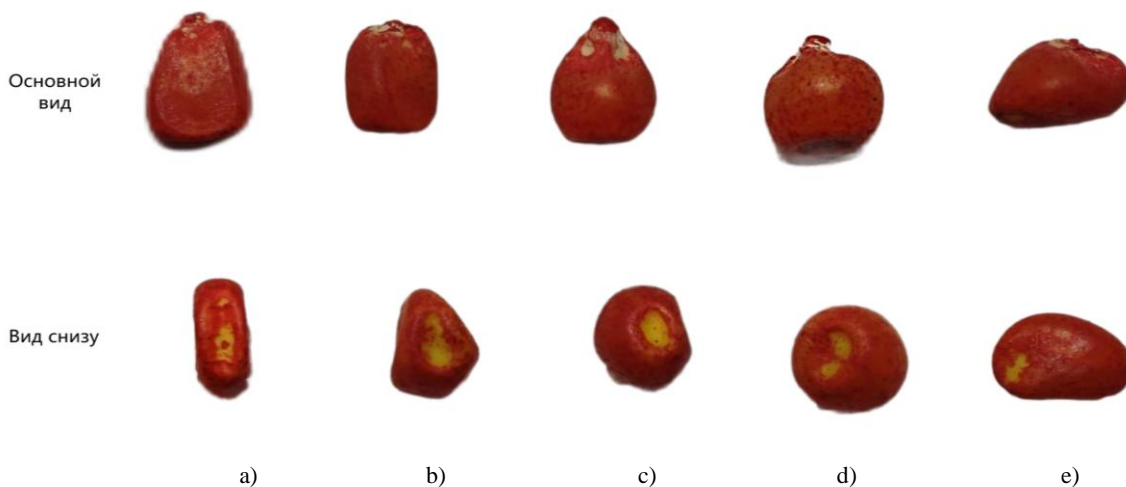


Рис. 1. Классификация форм семян кукурузы:
 а) форма зуба лошади; б) форма треугольной призмы; в) форма эллипсоидального конуса; д) сферическая форма; е) неправильная форма

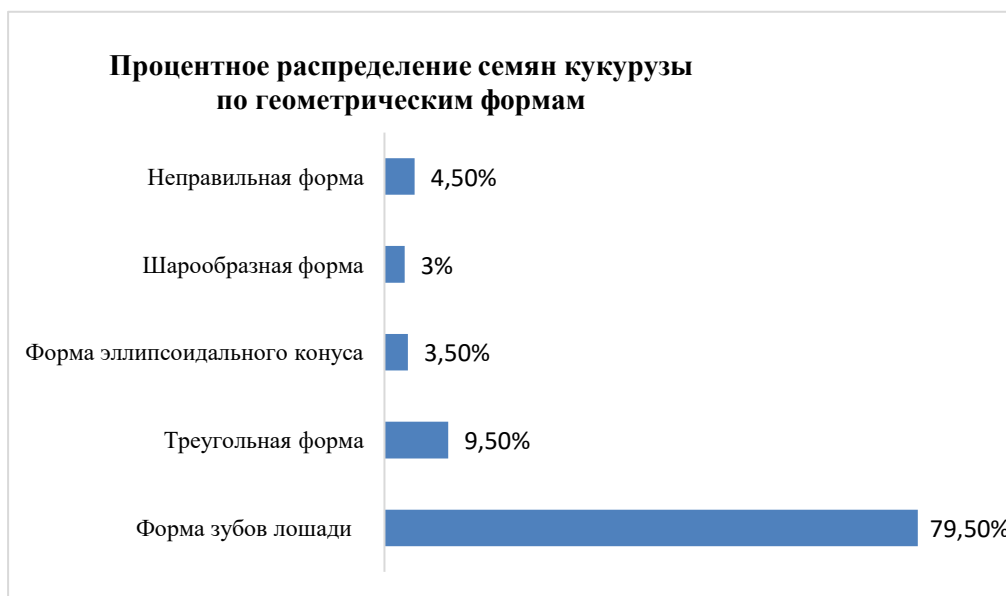


Рис. 2. Распределение семян кукурузы по геометрическим формам

Определение характерных размеров семян кукурузы

Для моделирования движения семян кукурузы необходимо определить их характерные размеры [12]. Для семян кукурузы в форме зуба лошади, форме треугольной призмы и семян кукурузы в форме эллипсоидного конуса самая широкая часть семенной частицы определяется как характерный размер W_2 , ширина семени, где кривизна переднего профиля семенной частицы существенно изменяется в точке поворота, определяется как характерный размер W_1 , самая толстая часть семенной частицы определяется как характерный размер T_2 , ширина в положении, где кривизна бокового профиля семенной частицы существенно изменяется в точке поворота, определяется как характерный размер T_1 , а общая высота семенной частицы определяется как характерный размер H (рис. 3). Для сферических семян кукурузы самая широкая часть семенной частицы определяется как характерный размер W , самая толстая часть семенной частицы определяется как характерный размер T , а общая высота семенной частицы определяется как H (рис. 3).

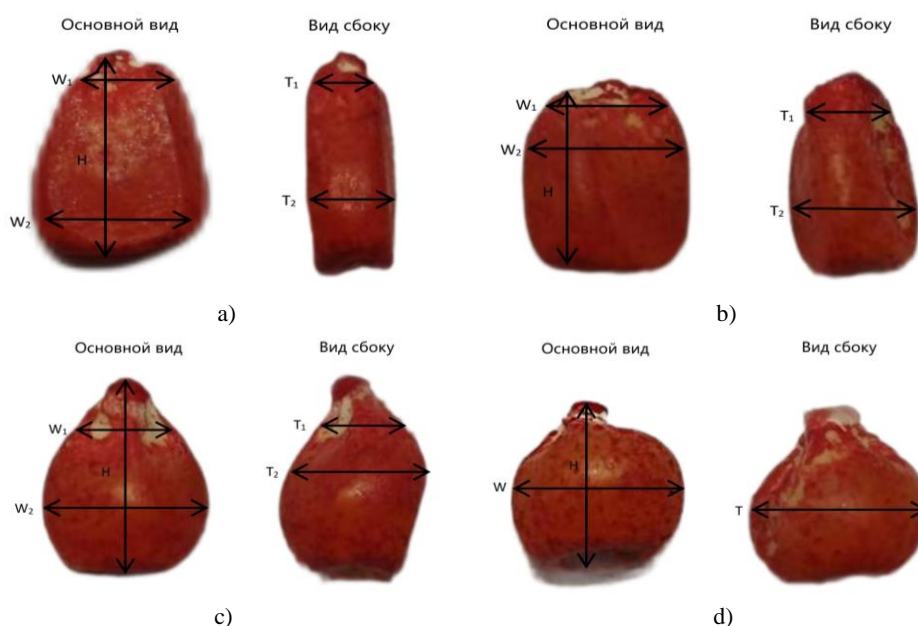


Рис. 3. Схематическая диаграмма характерных размеров четырех форм семян кукурузы: а) форма зуба лошади; б) форма треугольной призмы; в) форма эллипсоидального конуса; д) сферическая форма

Перед замером отбирали случайным образом по 100 семян каждой формы, далее размеры измеряли с помощью штангенциркуля с точностью 0,02 мм. Результаты измерений приведены в табл. 1. Замеры семян неправильной формы не производили.

Таблица 1. Средние значения характерных размеров семян различной формы

Форма	Среднее значение характерных размеров (мм)				
	W ₁	W ₂ (W)	H	T ₁	T ₂ (T)
Форма зуба лошади	6,39	8,3	11,93	4,77	5,26
Форма треугольной призмы	5,75	7,85	11,58	4,83	6,26
Форма эллипсоидального конуса	5,77	8,25	10,43	5,98	6,52
Сферическая форма		7,94	8,99		7,57

Измерение плотности семян кукурузы

Плотность семян является одним из важных параметров для создания модели частиц дискретных элементов семян. Было случайным образом выбрано пять групп семян, по 20 семян в каждой группе. Плотность каждой группы семян измерялась с помощью многофункционального твердо-жидкостного измерительного прибора ДН-300Х (точность 0,001 гр/см³), и было взято среднее значение. Результаты измерений представлены в табл. 2.

Таблица 2. Значения плотности семян кукурузы (0,001 гр/см³)

Группа	1	2	3	4	5
Плотность	1,288	1,3	1,275	1,32	1,293
Среднее значение	1,2952				

Измерение коэффициента трения семян кукурузы

В процессе дражирования семян кукурузы между семенами, а также между семенами и стальными элементами камеры смешивания происходят различные столкновения и взаимодействия в результате чего возникающая сила трения будет значительно влиять на процесс движения семян. Чтобы повысить точность анализа численного моделирования дискретных элементов, необходимо измерить коэффициент трения покоя и динамического трения. Для измерения использовался динамический тестер коэффициента трения ST-MXZ-1.

Пластина для семян и стальная пластина были помещены на платформу прибора соответственно, а другая пластина для семян была прикреплена к ползунку. Расстояние перемещения было установлено на 40 мм, и прибор был включен для записи данных. Тест был повторен 6 раз, и было взято среднее значение. Процесс измерения показан на рис. 4–6, а результаты измерений приведены в табл. 3.

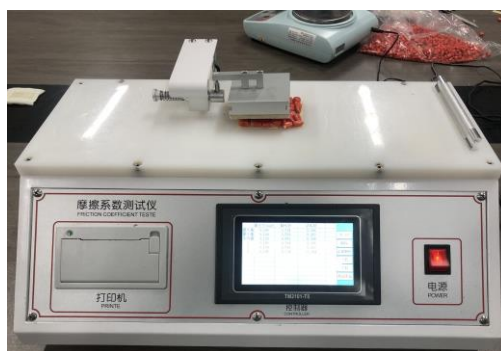


Рис. 4. Тестер динамического коэффициента трения ST-MXZ-1



Рис. 5. Пластина для семян кукурузы

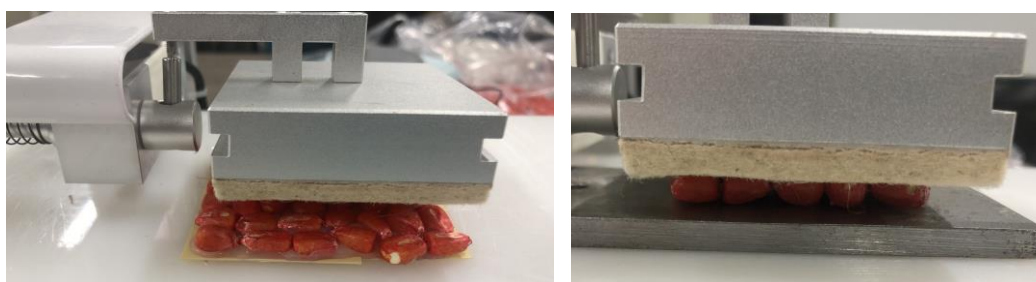


Рис. 6. Измерение коэффициента трения семян кукурузы:
а) семена и семена; б) семена и стальная пластина

Таблица 3. Значения коэффициента трения семян кукурузы

Группа	Семена и семена						Семена и стальные пластины					
	Коэффициент трения покоя			Коэффициент динамического трения			Коэффициент трения покоя			Коэффициент динамического трения		
	Тестовое значение	Среднее значение	Стандартное отклонение	Тестовое значение	Среднее значение	Стандартное отклонение	Тестовое значение	Среднее значение	Стандартное отклонение	Тестовое значение	Среднее значение	Стандартное отклонение
1	0,476	0,5802	0,08155	0,166	0,2797	0,08864	0,441	0,4903	0,04047	0,287	0,2942	0,01466
2	0,546			0,213			0,439			0,272		
3	0,682			0,359			0,479			0,321		
4	0,486			0,198			0,529			0,297		
5	0,653			0,379			0,539			0,297		
6	0,638			0,363			0,518			0,291		

Измерение коэффициента восстановления нормальной реакции после столкновения семян кукурузы.

Коэффициент восстановления нормальной реакции – это физическая величина, характеризующая степень сохранения нормальной (перпендикулярной поверхности) составляющей скорости частицы после удара, и определяется как отношение модуля нормальной составляющей скорости после удара к модулю нормальной составляющей скорости до удара [13, 14].

$$\varepsilon = \frac{v_1'}{v_1}, \quad (1)$$

где: ε – коэффициент восстановления после столкновения; v_1' – скорость объекта 1 после столкновения, м/с; v_1 – скорость объекта 1 до столкновения, м/с.

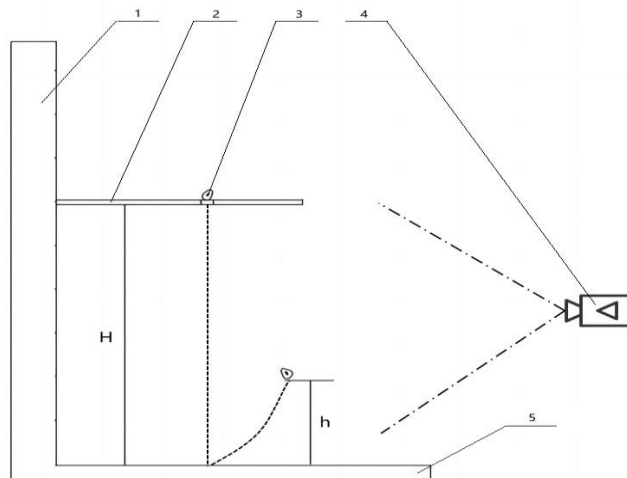


Рис. 7. Принципиальная схема установки определения коэффициента восстановления семян:
1) рама; 2) держатель семян; 3) семена кукурузы; 4) высокоскоростная камера; 5) опорное основание
Примечание: H – высота падения семян (мм) h – высота отскока семян (мм)

Если семена свободно падают и сталкиваются с семенами или стальной пластиной на опорном основании, семена будут отскакивать после столкновения на высоту h . Во время свободного падения и подъема семян работает только сила тяжести самих семян, а семена или стальная пластина на опорном основании не движутся в течение всего процесса. В это время, $v_1 = \sqrt{2gH}$, $v_1' = \sqrt{2gh}$, тогда расчет коэффициента восстановления столкновения можно упростить следующим образом:

$$\varepsilon = \frac{v_1'}{v_1} = \frac{\sqrt{2gh}}{\sqrt{2gH}} = \sqrt{\frac{h}{H}}, \quad (2)$$

где: g – ускорение силы тяжести м/с²; H – Высота падения м; h – Высота отскока м.

Подготовленную семенную пластину и стальную пластину поочередно помещали на опорное основание. Семена кукурузы свободно падали с фиксированной высоты 0,3 м, сталкивались с семенной пластиной и стальной пластиной соответственно. Для сбора видео и фотографий падения семян использовалась высокоскоростная система камер.

Коэффициенты восстановления при столкновении семян с семенами, а также между семенами и стальной пластиной были рассчитаны соответственно. Испытание было повторено 10 раз, после чего было определено среднее значение. Результаты измерений представлены в табл. 4.

Таблица 4. Результаты определения коэффициента восстановления семян кукурузы

Группа	Семена с семенами				Семена и стальная пластина			
	Высота отскока, мм	Коэффициент восстановления при столкновении	Среднее значение	Стандартное отклонение	Высота отскока, мм	Коэффициент восстановления при столкновении	Среднее значение	Стандартное отклонение
1	28	0,3055	0,2818	0,01587	163	0,7141	0,7275	0,0074
2	19	0,2517			159	0,728		
3	22	0,2708			161	0,7326		
4	25	0,2887			155	0,7188		
5	27	0,3			158	0,7257		
6	23	0,2769			156	0,7211		
7	26	0,2944			161	0,7326		
8	21	0,2646			164	0,7394		
9	23	0,2769			159	0,728		
10	25	0,2887			162	0,7348		

Заключение

В статье представлены результаты исследований семян кукурузы сорта Denghai 618, наиболее распространенного сорта в Хэгао Внутренней Монголии, Китай. Были определены характерные размеры семян различных форм, а также их физические и механические свойства.

Форма семян кукурузы сорта Denghai 618 представлена пятью формами: форма конского зуба, форма треугольной призмы, форма эллипсоидного конуса, сферическая форма и неправильная форма.

Плотность семян измерялась с помощью многофункционального твердо-жидкостного двойного измерительного прибора плотности ДН-300Х, плотность составила 1,2952 г/см³.

Коэффициент статического трения и коэффициент динамического трения между семенами кукурузы и стальной пластиной измерялись с помощью динамического тестера коэффициента трения ST-MXZ-1. Были получены следующие значения: статический коэффициент трения между семенами составил 0,5802, динамический коэффициент трения составил 0,2797, статический коэффициент трения между семенами и стальной пластиной составил 0,4903, динамический коэффициент трения составил 0,2942.

Коэффициент восстановления нормальной реакции после столкновения между семенами кукурузы и стальной пластиной измерялся с помощью испытания на падение при помощи лабораторной установки. Были получены следующие значения: коэффициент восстановления после столкновения между семенами составил 0,2818, а коэффициент восстановления после столкновения между семенами и стальной пластиной составил 0,7275.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агро Эксперт Групп. Кукуруза [Электронный ресурс]. – 2025. – URL: <https://agroex.ru/culture/kukuruza> (дата обращения: 19.09.2025).
2. Михеев, Д. А. Дrajирование семян сахарной свеклы центробежным дражиратором с лопастным отражателем: монография / Д. А. Михеев; под ред. Д. А. Михеева. – Горки, 2017. – 180 с.
3. Cundall P A, Strack O D L. A discrete numerical model for granular assemblies// *geotechnique*. – 1979. – № 29(1). – С. 47–65.
4. Jaeger H M, Nagel S R, Behringer R P. The physics of granular materials// *Physics today*. – 1996. – № 49(4). – С. 32–38.
5. Ghodki B M, Patel M, Namdeo R, et al. Calibration of discrete element model parameters: Soybeans// *Computational Particle Mechanics*. – 2019. – № 6 – С. 3–10.
6. Horabik J, Wiącek J, Parafiniuk P, et al. Calibration of discrete-element-method model parameters of bulk wheat for storage// *Biosystems Engineering*. – 2020. – № 200 – С. 298–314.
7. Ucgul M, Fielke J M, Saunders C. Defining the effect of sweep tillage tool cutting edge geometry on tillage forces using 3D discrete element modelling// *Information Processing in Agriculture*. – 2015. – № 2(2) – С. 130–141.
8. Santos K G, Campos A V P, Oliveira O S, et al. DEM simulations of dynamic angle of repose of acerola residue: A parametric study using a response surface technique// *Blucher Chemical Engineering Proceedings*. – 2015. – № 1(2) – С. 11326–11333.
9. Калибровка и эксперимент с параметрами моделирования семян Panax notoginseng на основе дискретного элемента / Юй Цинсуй, Лю Янь, Чэнь Сяобин [и др.] // Труды Китайского общества сельскохозяйственной техники. – 2020. – № 51(02) – С. 123–132.
10. Определение физических свойств семян пырея и калибровка параметров моделирования дискретных элементов / Хоу Чжаньфэн, Дай Няньцзу, Чэнь Чжи [и др.] // Труды Китайского общества сельскохозяйственной инженерии. – 2020. – № 36(24). – С. 46–54.
11. Исследование механизма смешивания бинарной системы частиц с неоднородным размером частиц в барабане / Чжао Юнчи, Чжан Сяньци, Лю Яньлэй [и др.] // *Acta Physica Sinica*. – 2009. – № 58(12). – С. 8386–8393.
12. Чжоу Лун. Имитационный анализ и экспериментальное исследование моделирования семян кукурузы и процесса посева на основе метода дискретных элементов / Чжоу Лун. – Университет Цзилинь: Чанчунь, 2021.
13. Определение и анализ коэффициента восстановления в модели столкновения стручков арахиса / Лу Юнгуан, У Ну, Ван Бин [и др.] // *Журнал Китайского сельскохозяйственного университета*. – 2016. – № 8. – С. 111–118.
14. Гэ Тэн. Теоретическая модель для расчета коэффициента восстановления точечного контактного столкновения / Гэ Тэн, Цзя Чжихун, Чжоу Кэдун // *Mechanical Design and Research*. – 2007. – № 3 – С. 14–15, 22.

МЕЛИОРАЦИЯ И ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВО

УДК 338.43:631.472.71 (476.4)

ОЦЕНКА КОЛИЧЕСТВЕННОГО ИЗМЕНЕНИЯ ПЛОЩАДИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ МИНСКОЙ ОБЛАСТИ И ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

А. В. КОЛМЫКОВ, А. Н. АВДЕЕВ

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

(Поступила в редакцию 13.10.2025)

В научной статье отражено исследование количественного изменения площади сельскохозяйственных земель районов Минской области и землеобеспеченность населения с 2015 по 2025 годы. Определено среднегодовое изменение площади за рассматриваемый период. Установлено, что наблюдается сокращение площадей сельскохозяйственных земель практически в каждом районе Минской области и этот процесс обусловлен переводом сельскохозяйственных земель в другие виды, в основном это выделение площадей под промышленные и другие несельскохозяйственные объекты; городское строительство; выделение земель гражданам; оптимизация малопродуктивных земель путем перевода в лесные земли и иные причины. Наибольшее сокращение площади сельскохозяйственных земель наблюдается в Крупском и Борисовском районах, наименьшее – в Несвижском, Солигорском и Стародорожском районах.

Одним из важнейших показателей количественного изменения площади земель является землеобеспеченность ими населения. Изучение динамики землеобеспеченности населения Минской области сельскохозяйственными землями показало, что землеобеспеченность одного жителя уменьшилась в последнее десятилетие с 2,92 до 2,55 га, при этом все районы можно поделить на 3 условные группы: с низкой землеобеспеченностью (до 2,47 га/чел); средней (от 2,47 до 4,61 га/чел) и высокой (более 4,61 га/чел).

В работе раскрыто понятие эффективности использования земель. Установлено, что эффективность использования сельскохозяйственных земель можно подразделить на экологическую, социальную и экономическую. Приведено содержание каждого вида эффективности. Для объективной оценки экономической эффективности использования сельскохозяйственных земель предлагается применение энергетического подхода и энергетических показателей. С целью повышения эффективности использования сельскохозяйственных земель в сельскохозяйственных организациях Минской области даны предложения, а реализация ряда землеустроительных мероприятий по организации использования и устройству сельскохозяйственных земель позволит сократить затраты на обслуживание территории и функционирование производства и достичь за счет этого экологического и экономического эффектов.

Ключевые слова: земельные ресурсы, сельскохозяйственные земли, эффективность, эффект, использование, площадь, землеобеспеченность.

This scientific article presents a study of quantitative changes in agricultural land area in Minsk Region districts and land availability for the population from 2015 to 2025. The average annual change in area over the period under review is determined. It has been established that agricultural land area is declining in virtually every district of Minsk Region, and this process is due to the conversion of agricultural land to other uses, primarily the allocation of land for industrial and other non-agricultural purposes; urban development; land allocation to citizens; optimization of low-productivity land by converting it to forest land; and other factors. The largest reduction in agricultural land area is observed in the Krupki and Borisov districts, while the smallest decrease is observed in the Nesvizh, Soligorsk, and Starodorozhsk districts.

One of the most important indicators of quantitative changes in land area is the land supply per capita. A study of the dynamics of agricultural land supply per capita in the Minsk region revealed that the land supply per capita has decreased over the past decade from 2.92 to 2.55 hectares. Furthermore, all districts can be divided into three groups: low land supply (up to 2.47 hectares per capita); medium (from 2.47 to 4.61 hectares per capita); and high (more than 4.61 hectares per capita).

This paper explores the concept of land use efficiency. It is established that agricultural land use efficiency can be divided into environmental, social, and economic. The content of each type of efficiency is provided. To objectively assess the economic efficiency of agricultural land use, the use of an energy approach and energy indicators is proposed. To improve the efficiency of agricultural land use in agricultural organizations in the Minsk region, proposals have been made. The implementation of a number of land management measures to organize the use and development of agricultural land will reduce the costs of land maintenance and production operations, thereby achieving environmental and economic benefits.

Key words: land resources, agricultural land, efficiency, effect, use, area, land availability.

Введение

Экономическое развитие Республики Беларусь во многом зависит от аграрного сектора производства, который обеспечивает продовольственную безопасность и значительную часть экспорта государства. Поэтому проблема эффективного использования факторов производства, в особенности основного незаменимого, ограниченного ресурса – земли, является важным направлением проведения государственной политики. Дальнейшее развитие сельского хозяйства и агропромышленного комплекса в целом во многом зависит от того, насколько эффективно будет организовано использование земель, в особенности – сельскохозяйственных.

Вопросу организации эффективного использования сельскохозяйственных земель уделялось значительное внимание в многочисленных научных исследованиях и трудах ученых М. В. Андришина, А. П. Асташкина, Н. Н. Бурихина, А. А. Варламова, С. Н. Волкова, М. А. Гендельмана, Г. И. Горохова, В. Г. Гусакова, А. В. Колмыкова, В. Ф. Колмыкова, Н. В. Комова, Ф. К. Куропатенко, Я. И. Лютого, Т. П. Магазинщикова, Г. М. Мороза, А. З. Родина, М. А. Сулина, А. Я. Мордвинцева, В. П. Троицкого, С. А. Удачина, В. Х. Улюкаева, В. Н. Хлыстуна, В. С. Шаманаева и др. Вместе с тем остается актуальным рассмотрение количественного изменения сельскохозяйственных земель и определение основных направлений повышения эффективности их использования в современных условиях хозяйствования.

Уровень обеспеченности земельными ресурсами является одним из важнейших показателей деятельности сельскохозяйственных организаций, районов, областей Республики Беларусь. От его величины зависит результативность деятельности целых отраслей АПК.

В зависимости от уровня хозяйствования обеспеченность земельными ресурсами (землеобеспеченность) может быть выражена следующими общеизвестными показателями: площадь сельскохозяйственных земель, приходящаяся на одного человека; на одного сельского жителя; на одного трудоспособного, работающего в сельском хозяйстве.

Основная часть

Рассматривая вопрос эффективности использования сельскохозяйственных земель, следует подчеркнуть, что эффективность – это использование земель как главного средства производства в сельском хозяйстве, дающее эффект. При определении эффективности использования земли необходимо учитывать не только эффект сельскохозяйственного производства в земледелии, но и производственные способности земли – ее потенциал.

Согласно Кодексу Республики Беларусь о земле под эффективным использованием земель понимается использование земель, приносящее экономический, социальный, экологический или иной полезный результат [1].

Хозяйственная деятельность сельскохозяйственных организаций республики свидетельствует о том, что результаты использования ими сельскохозяйственных земель имеют экологические, социальные и экономические последствия, т.е. сопровождаются экологическим, социальным и экономическим эффектами. В связи с этим эффективность сельскохозяйственного землепользования можно подразделить на экологическую, социальную и экономическую [2].

Под экологической эффективностью использования сельскохозяйственных земель понимается степень снижения или предотвращения негативного антропогенного влияния на состояние этих земель, связанная с необходимостью охраны природы, воспроизводства и рационального использования земельных ресурсов вообще, сохранением и преумножением плодородия почв в частности. Она проявляется прежде всего через влияние использования сельскохозяйственных земель на состояние окружающей среды и характер использования других природных ресурсов. Для повышения экологической эффективности землепользования первоочередное значение имеют рекультивация нарушенных и деградированных земель, защита почв от эрозии, окружающей среды и водных источников от загрязнения [3].

Социальная эффективность использования сельскохозяйственных земель обусловлена их ролью как объекта социально-экономических и земельных отношений и направлена на улучшение социальных условий жизни и труда проживающего на этих землях населения.

Экономическая эффективность использования сельскохозяйственных земель определена степенью вовлечения их в сельскохозяйственное производство и предопределяется результативными экономическими показателями земледелия и производительной способностью земель. Повышение эффективности использования земли достигается путем установления оптимального соотношения сельскохозяйственных земель, рациональным составом и структурой посевов сельскохозяйственных культур, снижением удельных производственных затрат в растениеводстве.

В практике оценки использования сельскохозяйственных земель применяются стоимостные показатели. Однако при постоянном изменении цен на сельскохозяйственную и промышленную продукцию, наличии инфляции, что характерно для современного этапа развития производства, использование только стоимостных показателей без натуральных и условно-натуральных не обеспечивает получение достоверных выводов. В связи с этим для объективной оценки экономической эффективности

использования сельскохозяйственных земель возможно применение энергетического подхода и энергетических показателей.

Исследование количественных изменений площади сельскохозяйственных земель и землеобеспеченности выполнено на примере Минской области, которая имеет площадь 3983,5 тыс. га, в том числе 1689,4 тыс. га, или 42,4 % территории области занимают сельскохозяйственные земли, из них 1255,1 га (74,3%) пахотные земли [4–6]. Изменение площади сельскохозяйственных земель районов Минской области за последнее десятилетие представлено в табл. 1.

Таблица 1. Изменение площади сельскохозяйственных земель районов Минской области (2015–2025 гг.), га

Районы	Площадь сельскохозяйственных земель, га											Изменение площади 2025 г. к 2015 г., (±) га	Среднегодовое изменение площади, (±) га/%	
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025			
Березинский	71304	68882	68901	68216	68216	68216	63075	63017	63017	63017	63017	-8287	-829/1,16	
Борисовский	95646	94887	94642	93697	93677	93659	93509	79976	79970	79971	80243	-15403	-1540/1,61	
Вилейский	99382	99387	99387	99544	99544	99544	99590	99588	99588	99581	87838	-11544	-1154/1,13	
Воложинский	92243	92387	92467	92438	92441	92441	86307	86307	86307	83294	83346	-8897	-890/0,96	
Дзержинский	71491	71494	71451	71305	71296	71279	71113	62714	62779	62767	62789	-8702	-870/1,22	
Клецкий	61458	61348	61349	61349	61350	61351	57945	58043	58216	58265	58339	-3119	-312/0,51	
Копыльский	114303	114008	114001	113794	113800	113800	113954	113948	113950	109123	109237	-5066	-507/0,44	
Крупский	80479	80479	80479	80479	80479	80479	80489	80489	80489	62246	62584	62618	-17861	-1786/2,22
Логойский	83570	83606	83040	83021	83057	83055	83103	83122	76325	76318	76523	-7047	-705/0,84	
Любанский	90440	91187	91170	91114	90926	90921	90894	90891	87105	87138	87166	-3274	-327/0,36	
Минский	89240	88622	92351	92149	92022	91973	84559	84501	84464	82873	82858	-6382	-638/0,72	
Молодечненский	73374	73370	73344	73341	73308	73312	73258	73253	73251	73251	66738	-6636	-664/0,90	
Мядельский	73625	73605	73578	73517	73514	73510	73348	62146	62143	62146	62135	-11490	-1149/1,56	
Несвижский	65489	65420	65410	65350	65336	65242	64597	64559	64469	63392	63416	-2073	-207/0,32	
Пуховичский	109668	109354	108986	108272	107785	107260	98308	98307	98307	97153	97222	-12446	-1245/1,13	
Слуцкий	120315	120269	120527	120505	120512	120525	120691	120753	115518	115579	115718	-4597	-460/0,38	
Смолевичский	69837	69821	69778	69651	69646	69540	64217	64215	64195	63217	63233	-6604	-660/0,95	
Солігорскі	115558	115529	115521	115488	115330	115065	114768	114619	114610	114608	114290	-1268	-127/0,11	
Стародорожский	52557	52557	52557	52557	52926	52926	53016	53016	49974	49960	49975	-2582	-258/0,49	
Столбцовский	77187	77187	77173	77161	77108	77110	73295	73296	73296	73296	73312	-3875	-388/0,50	
Узденский	58934	58915	57882	57876	57872	57742	54811	54790	54779	54769	54859	-4075	-408/0,69	
Червенский	79515	79389	78719	78627	78616	78616	78603	73531	73568	73726	73878	-5637	-564/0,71	
Минская область	184565	184708	184713	183945	183876	183766	1793450	1755081	1718077	1706028	1688750	-156865	-15687/0,85	

Исходя их данных, приведенных в табл. 1, стоит отметить, что в последнее десятилетие наблюдается сокращение площадей сельскохозяйственных земель в каждом районе Минской области. Данный процесс обусловлен переводом сельскохозяйственных земель в другие виды, в основном это выделение площадей под промышленные и другие несельскохозяйственные объекты; городское строительство; выделение земель гражданам; оптимизация малопродуктивных земель путем перевода в лесные земли и иные причины.

Рассмотренная выше динамика представлена графически на диаграмме (рис. 1).

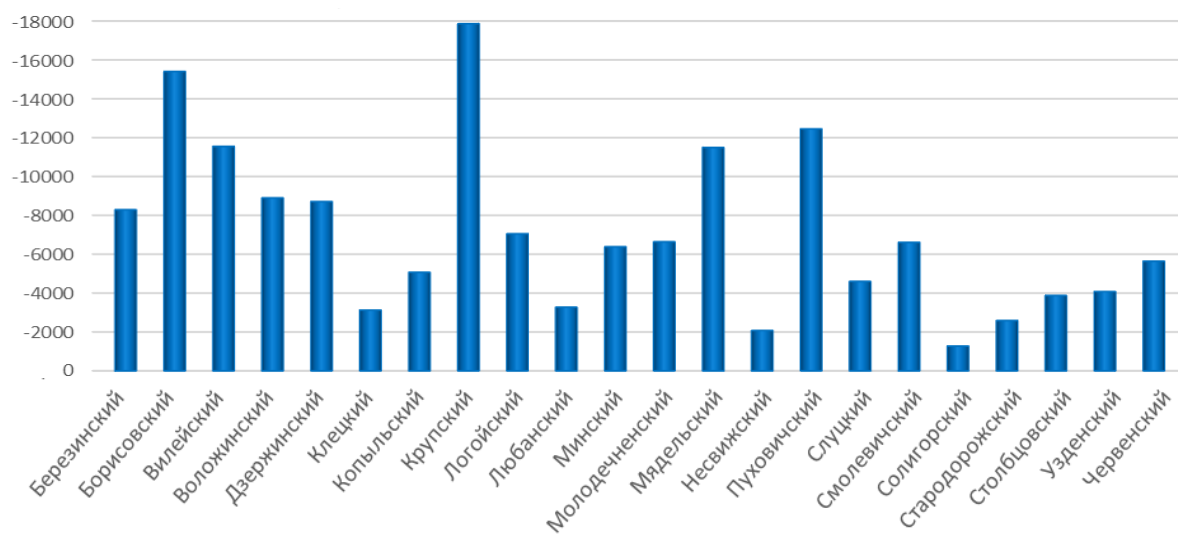


Рис. 1. Изменение площади сельскохозяйственных земель районов Минской области (2025 г. к 2015 г.), га

Анализ динамики площадей показал, что наиболее крупное сокращение сельскохозяйственных земель наблюдается в Крупском и Борисовском районах, наименьшие потери соответствующей площади имеют место в Несвижском, Солигорском и Стародорожском районах.

По наличию площади сельскохозяйственных земель все районы Минской можно поделить на 3 условные группы: с малой площадью сельскохозяйственных земель (до 71890 га); средней (от 71890 до 93803 га) и большой (более 93803 га). Данные о группировке представлены в табл. 2.

Согласно группировке, в группу районов со средней площадью сельскохозяйственных земель входят 8 районов (36 %), с большой – 4 района (18 %), а с малой площадью – 10 районов области, что составляет 45 % от их общего числа.

Таблица 2. Группировка районов Минской области по площади сельскохозяйственных земель

Группировка районов по площади сельскохозяйственных земель	Среднее значение площади, га	Количество районов в группе	% от всех районов в области	Название районов
Малая площадь с.-х. земель (менее 71890 га)	60712	10	45	Березинский, Дзержинский, Клецкий, Крупский, Молодечненский, Мядельский, Несвижский, Смолевичский, Стародорожский, Узденский
Средняя площадь с.-х. земель (71890 – 93803 га)	80646	8	36	Борисовский, Вилейский, Воложинский, Логойский, Любанский, Минский, Столбцовский, Червенский
Большая площадь с.-х. земель (более 93803 га)	109117	4	18	Копыльский, Пуховичский, Слуцкий, Солигорский

Анализ среднегодового уменьшения площади сельскохозяйственных земель административных районов Минской позволил по данному показателю разделить их на 3 условные группы: с незначительным уменьшения площади земель (до 0,86 %); средним (от 0,86 % до 1,60 %) и большим (более 1,60 %). При этом % определен от общей площади сельскохозяйственных земель района. Данные о группировке представлены в табл. 3.

Таблица 3. Группировка районов Минской области по среднегодовому уменьшению площади сельскохозяйственных земель (в % от общей площади сельскохозяйственных земель района)

Группировка районов по среднегодовому уменьшению площади сельскохозяйственных земель (в % от общей площади сельскохозяйственных земель района)	Среднее значение по группе, %	Количество районов в группе	% от всех районов в области	Название районов
Незначительное уменьшение площади (до 0,86%)	0,48	11	50	Клецкий, Копыльский, Любанский, Минский, Несвижский, Слуцкий, Солигорский, Стародорожский, Столбцовский, Узденский, Червенский
Среднее уменьшение площади (0,86–1,60 %)	1,08	8	36	Березинский, Вилейский, Воложинский, Дзержинский, Логойский, Молодечненский, Пуховичский, Смолевичский
Большое уменьшение площади (более 1,60 %)	1,92	3	14	Борисовский, Крупский, Мядельский

Согласно данным табл. 3, наибольшее число районов Минской области входят в группу с незначительным уменьшением площади сельскохозяйственных земель, что составляет 50 % от их общего числа. Остальные районы распределены следующим образом: группа со средним уменьшением площади сельскохозяйственных земель насчитывает 8 районов (36 %), а с большим – 3 района (14 %).

Одним из важных показателей количественной оценки площади сельскохозяйственных земель является землеобеспеченность ими населения. Динамика обеспеченности населения районов Минской области сельскохозяйственными землями представлена в табл. 4. При расчете данного показателя не учитывались жители г. Минска и города областного подчинения (Жодино), а также площади сельскохозяйственных земель, находящиеся на территории этих административно-территориальных единиц. Для расчетов были использованы материалы государственного земельного кадастра, а также статистические сборники [4–6].

Таблица 4. Динамика землеобеспеченности сельскохозяйственными землями жителей Минской области (2015–2025 гг.)

Районы	Показатель землеобеспеченности, га/чел.											Изменение показателя 2025 г. к 2015 г., (±) га/чел.	Среднее значение землеобеспеченности, га/чел.
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025		
Березинский	5,81	5,64	5,67	5,67	5,72	5,84	5,58	5,83	6,00	6,18	6,36	+0,55	5,79
Борисовский	2,60	2,59	2,61	2,62	2,65	2,69	2,70	2,34	2,38	2,43	2,48	-0,11	2,56
Вилейский	4,37	4,45	4,51	4,56	4,62	4,71	4,81	4,96	5,04	5,12	4,60	+0,23	4,72
Воложинский	4,42	4,43	4,45	4,45	4,46	4,50	4,23	4,29	4,36	4,24	4,26	-0,16	4,38
Дзержинский	3,17	3,14	3,10	3,06	3,05	3,06	3,09	2,74	2,77	2,81	2,80	-0,37	3,00
Клецкий	3,31	3,44	3,53	3,63	3,71	3,82	3,70	3,86	3,98	4,06	4,16	+0,86	3,70
Копыльский	5,77	5,83	5,93	6,01	6,10	6,24	6,44	6,65	6,82	6,59	6,75	+0,99	6,24
Крупский	5,87	5,98	6,08	6,16	6,27	6,46	6,67	6,86	5,49	5,65	5,82	-0,05	6,15
Логойский	4,74	4,74	4,70	4,69	4,70	4,73	4,78	4,86	4,46	4,47	4,51	-0,23	4,69
Любанский	5,00	5,18	5,31	5,45	5,58	5,69	5,81	5,92	5,75	5,89	6,05	+1,05	5,56
Минский	0,51	0,46	0,46	0,44	0,42	0,41	0,36	0,36	0,35	0,34	0,33	-0,18	0,41
Молодечненский	2,05	2,06	2,08	2,09	2,11	2,12	2,13	2,15	2,17	2,19	2,01	-0,04	2,12
Мядельский	5,05	5,25	5,45	5,53	5,67	5,75	5,90	5,17	5,29	5,41	5,55	+0,50	5,45
Несвижский	3,10	3,11	3,12	3,14	3,17	3,22	3,23	3,31	3,33	3,32	3,36	+0,26	3,21
Пуховичский	2,82	2,80	2,78	2,73	2,71	2,72	2,46	2,51	2,52	2,50	2,51	-0,31	2,65
Слуцкий	4,04	4,10	4,18	4,24	4,32	4,39	4,50	4,60	4,47	4,54	4,61	+0,57	4,34
Смолевичский	2,50	2,41	2,37	2,32	2,27	2,24	2,05	2,05	2,03	2,00	1,99	-0,51	2,22
Солигорский	5,58	5,74	5,80	5,81	5,84	5,92	6,02	6,16	6,23	6,29	6,34	+0,76	5,94
Стародорожский	5,22	5,28	5,40	5,47	5,58	5,71	5,90	6,02	5,87	6,05	6,22	+1,00	5,65
Столбцовский	3,32	3,37	3,42	3,48	3,53	3,58	3,48	3,57	3,64	3,70	3,76	+0,44	3,51
Узденский	4,55	4,51	4,40	4,37	4,36	4,39	4,20	4,19	4,17	4,16	4,19	-0,36	4,33
Червенский	4,55	4,54	4,53	4,56	4,60	4,62	4,66	4,42	4,45	4,53	4,62	+0,08	4,55
Минская область	2,92	2,86	2,83	2,81	2,79	2,77	2,70	2,65	2,60	2,58	2,55	-0,37	2,75

Наблюдаемый незначительный рост общей численности населения Минской области (без г. Минска) с 1431088 чел. (в 2015 г.) до 1456357 чел. (в 2025 г.), отводы земельных участков сельскохозяйственных земель для несельскохозяйственных нужд, выведение из оборота их земельных массивов в результате эрозии почв, техногенного загрязнения, а также снижения плодородия почв привели к уменьшению площади сельскохозяйственных земель с 1845615 га (2015 г.) до 1688750 га (2025 г.), в том числе на одного жителя с 2,92 до 2,55 га.

Сравнение изменения показателя землеобеспеченности сельскохозяйственными землями населения районов Минской области за последние 10 лет представлено на диаграмме (рис. 2).

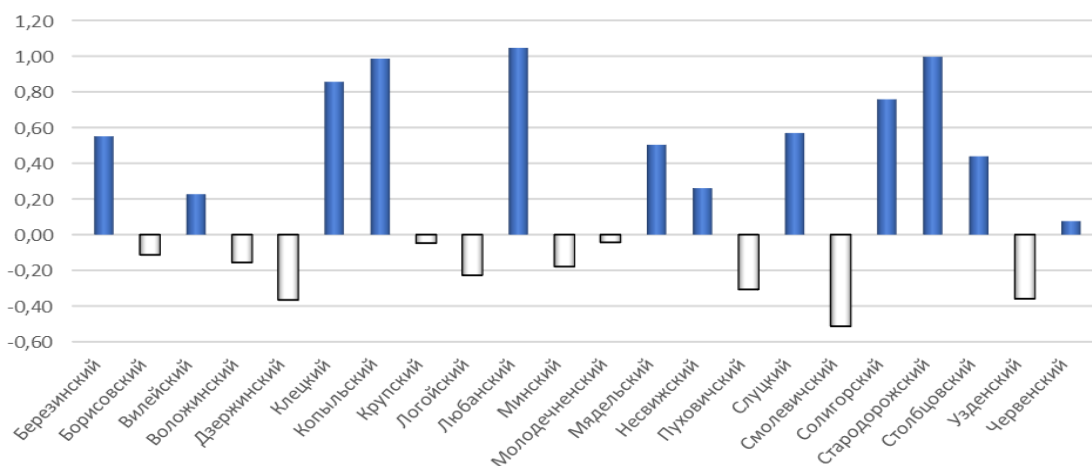


Рис. 2. Изменение землеобеспеченности сельскими жителями районов Минской области (2025 г. к 2015 г.), га/чел.

Согласно представленной диаграмме, наибольший рост приходящейся на одного жителя площади сельскохозяйственных земель произошел в Клецком, Копыльском, Любанском и Стародорожском

районах, наибольшее уменьшение соответствующей площади наблюдается в Дзержинском, Пуховичском, Смолевичском и Узденском районах.

В соответствии с данными обеспеченности жителей районов Минской области сельскохозяйственными землями, все районы можно поделить на 3 условные группы: с низкой землеобеспеченностью (до 2,47 га/чел.); средней (от 2,47 до 4,61 га/чел.) и высокой землеобеспеченностью (более 4,61 га/чел.). Данные о группировке представлены в табл. 5.

Таблица 5. Группировка районов Минской области по обеспеченности (землеобеспеченности) населения сельскохозяйственными землями

Группировка районов по обеспеченности жителей сельскохозяйственными землями	Среднее значение показателя землеобеспеченности, га/чел.	Количество районов в группе	% от всех районов в области	Название районов
Низкая землеобеспеченность (менее 2,47 га/чел.)	1,44	3	14	Минский, Молодечненский, Смолевичский
Средняя землеобеспеченность (2,47–4,61 га/чел.)	3,75	11	50	Борисовский, Вилейский, Воложинский, Дзержинский, Клецкий, Логойский, Несвижский, Пуховичский, Слуцкий, Столбцовский, Узденский
Высокая землеобеспеченность (более 4,61 га/чел.)	5,96	8	36	Березинский, Копыльский, Крупский, Любанский, Мядельский, Солигорский, Стародорожский, Червенский

Согласно данным таблицы, в группу с низкой землеобеспеченностью вошло 3 района (14 %), с высокой – 8 районов. (36 %). Наибольшей является группа районов со средним уровнем обеспечения граждан сельскохозяйственными землями – в нее вошли 11 районов области, что составляет 50 % от их общего числа.

В связи с ограниченностью площади сельскохозяйственных земель, с целью увеличения эффективности их использования и сельскохозяйственного производства необходим переход к интенсивному типу воспроизводства. Повышение эффективности использования сельскохозяйственных земель в сельскохозяйственных организациях Минской области может быть достигнуто следующими путями:

- сокращением изъятия сельскохозяйственных земель из земледелия и получение за этот счет дополнительной сельскохозяйственной продукции;
- вовлечением в сельскохозяйственный оборот ранее неиспользуемых земель;
- экологически допустимой ликвидацией мелкой контурности;
- улучшением мелиоративного состояния земель;
- охраной сельскохозяйственных земель как природного ресурса и главного средства производства в сельском хозяйстве от эрозии, загрязнения, заболачивания, истощения;
- введением на пахотных землях системы адаптивных эколого-технологических севооборотов;
- поддержанием экологического благополучия территории;
- установлением рационального соотношения земель;
- проектированием и осуществлением защитного лесоразведения и природоохранных мероприятий;
- увеличением производства продукции растениеводства за счет рационального размещения посевов сельскохозяйственных культур с учетом качества и пригодности почв, предшественников, снижения уплотнения почв и других факторов;
- оптимизацией длины гона при проектировании полей на склоновых землях;
- оптимизацией размещения сети дорог с учетом экономических и экологических факторов;
- устранением недостатков землепользования и др.

Ряд землеустроительных мероприятий по организации использования и устройству сельскохозяйственных земель позволит сократить затраты на обслуживание территории и функционирование производства и достичь за счет этого экологического и экономического эффектов. Основой для энергосбережения и экологизации землепользования являются следующие действия:

- оптимизация размеров и размещения хозяйственных центров и производственных подразделений;
- рациональное размещение и обустройство дорог;
- сокращение средних расстояний между хозяйственными центрами и обслуживаемой территорией;
- улучшение геометрии проектируемых полей и рабочих участков, увеличение длины гона и уменьшение уклонов по главным направлениям обработки земель;
- приближение размещения посевов трудоемких, грузоемких и машиноемких сельскохозяйственных культур к хозяйственным центрам и благоустроенным дорогам;
- размещение посевов сельскохозяйственных культур, возделываемых по машиноемким технологиям на участках с максимальной длиной гона, минимальными уклонами и удельным сопротивлением почв;

- размещение посевов сельскохозяйственных культур, при возделывании которых объем грузов, перевозимых на поле, превышает объем обратных грузоперевозок, на участках, находящихся ниже по рельефу относительно хозцентра, и наоборот, выше по рельефу, если грузоперевозки с поля в хозцентр больше, чем на поле;
- размещение посевов по полям и участкам, сокращающее перегоны машинно-тракторных агрегатов;
- сокращение удаленности производственных центров от жилых зон поселков (в пределах санитарно допустимых норм).

Заключение

Оценка количественного изменения площади сельскохозяйственных земель Минской области показала, что в ней наблюдается некоторое снижение их площади, в том числе приходящейся и на одного жителя. Данный процесс связан с изъятием сельскохозяйственных земель из сельскохозяйственного оборота, а также выбытием их в результате развития эрозионных процессов, заболачивания, техногенного загрязнения и других антропогенных воздействий.

Общая тенденция снижения такого важнейшего показателя, как площади сельскохозяйственных земель, приходящейся на одного жителя Минской области, свидетельствует о необходимости повышения эффективности их использования, дальнейшего развития интенсивного сельскохозяйственного производства, а также необходимости проведения мероприятий по оптимизации землепользования, бережному и рациональному использованию продуктивных земель.

Эффективное функционирование и развитие сельскохозяйственного производства невозможно без рационального использования и охраны сельскохозяйственных земель. Повышение эффективности использования сельскохозяйственных земель в сельскохозяйственных организациях Минской области может быть достигнуто предлагаемыми в работе подходами, а ряд землеустроительных мероприятий по организации использования и устройству сельскохозяйственных земель позволит сократить затраты на обслуживание территории и функционирование производства и достичь за счет этого экологического и экономического эффектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кодекс Республики Беларусь о земле от 23.07.2008 № 425-З: ред. от 18.07.2016 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 30 июля 2008 г. – № 2/1522.
2. Колмыков, А. В. Землеустроительное обеспечение организации рационального использования земель сельскохозяйственного назначения: монография / А. В. Колмыков. – Горки: БГСХА, 2013. – 337 с.
3. Колмыков, А. В. Научные и методологические основы совершенствования землеустройства сельскохозяйственных организаций Республики Беларусь: монография / А. В. Колмыков. – М.: ГУЗ, 2014. – 276 с.
4. Реестр земельных ресурсов Республики Беларусь (по состоянию на 1 января 2025 года). – Минск: Государственный комитет по имуществу Республики Беларусь, 2025. – 60 с.
5. Регионы Республики Беларусь, 2025: стат. сб. Т. 1 / Белстат; редкол.: И. В. Медведева (отв. ред.) [и др.]. – Минск, 2025. – 710 с.
6. Регионы Республики Беларусь, 2021: стат. сб. Т. 1 / Белстат; редкол.: И. В. Медведева (отв. ред.) [и др.]. – Минск, 2021. – 776 с.
7. Государственная программа «Земельно-имущественные отношения, геодезическая и картографическая деятельность» на 2021–2025 годы. // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.http://pravo.by/document/?guid=3871&p0=C22100055> (дата обращения: 07.10.2025).

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМОВ ОРОШЕНИЯ НА РЕЗУЛЬТАТЫ КАДАСТРОВОЙ ОЦЕНКИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

Д. А. ДРОЗД, А. В. СТРОЦКИЙ, Г. И. ВЫБЕРАНЕЦ, В. С. ГАРДЕЕВА

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

(Поступила в редакцию 15.10.2025)

Основной целью выполненных исследований являлась оценка влияния орошения на результаты кадастровой оценки сельскохозяйственных земель. Исследования выполнялись на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах северо-восточной части Республики Беларусь. В исследованиях использованы среднеранний сорт клевера лугового Янтарный, галега восточная сорта Нестерка и сахарная свекла сорта Белпони односеменная. Технология возделывания оцениваемых сельскохозяйственных культур принята стандартной на основании технологического регламента по возделыванию сельскохозяйственных культур. Поддержание почвенных влагозапасов в установленных пределах осуществлялось на основании фактических замеров влажности почвы, а орошение выполнялось дождевальной установкой Lindsay-Europe Omega. Поливные нормы, необходимые для поддержания влагозапасов почвы в оптимальных пределах, установлены на основании определенных в полевых условиях водно-физических показателей почвы и составили: 200 м³/га у клевера лугового и 250 м³/га у галеги восточной и сахарной свеклы в варианте 80 % НВ и 300 м³/га в варианте 70 % НВ для всех оцениваемых сельскохозяйственных культур.

В ходе выполненных исследований было установлено, что применение орошения при возделывании сельскохозяйственных культур оказало положительное влияние на результаты кадастровой оценки сельскохозяйственных земель. Установлено, что возделывание сельскохозяйственных культур в водно-воздушных условиях варианта 80 % НВ повышает кадастровую стоимость 1 га пахотных земель и балл кадастровой оценки на 2185,56 руб/га и 4 балла, а в условиях варианта 70 % НВ – на 2840,73 руб/га и 5 баллов. Полученные данные свидетельствуют о высокой экономической эффективности орошения и целесообразности увеличения площади орошаемых земель.

Ключевые слова: кадастровая оценка сельскохозяйственных земель, орошение, дифференциальный доход, абсолютный рентный доход, кадастровая стоимость земель, балл кадастровой оценки земель.

The primary objective of this study was to assess the impact of irrigation on the results of cadastral valuation of agricultural lands. The study was conducted on sod-podzolic light loamy soils in the northeastern part of the Republic of Belarus. The mid-early red clover variety Yantarny, the eastern galega variety Nesterka, and the single-seeded sugar beet variety Belpon were used in the study. The cultivation technology for the assessed crops was adopted as standard, based on the technological regulations for agricultural crop cultivation. Maintaining soil moisture reserves within established limits was accomplished based on actual soil moisture measurements, and irrigation was performed using a Lindsay-Europe Omega sprinkler. Irrigation rates required to maintain soil moisture reserves within optimal limits were established based on field-determined water-physical soil parameters and were as follows: 200 m³/ha for red clover, 250 m³/ha for eastern galega and sugar beet in the 80 % lowest moisture capacity variant, and 300 m³/ha in the 70 % lowest moisture capacity variant for all assessed agricultural crops.

The studies revealed that the use of irrigation during crop cultivation had a positive impact on the cadastral valuation results of agricultural lands. It was found that cultivating agricultural crops under the 80 % lowest moisture capacity water-air conditions increases the cadastral value of 1 hectare of arable land and the cadastral valuation score by 2,185.56 rubles/ha and 4 points, while under the 70 % lowest moisture capacity conditions, the increase is 2,840.73 rubles/ha and 5 points. These data demonstrate the high economic efficiency of irrigation and the feasibility of increasing the area of irrigated land.

Key words: cadastral valuation of agricultural land, irrigation, differential income, absolute rental income, cadastral value of land, cadastral valuation score.

Введение

Кадастровая оценка земель является составной частью государственного земельного кадастра и проводится с целью получения объективных данных о качестве и местоположении земель, характеризующих условия ведения сельского хозяйства, и нормативной цены земли. На современном этапе развития рыночных отношений в Республике Беларусь кадастровая оценка сельскохозяйственных земель играет важную роль в экономике и социальной сфере. Она используется для определения налоговой базы, расчета арендной платы, а также для выкупа земли у государства [1].

Кадастровая оценка земель также важна для землеустройства и принятия управленческих решений в сфере сельского хозяйства. Ее результаты являются основой для начисления земельного налога, что напрямую влияет на доходную часть местных бюджетов.

Данные кадастровой оценки используются для определения стоимости аренды земельных участков, что важно для фермеров и других землепользователей.

Результаты кадастровой оценки земель используются при разработке схем землеустройства, определении границ земельных участков и зонировании территорий и позволяют разрабатывать и реали-

зовывать различные программы развития сельского хозяйства и рационального использования земельных ресурсов.

В целом, кадастровая оценка сельскохозяйственных земель является важным инструментом, обеспечивающим эффективное управление земельными ресурсами, справедливое налогообложение и защиту прав собственников и землепользователей [2].

Анализ работ отечественных исследователей по данному вопросу [3, 4] явно указал на то, что данная проблема не изучалась в Республике Беларусь, в связи с чем выполненные исследования являются актуальными и научно обоснованными.

Цель выполненных исследований – оценка влияния орошения на результаты кадастровой оценки сельскохозяйственных земель.

Основная часть

Расчет показателей кадастровой оценки сельскохозяйственных земель выполнен для УНЦ «Гушково-1», расположенного в Горецком районе Могилевской области. Полевые исследования осуществлялись на дерново-палево-подзолистых обычных легкосуглинистых почвах, развивающихся на лессовидном суглинке, подстилаемых моренными суглинками с глубины более 1 метра. Данные почвы характеризовались следующими водно-физическими и агрохимическими показателями: плотность сложения в слое 0–30 см – 1,38 г/см³, наименьшая влагоемкость – 23,76 % от массы сухой почвы, содержание гумуса – 1,48–1,66, подвижного фосфора – 203,0–320,0 мг/кг, подвижного калия – 251,0–423,0 мг/кг, рН – 5,7–5,8.

В исследованиях использованы среднеранний сорт клевера лугового Янтарный, галега восточная сорта Нестерка и сахарная свекла сорта Белпонец односеменная. Технология возделывания оцениваемых сельскохозяйственных культур принята на основании технологического регламента по возделыванию сельскохозяйственных культур. Посев клевера лугового выполнен под покровом ярового ячменя сорта Страж 110. Норма высева ячменя принята равной 3,8 млн шт. на 1 га. Семена перед посевом протравливались препаратом Виал-ТТ нормой 0,5 л/т. Минеральные удобрения вносились в весенний период дозой Р₆₀К₉₀. Для борьбы с сорной растительностью применялись препараты Базагран-М дозой 2 л/га и Агритокс – 1,0 л/га при достижении у клевера лугового фазы первого тройчатого листа. Посев галеги восточной осуществлялся беспокровно с нормой высева семян 12 кг/га при 100 % посевной годности. Глубина заделки семян 1,5 см, ширина междурядий 15,0 см. Семена перед посевом инокулировали микробным препаратом Ризофос марки галега из расчета 200 мл на гектарную норму семян. Подкормка посевов минеральными удобрениями в дозе Р₆₀К₉₀ с последующим боронованием травостоя проводилась в ранневесенний период. Посев сахарной свеклы выполнен нормой 1,3 посевной единицы. Минеральные удобрения вносились в весенний период перед посевом дозой N₁₂₀P₉₀K₁₈₀, а органические – дозой 40 т/га. Для борьбы с сорной растительностью применялся препарат Бетарен Экспресс АМ дозой 1,5 л/га.

Для оценки влияния орошения на результаты кадастровой оценки сельскохозяйственных земель, принята следующая схема опыта:

Вариант 1 – Без орошения;

Вариант 2 – Полив при снижении влажности почвы до 70 % от величины наименьшей влагоемкости (далее 70 % НВ);

Вариант 3 – Полив при снижении влажности почвы до 80 % от величины наименьшей влагоемкости (далее 80 % НВ).

В качестве верхней границы оптимальной влажности почвы принята наименьшая влагоемкость, которая определялась непосредственно в полевых условиях. Полив выполнялся при снижении влажности почвы до установленного нижнего предела в слое 0–30 см. Поливные нормы рассчитаны на основании водно-физических показателей и составили: 200 м³/га у клевера лугового и 250 м³/га у галеги восточной и сахарной свеклы в варианте 80 % НВ и 300 м³/га в варианте 70 % НВ для всех оцениваемых сельскохозяйственных культур [5, 6, 7].

Начальным этапом кадастровой оценки земель выступает процесс формирования рабочих (оценочных) участков для целей получения, накопления и хранения данных, необходимых для поучастковой кадастровой оценки сельскохозяйственных земель [8]. Для выполнения работ по кадастровой оценке сельскохозяйственных земель, было сформировано 6 рабочих участков (табл. 1). Минимальную площадь, составляющую 19,08 га, имеет рабочий участок № 6, а максимальную – рабочий участок № 1 (109,96 га). Средний уклон рабочих участков варьируется в пределах 1,48–2,79 °, а удельный периметр колеблется от 49,38 м/га до 111,26 м/га, что указывает на хорошую организацию рабочих

участков. Для всех рабочих участков были выполнены почвенные исследования и инженерно-экологические изыскания, по результатам которых установлено, что они расположены в пределах одной почвенной разновидности, которая в соответствии со шкалой оценочных баллов пахотных почв характеризуется удельным сопротивлением в 58 кПа.

Таблица 1. Характеристика почв, культуртехнического состояния рабочих участков и оценка окультуренности по агрохимическим показателям

№ рабочего участка	Площадь, га	Номер почвы в соответствии со шкалой оценочных баллов пахотных почв	Удельное сопротивление, кПа	Средний угол наклона, град	Периметр участка		Индекс окультуренности
					Общий измеренный, м	Удельный, м/га	
1	109,96	17	58	1,48	5430	49,38	0,71
2	22,35	17	58	1,74	2313	103,49	0,71
3	33,15	17	58	1,80	2738	82,59	1,00
4	76,96	17	58	2,79	4548	59,10	1,00
5	28,34	17	58	1,35	3153	111,26	0,88
6	19,08	17	58	1,74	1769	92,71	0,88
Среднее	289,84				19951	68,83	

Далее выполнена оценка плодородия пахотных земель. Для этого был определен средневзвешенный исходный балл плодородия почв рабочего участка, исходя из площадей входящих в него почвенных разновидностей и их гранулометрического (табл. 2), который для клевера лугового и галеги восточной составил 74, а для сахарной свеклы – 68. Затем исходный балл плодородия почв корректируется поправочными коэффициентами, учитывающими культуртехническую неустроенность территории, в том числе эродированность, завалуненность (каменистость), мелкоконтурность, неоднородность почвенного покрова, а также агрометеорологическое состояние осушенных земель, окультуренность (агрохимические свойства почв) и агроклиматические условия. С учетом поправочных коэффициентов средневзвешенный фактический балл плодородия для клевера лугового и галеги восточной составил 60, а для сахарной свеклы – 55.

Таблица 2. Бонитировка рабочих участков

Номер рабочего участка	Площадь рабочего участка, га	Средневзвешенный балл почв по культурам			Поправочные коэффициенты к баллам на							Фактический балл участка по культурам				
		Клевер луговой	Галега восточная	Сахарная свекла	эродированность, завалуненность			Неоднородность почвенного покрова	Климатические условия	Окультуренность	мелкоконтурность	Мелиоративное состояние земель	Клевер луговой	Галега восточная	Сахарная свекла	Среднее
					Клевер луговой	Галега восточная	Сахарная свекла									
1	109,96	74	74	68	1	1	1	1	0,89	0,84	1	1	55	55	51	54
2	22,35	74	74	68	1	1	1	1	0,89	0,84	0,972	1	54	54	49	52
3	33,15	74	74	68	1	1	1	1	0,89	1	0,992	1	65	65	60	63
4	76,96	74	74	68	1	1	1	1	0,89	1	1	1	66	66	61	64
5	28,34	74	74	68	1	1	1	1	0,89	0,94	0,962	1	60	60	55	58
6	19,08	74	74	68	1	1	1	1	0,89	0,94	0,982	1	61	61	56	59
Среднее	289,84												60	60	55	58

После установления величины фактических баллов плодородия определяется нормативная урожайность оцениваемых сельскохозяйственных культур. Для этого на основании результатов полевых наблюдений получены зависимости, отражающие влияние почвенного плодородия, доз минеральных и органических удобрений и орошения на урожайность сельскохозяйственных культур.

Для многолетних бобовых трав, величина коэффициента множественной регрессии достигает 0,78, а само уравнение имеет следующий вид:

$$Y = -63,67 + 6,96 \cdot X_1 + 0,01 \cdot X_2 + 0,12 \cdot X_3, \quad (1)$$

где X_1 – средний балл плодородия по культуре; X_2 – средняя доза внесения минеральных удобрений в действующем веществе под культуру, кг д.в./га; X_3 – оросительная норма, м³/га.

У сахарной свеклы величина коэффициента множественной регрессии достигает 0,83, а само уравнение имеет несколько иной вид:

$$Y = -430,77 + 15,42 \cdot X_1 + 0,02 \cdot X_2 + 0,05 \cdot X_3 + 0,96 \cdot X_4, \quad (2)$$

где X_1 – средний балл плодородия по культуре; X_2 – средняя доза внесения минеральных органических под культуру, т/га; X_3 – средняя доза внесения минеральных удобрений в действующем веществе под культуру, кг д.в./га; X_4 – оросительная норма, м³/га.

Агротехника возделывании клевера лугового и галеги восточной обладает достаточно высокой схожестью, поэтому урожайность данных культур при возделывании без орошения практически не отличается, что подтверждается и результатами расчетов, приведенными в табл. 3. Следует также отметить, что на всех рабочих участках наименьшая урожайность при возделывании клевера лугового, галеги восточной и сахарной свеклы отмечается в варианте без орошения. В таких условиях урожайность клевера лугового и галеги восточной варьирует в пределах 315,23–385,28 ц/га, а сахарной свеклы от 368,78 до 459,10 ц/га.

Таблица 3. Урожайность оцениваемых культур при различных условиях увлажнения, ц/га

Номер рабочего участка	Площадь рабочего участка	Культура	Вариант увлажнения		
			Без орошения	70 % НВ	80 % НВ
1	109,96	Клевер луговой	321,06	471,96	388,48
		Галега восточная	321,06	420,59	375,64
		Сахарная свекла	383,84	1028,35	947,67
2	22,35	Клевер луговой	315,23	463,39	381,43
		Галега восточная	315,23	412,95	368,82
		Сахарная свекла	368,78	988,02	910,51
3	33,15	Клевер луговой	379,44	557,78	459,12
		Галега восточная	379,44	497,07	443,94
		Сахарная свекла	451,57	1209,82	1114,91
4	76,96	Клевер луговой	385,28	566,36	466,19
		Галега восточная	385,28	504,72	450,78
		Сахарная свекла	459,10	1229,98	1133,49
5	28,34	Клевер луговой	350,25	514,87	423,80
		Галега восточная	350,25	458,83	409,79
		Сахарная свекла	413,94	1109,00	1022,00
6	19,08	Клевер луговой	356,09	523,45	430,87
		Галега восточная	356,09	466,48	416,63
		Сахарная свекла	421,47	1129,16	1040,58
Среднее		Клевер луговой	349,50	513,77	422,90
		Галега восточная	349,50	457,85	408,92
		Сахарная свекла	415,83	1114,05	1026,66

При возделывании клевера лугового в условиях варианта 70 % НВ средняя урожайность возрастает на 164,27 ц/га, у галеги восточной – на 108,35 ц/га, а у сахарной свеклы – на 698,22 ц/га. Несколько хуже оцениваемые сельскохозяйственные культуры реагируют на водно-воздушные условия, создаваемые в варианте 80 % НВ, где средняя прибавка от орошения составляет 73,4 ц/га у клевера лугового, 59,42 ц/га у галеги восточной и 610,83 ц/га у сахарной свеклы.

Завершается кадастровая оценка сельскохозяйственных земель установлением величины обобщающих показателей кадастровой оценки земель, к которым относятся нормативный чистый и дифференциальный доходы, кадастровая стоимость 1 га пахотных земель и общий балл кадастровой оценки при различных условиях возделывания сельскохозяйственных культур. Результаты расчета обобщенных экономических показателей оценки рабочих участков приведены в табл. 4.

Таблица 4. Обобщенные экономические показатели оценки рабочих участков

Культура	Номер рабочего участка	Нормативные затраты в зависимости от варианта увлажнения, руб/га			Нормативный чистый доход в зависимости от варианта увлажнения, руб/га			Дифференциальный доход в зависимости от варианта увлажнения, руб/га		
		Без орошения	70 % НВ	80 % НВ	Без орошения	70 % НВ	80 % НВ	Без орошения	70 % НВ	80 % НВ
Клевер луговой	1	857,25	1460,04	1258,40	301,41	512,57	441,89	1,03	1,71	1,49
	2	833,18	1421,49	1224,17	304,44	515,27	445,22	12,34	17,42	16,47
	3	883,69	1502,73	1295,83	485,65	828,55	713,59	187,69	323,03	277,47
	4	871,20	1482,51	1277,97	519,22	884,63	762,39	228,41	390,83	336,57
	5	871,34	1482,77	1278,23	392,66	669,17	576,63	92,58	159,49	137,12
	6	876,59	1491,06	1285,52	408,49	696,75	600,25	107,59	185,98	159,73
Галега восточная	1	648,81	1101,47	997,67	228,12	387,29	350,85	0,97	1,61	1,35
	2	630,58	1070,56	969,72	230,42	391,14	354,28	9,34	15,79	14,23
	3	668,81	1135,50	1028,73	367,56	623,96	564,97	142,05	241,06	217,97
	4	659,36	1119,44	1013,92	392,97	667,07	604,31	172,88	293,36	265,76
	5	659,47	1119,53	1014,12	297,18	504,57	456,99	70,08	119,00	107,66
	6	663,43	1126,13	1020,14	309,17	525,05	475,49	81,43	138,48	125,23
Сахарная свекла	1	1772,51	2233,49	2158,10	369,79	465,85	450,20	22,13	36,71	32,10
	2	1460,04	1839,25	1777,29	598,21	754,22	728,73	352,24	444,63	429,47
	3	1490,85	1878,35	1815,06	1029,47	1297,32	1253,55	861,91	1086,44	1049,66
	4	1446,95	1823,29	1761,88	1115,40	1405,31	1357,86	975,99	1229,78	1188,11
	5	1486,93	1873,40	1810,30	823,37	1037,63	1002,59	615,63	776,11	749,76
	6	1448,38	1825,07	1763,46	903,95	1138,88	1100,56	721,95	909,68	879,03

В результате расчетов установлено, что величина нормативных затрат, нормативного чистого дохода и дифференциального дохода зависят не только от сельскохозяйственной культуры, но и условий увлажнения. Выявлено, что при возделывании клевера лугового, галеги восточной и сахарной свеклы наибольший прирост нормативных затрат (588,31–619,04 руб/га у клевера лугового, 439,98–466,69 руб/га у галеги восточной и 376,34–460,98 руб/га у сахарной свеклы), нормативного чистого дохода (210,83–365,41 руб/га у клевера лугового, 159,17–274,10 руб/га галеги восточной и 96,06–289,91 руб/га сахарной свеклы) и дифференциального дохода (0,68–253,79 руб/га в зависимости от оцениваемой культуры) отмечен в условиях варианта 70 % НВ. Второй вариант с орошением хоть и превышал по своим показателям вариант без орошения, но значительно уступал варианту 70 % НВ.

После установления величины дифференциального дохода выполняется расчет рентного дохода, кадастровой стоимости 1 га пахотных земель и общего балла кадастровой оценки (табл. 5).

Таблица 5. Результаты вычисления общего балла кадастровой оценки и нормативной цены земли

Номер участка	Площадь, га	Дифференциальный доход, руб./га	Абсолютный рентный доход, руб./га	Рентный доход, руб./га	Кадастровая стоимость земель, руб./га	Балл кадастровой оценки земель
Без орошения						
1	109,96	8,04	202,09	210,13	6934,29	10
2	22,35	124,64	202,09	326,73	10782,09	15
3	33,15	397,22	202,09	599,31	19777,23	32
4	76,96	459,09	202,09	661,18	21818,94	36
5	28,34	259,43	202,09	461,52	15230,16	23
6	19,08	303,66	202,09	505,75	16689,75	26
Всего (среднее)	289,84	225,35	202,09	427,44	14105,50	22
70 % НВ						
1	109,96	13,34	202,09	216,24	7135,92	10
2	22,35	159,28	202,09	361,37	11925,21	16
3	33,15	550,18	202,09	752,27	24824,91	41
4	76,96	637,99	202,09	840,08	27722,64	46
5	28,34	351,53	202,09	553,62	18269,46	28
6	19,08	411,38	202,09	613,47	20244,51	31
Всего (среднее)	289,84	311,12	202,09	513,52	16946,23	27
80 % НВ						
1	109,96	11,65	202,09	213,74	7053,42	10
2	22,35	153,39	202,09	355,48	11730,84	16
3	33,15	515,03	202,09	717,12	23664,96	39
4	76,96	596,81	202,09	798,9	26363,7	44
5	28,34	331,51	202,09	533,6	17608,8	27
6	19,08	388,00	202,09	590,09	19472,97	30
Всего (среднее)	289,84	291,58	202,09	493,67	16291,06	26

По результатам расчета и анализа табличных данных установлено, что орошение повышает кадастровую стоимость 1 га пахотных земель и балл кадастровой оценки на 2185,56 руб/га и 4 балла при возделывании сельскохозяйственных культур в условиях варианта 80 % НВ и на 2840,73 руб/га и 5 баллов в водно-воздушных условиях варианта 70 % НВ.

Закключение

Кадастровая оценка сельскохозяйственных земель – это определение стоимости земельных участков сельскохозяйственного назначения, проводимое для целей, установленных законодательством. Эта оценка учитывает различные факторы, влияющие на продуктивность земли, такие как плодородие почв, технологические свойства и местоположение. Результаты кадастровой оценки используются для установления земельного налога, определения размеров убытков при изъятии земель, а также для землеустроительных целей.

На кадастровую стоимость сельскохозяйственных земель оказывают влияние следующие факторы:

1. Плодородие почв.
2. Технологические свойства.
3. Местоположение.
4. Эродированность и мелиоративное состояние.

Кроме почвенного плодородия, на урожайность сельскохозяйственных культур оказывают влияние и условия увлажнения. Для оценки влияния орошения на результаты кадастровой оценки сельскохозяйственных земель выполнен расчет кадастровой стоимости земель и балла кадастровой оценки земель при возделывании клевера лугового, галеги восточной и сахарной свеклы в различных условиях увлажнения.

В первую очередь при кадастровой оценке сельскохозяйственных земель устанавливается величина урожайности сельскохозяйственных культур. Наименьшая урожайность у всех оцениваемых сельскохозяйственных культур наблюдается на всех рабочих участках при возделывании их без орошения. В таких условиях урожайность клевера лугового и галеги восточной варьирует в пределах 315,23–385,28 ц/га, а сахарной свеклы от 368,78 до 459,10 ц/га. Максимальной средней прибавки от орошения, достигающей 164,27 ц/га у клевера лугового, 108,35 ц/га у галеги восточной и 698,22 ц/га у сахарной свеклы, можно достичь при возделывании оцениваемых сельскохозяйственных культур в условиях варианта 70 % НВ.

Повышенная урожайность сельскохозяйственных культур, сформировавшаяся при орошении оцениваемых культур, повлияла и на экономические показатели оценки рабочих участков. Так, при возделывании клевера лугового, галеги восточной и сахарной свеклы в условиях варианта 70 % НВ нормативный чистый и дифференциальный доход в зависимости от рабочего участка возрастают на 96,06–365,41 руб/га и 0,64–253,79 руб/га соответственно. Второй вариант с орошением, хоть и превышал по всем показателям вариант без орошения, но сильно уступал варианту 70 % НВ.

Применение орошения при возделывании сельскохозяйственных культур оказало положительное влияние и на показатели кадастровой оценки сельскохозяйственных земель. Установлено, что возделывание сельскохозяйственных культур в водно-воздушных условиях варианта 80 % НВ повышает кадастровую стоимость 1 га пахотных земель и балл кадастровой оценки на 2185,56 руб/га и 4 балла, а условиях варианта 70 % НВ – на 2840,73 руб/га и 5 баллов. Полученные данные свидетельствуют о высокой экономической эффективности орошения и целесообразности увеличения площади орошаемых земель.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кодекс Республики Беларусь о земле [Электронный ресурс]: 23 июля 2008 г., № 425-3: принят Палатой представителей 17 июня 2008 г.: одобр. Советом Респ. 28 июня 2008 г.: в ред. Закона Респ. Беларусь от 18.07.2022 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2025.
2. Об утверждении Инструкции о порядке проведения кадастровой оценки сельскохозяйственных земель земельных участков, предоставленных сельскохозяйственным организациям, в том числе крестьянским (фермерским) хозяйствам, иным организациям для ведения сельского хозяйства, в том числе крестьянского (фермерского), а также для ведения подсобного сельского хозяйства, и поддержания ее результатов в актуальном состоянии [Электронный ресурс]: постановление Гос. ком. по имуществу Респ. Беларусь, 29 июня 2015 г., № 28 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2025.
3. Валикова, Н. Н. Изменения процедуры государственной кадастровой оценки объектов недвижимости с введением новых методических указаний / Н. Н. Валикова, В. Д. Жуков, К. Э. Лисуненко // Вестник современных исследований. – 2019. – № 1.5 (28). – С. 32–34.
4. Кадастровая оценка сельскохозяйственных земель сельскохозяйственных организаций и крестьянских (фермерских) хозяйств: методика, технология, практика / Г. М. Мороз [и др.]. – Минск: ИВЦ Минфина, 2017. – 208 с.
5. Дрозд, Д. А. Создание сырьевых конвейеров для заготовки сенажа в условиях орошения с использованием сортового разнообразия клевера лугового: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.06 / Д. А. Дрозд. – Горки, 2022. – 180 л.
6. Набздоров, С. В. Влияние орошения и удобрений на водопотребление и урожайность сахарной свеклы при возделывании на дерново-подзолистых суглинистых почвах северо-восточной части Беларуси: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.02 / С. В. Набздоров. – Горки, 2022. – 154 л.
7. Волынцева, В. А. Урожайность и качество галеги восточной (*Galega orientalis* Lam.) при орошении на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах северо-востока Беларуси: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.09 / В. А. Волынцева. – Горки, 2023. – 175 л.
8. Кадастровая оценка сельскохозяйственных земель. Технология работ: ТКП 302-2025 (33520). – Введ. 01.04.25. – Минск: Госкомимущество, 2025. – 104 с.

СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ

УДК [378.095:63]:[54:63](09)(476.4)

СКВОЗЬ ПРИЗМУ ВРЕМЕНИ: РОЛЬ Д. Н. ПРЯНИШНИКОВА В РАЗВИТИИ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И АГРОХИМИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ В БЕЛОРУССКОЙ ГОСУДАРСТВЕННОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ АКАДЕМИИ

Т. Ф. ПЕРСИКОВА, М. В. ЦАРЁВА, М. Л. РАДКЕВИЧ, С. К. ИСАЕВА, А. А. ШОСТАК

УО «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции
и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия»,
г. Горки, Республика Беларусь, 213407, e-mail: Persikova52@rambler.ru

(Поступила в редакцию 20.08.2025)

В статье отражены научные идеи Д. Н. Прянишникова, реализованные учёными агрохимической науки в УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия». Первые агрохимические исследования начались в Горы-Горецкой земледельческой школе в 1845 году под руководством профессора К. Д. Шмидта. Им была открыта химическая лаборатория, в которой проводились агрохимические исследования почв, удобрений и сельскохозяйственной продукции.

Значительный вклад в развитие агрохимии и подготовку специалистов агрохимиков почвоведов внесли учёные О. К. Кедрова-Зихмана, Р. Т. Вильдфлуш, А. М. Брагин, А. А. Каликинский, А. И. Горбылёва, И. Р. Вильдфлуш. Разработаны теоретические основы и практические аспекты известкования кислых почв, применения удобрений под основные сельскохозяйственные культуры, заложены длительные полевые опыты в различных севооборотах, впервые в Беларуси изучена эффективность локального и запасного способов внесения удобрений. Научно-исследовательская работа на кафедре агрохимии и почвоведения ведется по направлениям изыскания рациональных способов внесения удобрений, изучению новых форм минеральных, органических, микроудобрений, бактериальных препаратов, регуляторов роста, позволяющих снизить энергозатраты, связанные с применением удобрений, уменьшить экологическую нагрузку на окружающую среду и получать экологически чистую растениеводческую продукцию. Большое внимание уделяется методическому обеспечению учебного процесса. В статье представлены сведения о книгах из библиотеки Д. Н. Прянишникова, подаренных его семьёй библиотеке им. Д. Р. Новикова УО БГСХА, показана их историческая, полиграфическая и научная ценность.

Ключевые слова: Д.Н. Прянишников, агрохимия, удобрение, урожайность, плодородие, библиотека.

This article reflects D. N. Pryanishnikov's scientific ideas, implemented by Belarusian scientists at the Belarusian State Agricultural Academy. The first agrochemical research began at the Gory-Goretsky Agricultural School in 1845 under the direction of Professor K. D. Schmidt. He opened a chemical laboratory where agrochemical studies of soils, fertilizers, and agricultural products were conducted. Scientists O. K. Kedrova-Zikhmana, R. T. Vildflush, A. M. Bragin, A. A. Kalikinsky, A. I. Gorbyleva, and I. R. Vildflush made significant contributions to the development of agrochemistry and the training of specialists in agrochemistry and soil science. They developed the theoretical foundations and practical aspects of liming acidic soils and applying fertilizers to major agricultural crops, conducted long-term field experiments in various crop rotations, and studied the effectiveness of local and reserve fertilizer application methods for the first time in Belarus. Research at the Department of Agrochemistry and Soil Science focuses on finding efficient methods of fertilizer application, studying new forms of mineral, organic, and micronutrient fertilizers, bacterial preparations, and growth regulators, which reduce energy costs associated with fertilizer application, mitigate the environmental impact, and produce environmentally friendly crop products. Much attention is paid to the methodological support of the educational process. This article presents information about the books from D. N. Pryanishnikov's library, donated by his family to the D. R. Novikov Library of the Belarusian State Agricultural Academy, and demonstrates their historical, typographic, and scientific value.

Key words: D. N. Pryanishnikov, agrochemistry, fertilizer, crop yield, fertility, library.

Ничто в мире не происходит случайно. Во всём есть смысл, и у каждого человека есть своя миссия, которая ему дана и которую он должен выполнить. Случается так, что человек исполняет своё предназначение всю жизнь и делает это так хорошо, что незамеченным остаться не может. Тогда о нём говорят, что он мастер своего дела, что судьба не зря именно так распорядилась им. Таким был Д. Н. Прянишников, Человек с большой буквы.

Дмитрий Николаевич Прянишников – русский агрохимик, биохимик и физиолог растений, основоположник советской научной школы в агрономической химии. Герой Социалистического Труда, лауреат премии им. В. И. Ленина, Сталинской премии и премии им. К. А. Тимирязева. Академик Академии наук СССР и ВАСХНИЛ, член-корреспондент Французской академии наук, основатель и директор

Научного института по удобрениям, член Госплана СССР и Комитета по химизации народного хозяйства, родился 6 ноября 1865 года в г. Кяхта, Забайкальской области Российской империи. В 1883 году Дмитрий Николаевич окончил с золотой медалью Иркутскую гимназию, затем – естественное отделение физико-математического факультета Московского университета. В 1889 году он окончил Петровскую сельскохозяйственную академию (ныне Российский государственный аграрный университет-МСХА имени К. А. Тимирязева). С 1895 года и до конца жизни – заведующий кафедрой агрохимии в Московском сельскохозяйственном институте. В 1919 году стал одним из организаторов Научного института по удобрениям, основал его агрохимический отдел и в 1919–1929 годах возглавлял его. Основные исследования учёного посвящены агрохимии, азотному питанию растений и применению минеральных удобрений в земледелии. Д. Н. Прянишников занимался не только теоретическими исследованиями. Физиологические исследования превращения азота и фосфора в растениях позволили ему по-новому подойти к проблеме применения минеральных удобрений. Он выяснил, каков механизм усвоения растениями азота, находящегося в разных видах химических соединений, и эти выводы легли в основу практических рекомендаций применения удобрений [1]. Основное жизненное кредо академика Д. Н. Прянишникова было посвящено трём жизненным научным направлениям: а) становление и развитие агрохимической науки в России; б) подготовка квалифицированных кадров (учёных-агрохимиков и практиков агрономов в области земледелия и питания растений); в) реализация приёмов мероприятий по сохранению плодородия почв при получении высоких и стабильных урожаев сельскохозяйственных культур. Анализ состояния земледелия в первую четверть прошлого века позволил Д. Н. Прянишникову обосновать ряд комплексных мероприятий по повышению урожайности сельскохозяйственных культур в России. Слабая энерговооружённость сёл и отсутствие квалифицированных кадров не могли способствовать получению стабильных и высоких урожаев. По твёрдому убеждению учёного, основным фактором повышения продуктивности земли, наряду с новой организацией труда на селе, должны быть минеральные удобрения. В этой связи, по мнению учёного, первоочередными задачами по химизации сельского хозяйства страны должны стать поиски собственной сырьевой базы для производства туков с разработкой и созданием новых видов удобрений. Масштабное освоение Программы химизации земледелия (открытие месторождений фосфаритного сырья и калийных руд), строительство в регионах страны азотно-туковых комбинатов позволили обеспечить сельское хозяйство и земледелие страны не только минеральными удобрениями, но и повысить обороноспособность страны [2]. До создания туковой промышленности в России бытовало мнение ненужности удобрений для русских земель, так как применяемые завозные минеральные удобрения, содержали один элемент питания, который без учёта других компонентов, не оказывал положительного влияния на урожайность полевых культур. В этой связи для будущего развития сельского хозяйства страны в целом стояли крайне важные задачи, а именно: а) доказать положительную роль внесения минеральных удобрений в повышении урожайности сельскохозяйственных культур; б) провести активный поиск месторождений минеральной сырьевой базы для производства собственных удобрений; в) убедить новые власти молодой России в целесообразности создания туковой промышленности по производству собственных минеральных удобрений и г) научить советского крестьянина получать высокие урожаи. Для решения вышеназванных задач по инициативе Д. Н. Прянишникова в 1919 г. был создан первый комплексный Научный институт удобрений (НИУ), позже переименованный в НИУИФ (научный институт по удобрениям и инсектофунгицидам), который стал основой геологического поиска залежей руд, пригодных для производства удобрений. В одном из его отделов активно проводились исследования по созданию новых видов минеральных удобрений, в т.ч. комплексных, оценке отзывчивости сельскохозяйственных культур на их внесение. Лучшие виды удобрений проходили испытания в полевых опытах по всей территории огромной страны. Практическое решение этой проблемы уже в 30-е годы прошлого века позволило не только повысить урожайность, но и существенно улучшить плодородие почвы, а главное показать, что страна способна производить свои удобрения. Например, фосфоритный фонд для производства удобрений нарастал высокими темпами, снабжая сельское хозяйство фосфорными удобрениями. Значительные сырьевые ресурсы имелись также для производства азотных и калийных удобрений. Создавались новые гранулированные комплексные удобрения, в составе которых содержалось 2–3 элемента питания, обладающих хорошими физико-химическими свойствами для транспортировки и внесения в почву [3, 4]. Актуальным и малоисследованным перед агрохимиками оказался вопрос об эффективности минеральных удобрений на разных почвах и климатических условиях страны. Благодаря организованной Географической сети полевых опытов с удобрениями была доказана эффективность их внесения во всех почвенно-климатических зонах страны. Под руководством

Д. Н. Прянишникова и А. Н. Лебеядцева агрохимической наукой была разработана Программа всесоюзной проверки эффективности минеральных удобрений при внесении под все сельскохозяйственные культуры (от зерновых до цитрусовых) и на всех почвах страны (от дерново-подзолистых до краснозёмов). В реализации этой инициативы разработана и предложена для всех географических опытов страны единая схема сочетания минеральных удобрений. Все опыты проводились и обобщались под жёстким контролем Института удобрений. Ученик и последователь Д. Н. Прянишникова, профессор А. В. Петербургский отмечал: «Возвращаясь к оценке результатов опытов географической сети Института удобрений, проводившихся сотнями станций с разными культурами и в разных районах страны, необходимо подчеркнуть, что они повсюду явили важность и безотказность действия минеральных удобрений» [5]. Особенно высокая отзывчивость на минеральные удобрения была отмечена в нечернозёмной зоне. Опыты Географической сети опытов позволили оценить особенности действия видов удобрений, и способы их внесения под сельскохозяйственные культуры и создать основу для дальнейшего развития сети исследований. Изучение эффективности удобрений в разных почвенно-климатических зонах позволила определить наиболее оптимальные соотношения элементов питания, более высокие нормы и дозы, технологические срок и способы их внесения под сельскохозяйственные культуры [6]. При этом были окончательно опровергнуты существующие представления о низкой эффективности удобрений в регионах страны.

С Д. Н. Прянишниковым тесно связана жизнь и деятельность его ученика Николая Ивановича Вавилова. Инициатором преподавательской и научной деятельности Н. И. Вавилова был Дмитрий Николаевич. В 1911 году после окончания Московского сельскохозяйственного института (Петровка) он был оставлен Дмитрием Николаевичем при кафедре частного земледелия, для подготовки к профессорскому званию. Далее Дмитрий Николаевич направляет его на первую в России Селекционную станцию, организованную Д. Л. Рудзинским, где он начинает свои опыты по иммунитету культурных растений к паразитическим грибам. В своей статье к 50-летию научной деятельности учёного Н. И. Вавилов отметил ведущую роль Д. Н. Прянишникова в мировой агрономической науке, всемерно используя для неё методы точных наук-химии и физиологии растений, его эрудицию и исключительное знание современного уровня мировой науки. Он вспоминал, с каким поразительным умением Дмитрий Николаевич организовывал замечательные практические курсы по удобрению, привлекая студентов к исследовательской работе путём овладения вегетационным методом. Им впервые были введены в практику преподавания проведение вегетационных опытов, в вегетационных домиках, устроенных по идее и под руководством К. А. Тимирязева. Этот приём оказался плодотворным методом педагогического воздействия, приобщая студентов к самостоятельной работе. Н. И. Вавилов писал о Дмитрии Николаевиче как о крупнейшем авторитете в современной мировой агрономической науке, точной, опытной, достоверной, ясно сформулированной, окристаллизованной, «Кто знает лично Дмитрия Николаевича, тот представляет его человеком без страха и упрёка, необычайной смелости, правдивости, ясности и настойчивости». «Когда спрашивают о науке в той или иной стране, то мы прежде всего думаем о том, что нового внесли научные деятели этой страны в мировые знания, какие новые пути проложены ими, какие оригинальные школы и течения существуют в данной стране; в наших умах встают имена ведущих исследователей, которых дала эта страна. Как маяк, они определяют научный уровень целой страны, направленность работы больших научных коллективов». Это относится к Дмитрию Николаевичу Прянишникову. Из пяти первых, Д. Н. Прянишников и Н. И. Вавилов были награждены премией имени Ленина в 1926 году. Дмитрий Николаевич «за ряд исследований по питанию растений, лёгших в основу учения об удобрениях в сельском хозяйстве и учения о свойствах культурных почв». Н. И. Вавилов за «ряд сочинений по исследованию иммунитета культурных растений и за разработку вопроса о происхождении культурных растений» [7].

Научные идеи Д. Н. Прянишникова были приняты и получили широкое распространение при проведении агрохимических исследованиях в Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. Вклад учёного в развитие науки в академии трудно переоценить. В 1919 году профессор Д. Н. Прянишников был избран профессором-консультантом воссозданного после Великой Октябрьской революции сельскохозяйственного института в Горках. Следует отметить, что первые агрохимические исследования начались в Горы-Горецкой земледельческой школе в 1845 году под руководством профессора Константина Даниловича Шмидта. Им была открыта химическая лаборатория, в которой проводились агрохимические исследования почв, удобрений и сельскохозяйственной продукции. Один из основоположников русской сельскохозяйственной науки, Иван Александрович Стебут, окончивший в 1854 году Горы-Горецкий земледельческий институт, на опытном поле Горы-Горецкого

земледельческого института заложил серию полевых опытов по изучению различных вопросов агрономии (севообороты, агротехнике возделывания полевых культур, применению местных и минеральных удобрений, известкованию кислых почв, травосеянию). Труды И. А. Стебута, где он указывал на важную роль известкования и минеральных удобрений для повышения урожайности сельскохозяйственных культур, использования люпина для повышения плодородия лёгких почв, имели большое значение в развитии отечественной агрономии и агрохимии. Целенаправленные агрохимические исследования начались в 1921 г. в Горецком сельскохозяйственном институте (с 1925 г. – Белорусская сельскохозяйственная академия), а в 1931 г. в академии был открыт факультет агрохимии и почвоведения, который являлся одним из первых в Советском Союзе. Первым заведующим кафедрой агрохимии был доктор сельскохозяйственных наук, профессор, впоследствии академик Академии наук БССР и ВАСХНИЛ, Оскар Карлович Кедров-Зихман. Исследования, проведённые в 1921–1931 гг. под руководством О. К. Кедрова-Зихмана, позволили сформулировать ряд важнейших положений известкования. Он разработал теоретические основы и практические аспекты известкования кислых почв, использования доломитов для известкования, применения микроэлементов на известкованных почвах. Исследования, проведенные в эти годы, позволили сформулировать ряд важнейших положений известкования [8]. Они получили мировую известность и до сих пор являются теоретической основой химической мелиорации почв. Важное место в этих исследованиях занимает изучение роли магния в известковых удобрениях. Результаты исследований стали предпосылкой для построения крупнейшего в Беларуси предприятия по производству доломитовой муки на базе месторождения «Руба» (Витебское ОАО «Доломит»).

Довоенные годы (1938–1941 гг.) были ознаменованы изучением возможности применения сапропелей в качестве удобрений. В послевоенный период (1945–1972 гг.) вся научная деятельность кафедры была направлена на изучение питания растений, рациональных способов внесения минеральных удобрений под сельскохозяйственные культуры. Заведующий кафедрой, Роберт Тенисович Вильдфлуш, со своими учениками разработали теоретические основы применения удобрений под основные сельскохозяйственные культуры. В 1948 г. Р. Т. Вильдфлуш в отделении учхоза академии открывает опытное поле кафедры агрохимии в отделении «Иванова», а в 1950 г. – опытное поле в «Тушково». По инициативе Р. Т. Вильдфлуша при кафедре агрохимии была открыта проблемная лаборатория с отделом питания растений. В это же время был построен современный по тем временам вегетационный домик. Он был создателем научной школы в области питания растений и изучения рациональных способов внесения минеральных удобрений под сельскохозяйственные культуры. Роберт Тенисович возглавил направления по питанию растений и впервые в Беларуси по локальному внесению удобрений. Проведение дальнейших исследований обусловило необходимость закладки длительных полевых опытов в различных севооборотах [9]. В 1950 г. Анатолием Михайловичем Брагиным, по инициативе Р. Т. Вильдфлуша, на опытном поле «Иваново» был заложен длительный стационарный опыт в пятипольном севообороте по схеме Д. Н. Прянишникова для изучения навозной, минеральной и навозо-минеральной систем удобрения. Впервые для дерново-подзолистых легкосуглинистых почв Беларуси были определены нормативы внесения удобрений для достижения бездефицитного баланса гумуса и питательных элементов: 10–12 т/га +200–220 кг/га NPK в среднем в год на фоне известкования по полной гидролитической кислотности. При этом обеспечивается урожайность зерновых на уровне 40–50 ц/га при интенсивности баланса для N на уровне 110–120 %, P₂O₅ и K₂O–200–300 и 110–140 % соответственно. Эти выводы были использованы при разработке республиканских рекомендаций. Длительные, брагинские, опыты как их называют, вошли в каталог длительных опытов БССР и СССР, а первые из них включены в каталог длительных европейских опытов [10]. На опытном поле «Тушково» под руководством Александра Арсеньевича Каликинского эффективность локального способа изучалась в 2 севооборотах, заложенных на почвах разного уровня плодородия. Результаты исследований показали, что при локальном способе внесения удобрений по сравнению с разбросным дозы минеральных удобрений можно снизить на 25–30 % и увеличить урожайность зерновых на 2,5–4,0 ц/га, картофеля – 30–50, зелёной массы кукурузы – 40–45, кормовых корнеплодов – 25–36, сахарной свёклы 30–50 ц/га. Было установлено, что при локальном внесении удобрения не перемешиваются с почвой и создаются очаги повышенной концентрации элементов питания, которые более интенсивно поглощаются. При локальном способе коэффициент использования азота возрастает на 10–15 %, фосфора – 5–10 %, калия – 10–12 % [11]. Исследования проводились по всему Советскому Союзу и координировались ВИУА. Результаты исследований по способам внесения удобрений, проведённые на кафедре агрохимии вошли во всесоюзные и республиканские рекомендации по локальному применению удобрений. В СССР было

налажено производство машин (СЗК-3,3 и др.), позволяющих под зерновые и зернобобовые культуры снижать дозы удобрений и совмещать операции локального и основного внесения удобрений и посева, что позволяло компенсировать затраты на внутривредное внесение. Однако после распада СССР производство таких машин было прекращено. Широкое распространение этот способ внесения удобрений получил в США и ряде западноевропейских стран [12]. В течение 25 лет Анной Ивановной Горбылёвой изучалась сравнительная эффективность ленточного внесения НРК-удобрений под все культуры двух пятипольных севооборотов и периодического (запасного) внесения РК-удобрений с ежегодным разбросным внесением. Было установлено, что запасное внесение обеспечивает равные или более высокие урожаи сельскохозяйственных культур, по сравнению с ежегодным разбросным, увеличивает производительность агрегатов на 35–40 % и снижает затраты на работах с удобрениями на 35–50 %. За цикл исследований, посвященный вопросам эволюции почвенного плодородия и комплексным проблемам охраны почв, оптимизации питания растений и почвенных процессов с целью создания высокопродуктивных и чистых агроценозов на дерново-подзолистых почвах, на конкурсной основе в 2004 г. А. И. Горбылёвой была присуждена премия имени академика Д. Н. Прянишникова, учрежденная правительством России для учёных в области агрохимии [9]. Впервые с использованием методов фракционного состава минеральных и органических фосфатов Игорь Робертович Вильдфлуш исследовал формы соединений минеральных и органических фосфатов в автоморфных, эродированных и заболоченных дерново-подзолистых почвах разного гранулометрического состава, в длительных стационарных опытах с удобрениями, трансформацию в почвах вносимого с удобрениями фосфора [13]. Им создана научная агрохимическая школа по проблемам оптимизации фосфорного режима дерново-подзолистых почв, исследованию эффективности новых форм удобрений, бактериальных, diaзотрофных и фосфатмобилизирующих биопрепаратов, регуляторов роста растений, разработке ресурсосберегающей технологии комплексного применения удобрений и средств защиты растений при возделывании сельскохозяйственных культур [9]. На рациональное использование биологического азота на дерново-подзолистых почвах Республики Беларусь, разработку эколого-физиологических принципов технологий формирования высокопродуктивных и устойчивых смешанных посевов на основе оптимизации минерального питания и пространственного размещения компонентов в агрофитоценозе, оптимизацию условий выращивания сорго сахарного, разработке сортовой агротехники люпина узколистного и проса обладающих высокими показателями качества зерна, устойчивостью к основным болезням направлены исследования Персиковой Тамары Филипповны [14].

Преподавателями кафедры агрохимии БСХА изучены приёмы внесения удобрений на сенокосах (С. М. Камасин), эффективность использования микроудобрений при возделывании бобовых культур клевера, люцерны, кормовых бобов, донника (Р. Р. Вильдфлуш), навозных стоков животноводческих комплексов (В. А. Ионас), использования осадка сточных вод на удобрение (Н. П. Решецкий), соломы на удобрения (В. И. Барейша), эффективность применения жидких комплексных удобрений (С. Ф. Шекунова, Э. М. Батыршаев, С. М. Мижуй), комплексное применение микроудобрений, регуляторов роста, биопрепаратов под бобовые культуры (М. Л. Радкевич, О. И. Вильдфлуш), картофель (А. С. Мастеров), зерновые культуры (К. А. Гурбан, В. П. Дуктов, О. В. Мурзова), хелатные формы микроудобрений (И. В. Ковалёва), технологии возделывания льна-долгунца и льна масличного (С. Ф. Ходянкина, С. П. Кукреш, А. А. Ходянков, А. В. Шершнёв), технологии возделывания рапса (С. Д. Курганская), проса (Ю. В. Коготко), сорго (Е. А. Блохина), эффективность удобрений в смешанных агрофитоценозах (М. В. Царёва, И. И. Сергеева, Н. Л. Почтовая), изучению накопления тяжёлых металлов в зависимости от уровня загрязнения почв ТМ и приёмы детоксикации почв, снижения накопления ТМ в растениеводческой продукции (М. Н. Каль) и др. На протяжении ряда лет преподаватели кафедры являлись руководителями научно-технических программ или их разделов (Фонда фундаментальных исследований Республики Беларусь), Государственных научно-технических программ «Агропромкомплекс», «Агропромкомплекс – возрождение села», «Земледелие и растениеводство», «Биорациональные пестициды», «Биопродуктивность», «Агропромкомплекс – устойчивое развитие», «Инновационные системы земледелия» и другие. На кафедре большое внимание уделяется методическому обеспечению учебного процесса. Учебник «Агрохимия» для высших учебных заведений с грифом Министерства образования, подготовленный преподавателями кафедры выдержал 4 издания. Издано более 30 учебных пособий с грифом Министерства образования и УМО, 5 справочников по удобрениям, 2 справочника агрохимика, 1 справочник агронома и 1 справочное пособие руководителям сельскохозяйственного производства. Кафедра имеет опытное поле в Тушково на территории УНЦ «Опытные поля БГСХА», где проводят опыты аспиранты, магистранты, студенты и преподаватели. Коллектив

кафедры агрохимии и почвоведения УО БГСХА продолжает свою целенаправленную работу по подготовке специалистов агрохимиков и почвоведов высшей квалификации, бережно относится к традициям, заложенным предыдущими поколениями преподавательского состава. Научно-исследовательская работа на кафедре агрохимии и почвоведения ведется по направлениям изыскания рациональных способов внесения удобрений, изучению новых форм минеральных, органических, микроудобрений, бактериальных препаратов, регуляторов роста, позволяющих снизить энергозатраты, связанные с применением удобрений, уменьшить экологическую нагрузку на окружающую среду и получать экологически чистую растениеводческую продукцию. Проводятся научно-исследовательские работы по обоснованию доз и способов внесения куриного помета и их влияние на продуктивность и качество урожая сельскохозяйственных культур, повышения плодородия дерново-подзолистых почв в условиях конкретных сельскохозяйственных организаций (Т. Ф. Персикова, М. В. Царёва, Е. Ф. Валейша), по определению эффективности известкования дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы отходами производства ОАО «Белорусский цементный завод» (О. И. Мишура, М. Л. Радкевич), исследования эффективности комплексного применения средств химизации при возделывании озимых и яровых зерновых культур, гороха, кукурузы, картофеля, озимого и ярового рапса (Ю. В. Коготько).

В Белорусской государственной сельскохозяйственной академии чтут память о Дмитрие Николаевиче Прянишникове. 2025 г. стал наиболее знаменательным для увековечивания памяти ученого, поскольку отмечается не только 160-летие со дня рождения Дмитрия Николаевича, но и 185-летний юбилей академии. За весь период своей деятельности Д. Н. Прянишниковым была собрана уникальная библиотека, которая состояла из его трудов и приобретенных или подаренных книг других авторов. В 1951 г. библиотеке Белорусской государственной сельскохозяйственной академии была передана семьей ученого личная библиотека Д. Н. Прянишникова. Это собрание трудов заняло достойное место в фонде библиотеки академии. Издания были разделены на две коллекции: труды самого ученого – «Коллекция Д. Н. Прянишникова» и книги, собранные им, под названием «Библиотека Д. Н. Прянишникова».

В «Коллекции Д. Н. Прянишникова» 150 экземпляров изданий. Это книги, статьи из журналов и отдельные оттиски статей из трудов ученого. Самое раннее издание из этой коллекции – О распадении белковых веществ при прорастании / Д. Н. Прянишников. – М., 1892. – 59 с. На титульном листе есть автограф – «Многоуважаемому Ивану Алексеевичу Каблукову от автора». Коллекция содержит основные научные труды:

Учение об удобрении: курс Д. Н. Прянишникова, составленный по его лекциям и под его редакцией студентами С. Кочергиным и Н. Тулайковым / Д. Н. Прянишников. – М.: Типолитография В. Рихтер, 1900. – 185 с.

В библиотеке есть издания этого курса 1900, 1903, 1908, 1912, 1922 гг.

Частное земледелие: курс лекций / Д. Н. Прянишников. – 2-е изд. – М.: Типолит. В.Рихтер, 1901. – 398 с.

Белковые вещества. Общая химия белковых веществ. Главнейшие представители белков растительного и животного происхождения / Д. Н. Прянишников. – 2-е перераб. изд.-[Л.]: Издание М. и С. Сабашниковых, 1926. – 168 с.

Агрохимия. Общий курс: учебник для растениеводческих вузов / Д. Н. Прянишников. – М.; Л.: Сельхозгиз, 1934. – 399 с.

Растения полевой культуры (частное земледелие): учебник / Д. Н. Прянишников. – 10-е изд., перераб. и доп.-М.: Сельхозгиз, 1938. – 759 с.

Азот в жизни растений и в земледелии СССР / Д. Н. Прянишников; Академия наук Союза ССР. – М.; Л.: Акад. Наук СССР, 1945. – 200 с.

Интерес представляет книга подведения итогов научных исследований за сто лет: К истории развития основных воззрений в агрономии (1806–1906): актовая речь / Д. Н. Прянишников. – М.: Университетская типография, 1906. – 60 с.

В круг интересов ученого входит не только наука, но и проблемы агрономического образования: «Почему у нас мало агрономов с ученой степенью?» / Д. Н. Прянишников. – Петровско-Разумовское, 1909. – 11 с.

По высшим агрономическим школам Европы / Д. Н. Прянишников. – М.: Типолитограф. В. Рихтер, 1910. – 77 с.

Университеты и агрономия: речь, произнесенная при открытии секции агрономии на XII съезде русских естествоиспытателей и врачей / Д. Н. Прянишников. М.: Типография О. Л. Сомовой, 1910. – 18 с.

В коллекции есть не только научные труды, но и очерки о людях, с которыми работал и общался Д. Н. Прянишников: «К. К. Гедройц как агрохимик»; «Памяти П. С. Коссовича». Есть книга, посвященная самому Дмитрию Николаевичу: К юбилею профессора Д. Н. Прянишникова (с портретом) / Д. Н. Прянишников; Московское Общество Сельского Хозяйства. – М.; Изд. редакции журн. «Вестник сельского хозяйства», 1925 (Учебная типография Центр. Дома Коммунистич. Воспитания Рабоч. Молод.) – 61 с. Из приветствия профессора Нейберга (Берлин), которое размещено в этой книге: «Немногим исследователям удаётся так глубоко и тонко проникнуть в свою науку как Вам, и при взгляде на Вашу жизнь, Вы с гордостью можете увидеть, как много означает имя «Прянишников» в научном мире».

Вторая коллекция, «Библиотека Д. Н. Прянишникова», насчитывает 2400 экземпляров изданий. Эти книги, статьи из журналов и отдельные оттиски статей из трудов собирал сам Дмитрий Николаевич. Более 700 книг получено им в дар от авторов с их автографами.

Фортунатов А. Ф. Сборник статей по общественной агрономии / А. Ф. Фортунатов; Казанский Губернский Земельный Отдел. – Казань: Государственное издательство, 1920 (2-я Государственная типография). – 87 с. (Дорогому Дмитрию Николаевичу Прянишникову. Искренний его почитатель).

Гедройц К. К. Опыты по влиянию стерилизации почвы на рост растений и на самую почву: труды сельскохозяйственной химической лаборатории в С.-Петербурге / Константин Коэтанович Гедройц. – С.-Петербург: Типография В. О. Киршбаума (отделение), 1908. – (Глубокоуважаемому Дмитрию Николаевичу Прянишникову от автора).

Д. Н. Прянишникову дарили книги со своими автографами известные ученые Н. И. Вавилов, С. К. Чаянов, В. И. Вернадский, В. В. Винер, В. Р. Вильямс, О. К. Кедров-Зихман, А. И. Стебут, А. П. Кравков, А. Г. Дояренко и др. Около 30 книг из коллекции имеют экслибрис, удостоверяющий владельца книги – Д. Н. Прянишникова. Многие книги, на которых нет экслибриса, подписаны вручную самим Дмитрием Николаевичем. Немало в библиотеке Д. Н. Прянишникова переводных книг зарубежных ученых, также с подписью учёного: Тайлор Э. Б. «Антропология»: введение к изучению человека и цивилизации / Э. Б. Тайлор; пер. И. С. Ивин; авт. предисл. П. Л. Лавров. – 3-е изд., сверенное с последним англ. изд.-СПб.: Издание И.И.Биливина, 1908 (Типография М. Стасюлевича).

Книги коллекции «Библиотека Д. Н. Прянишникова» в основном сельскохозяйственной тематики, но есть также и научно-популярные книги. Например, старопечатное издание 1781 г., которое представляет интерес для любителей книжных памятников: «АПОФЕГМАТА», то есть кратких витиеватых и нравоучительных речей: в них же изложены различные вопросы и ответы, жития и поступки, пословицы и разговоры различных древних Философов. – Санкт-Петербург: Императорская Академия Наук, 1781. – 123 с.

В коллекции научной и учебной литературы нашлось место и художественным книгам, например, сборнику лирических стихов и либретто оперы «Травиата» на итальянском языке.

В библиотеке академии находится более 2500 изданий из библиотеки Д. Н. Прянишникова. Часть книг оцифрована и ознакомиться с ними можно в электронном каталоге УО БГСХА; работа по оцифровке продолжается [15].

Не зависимо от временных событий идеи Д. Н. Прянишникова актуальны и сегодня. Дальнейшее повышение продуктивности почв необходимо не за счет повышения объемов применения минеральных удобрений, а за счет повышения эффективности их использования, и как отмечал Д. Н. Прянишников «... избыток удобрений не заменит недостаток знаний». Чтобы получать высокую отдачу от применения удобрений, необходимо организовать их рациональное использование на основе внедрения в хозяйствах энергосберегающих, экологически сбалансированных систем удобрения сельскохозяйственных культур. Все это будет возможным, благодаря развитию и совершенствованию в дальнейшем агрохимической науки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитрий Николаевич Прянишников. Жизнь и деятельность: сборник / [Редколлегия: акад. С. И. Вольфович и др.]; [АН СССР]. – М.: Наука, 1972. – 271 с.

2. Прянишников, Д. Н. Основные задачи в области химизации земледелия / Д. Н. Прянишников: справочник по удобрениям. – М. Госхимиздат, 1933. – С. 152.

3. Владавец, В. И. Хибинские апатитовые месторождения, как сырьевая база для суперфосфатной промышленности / В. И. Владавец // Удобрение и урожай. – 1929. – №1. – С. 24–26.

4. Соколов, А. В. Формы азотных, фосфорных, калийных и сложных удобрений / А. В. Соколов, В. Ф. Турчин // Сб. XX лет работы НИУИФ, 1919-1939/ – М.: ГНТИХИЛ, 1939. – С. 104–109.

5. Петербургский, А. В. Жизнь и деятельность Д. Н. Прянишникова / А. В. Петербургский. – М. Типография Тимирязевской с.-х. академии, 1960. – 124 с.

6. Бородич, Д. Н. Потребность основных почвенных типов Союза в удобрениях. По материалам полевых опытов Географической сети РИУ за 1928–1930 гг. / Д. Н. Бородич // Географические опыты с минеральными удобрениями, проведённые НИУ за время с 1926 по 1930 г. Труды научного института по удобрениям им. Я.В. Самойлова. – Л. Госкомиздат ЛО, 1933. – Вып.93. – С. 12–257.
7. Авруцкая Т. Б. Научный дуэт: Д. Н. Прянишников и Н. И. Вавилов в истории агрономии // Материалы международной научно-практической конференции посвящённой 160-летию академика Д. Н. Прянишникова в рамках мероприятий 300-летия РАН и к 300-летию г. Кяхта. (21–25 июля 2025года. г. Кяхта-г. Улан-Удэ). – Новосибирск, 2025. – С. 74–80.
8. Кедров-Зихман, О. К. Научные основы и задачи известкования дерново-подзолистых почв / О. К. Кедров-Зихман // Удобрение и урожай. – 1959. – № 6. – С. 3–9.
9. К 100-летию кафедры агрохимии УО БГСХА / Б. Воробьев, И. Р. Вильдфлуш, О. И. Мишура, М. Л. Радкевич, Ю. В. Коготко, Э. М. Батыршаев // Вестник БГСХА. –2021. – №4. – С. 154–160.
10. Горбылева, А. И. Роль в развитии концепции расширенного воспроизводства почвенного плодородия в трудах А. М. Брагина / А. И. Горбылева // Материалы международной научно-практической конференции, посвящённой 100-летию со дня рождения А. М. Брагина, доктора сельскохозяйственных наук, профессора, Заслуженного работника высшей школы БССР. – Горки, 2009. –С. 3–11.
11. Ленточное внесение удобрений при возделывании кормовых культур / А. А. Каликинский, И. Р. Вильдфлуш, Г. И. Мангутова, В. М. Камовская // Химия в сельском хозяйстве. – 1987. – № 10. – С. 46–48.
12. Вильдфлуш, И. Р. Талантливый ученый-агрохимик. Памяти А. А. Каликинского (1915–1993) / И. Р. Вильдфлуш, Т. Ф. Перскова Т. Ф. // Агрохимический вестник. – 2006. – № 1. – С. 31–36.
13. Каликинский, А. А. Оптимальное содержание подвижного фосфора и калия в дерново-подзолистых почвах / А. А. Каликинский, И. Р. Вильдфлуш // Химия в сельском хозяйстве. – 1990. – № 3. – С. 37–39.
14. Вклад ученых-агрохимиков Белорусской государственной сельскохозяйственной академии в развитие агрохимической науки / Перскова Т. Ф., Радкевич М. Л., Царева М. В., Мишура О. И., Коготко Ю. В. // Материалы национальной научно-практической конференции (с международным участием) «Агрономическая химия и экология: вчера, сегодня, завтра» 14–16 мая 2025 года Нижний Новгород. – Нижний Новгород, 2025. – С. 12–16.
15. Перскова, Т. Ф. Книжное наследие Д. Н. Прянишникова в библиотеке им. Д. Р. Новикова Белорусской государственной сельскохозяйственной академии / Т. Ф. Перскова, С. К. Исаева, А. А. Шостак // Материалы международной научно-практической конференции, посвящённой 160-летию академика Д. Н. Прянишникова в рамках мероприятий 300-летия РАН и к 300-летию г. Кяхта. (21–25 июля 2025года. г. Кяхта-г. Улан-Удэ). – Новосибирск, 2025. – С. 103–109.

ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЙ КРУГОЗОР

УДК 378.113
ББК 74.584(2Р)738.1
З 365

ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ КАФЕДРЫ

Ф. В. ЗИНОВЬЕВ, И. Ф. ЗИНОВЬЕВ

*ФГАОУ ВО «Крымский Федеральный университет имени В. И. Вернадского»,
г. Симферополь, Российская Федерация, 295015, e-mail: fzinovjev @ gmail. com*

(Поступила в редакцию 04.09.2025)

Раскрыты подходы к оценке эффективности деятельности кафедры на основе учета предоставленных базовых условий, непосредственной деятельности и полученных результатов.

Ключевые слова: *потенциал кафедры, образовательный и научный процесс, эффективность деятельности, проблемы и возможные перспективы.*

This article describes approaches to evaluating the effectiveness of department activities based on the provided basic conditions, the current activities, and the results obtained.

Key words: *department potential, educational and scientific process, effectiveness, problems, and potential prospects.*

Введение

Изучению деятельности кафедры уделили немало внимания: О. В. Григораш, С. И. Черноморченко, С. А. Прокопенко, Г. Б. Клейнер, В. П. Мохначев, С. Д. Резник, А. Г. Суслов. Каждый из них внес значительный вклад в исследование проблем в деятельности кафедры: функции и методы работы заведующего кафедрой, организации труда преподавателей, критерии и методы оценки деятельности кафедры.

Анализируя публикации, можно отметить разные подходы к оценке деятельности кафедры. К сожалению, не учитывается разнохарактерный базовый потенциал кафедр. А практика внедрения эффективных контрактов показывает нам недостаточно объективный подход к оценке деятельности преподавателей. Оценке подвергается, в основном, научная работа преподавателей, тогда как доминирующей основой является образовательная деятельность. А результатом последней является приобретение выпускниками компетенций, востребованных данными специалистами на рынке интеллектуального труда.

Ни в одном стратегическом документе федерального уровня, нет ответа на принципиальный вопрос: «Является ли развитие фундаментальной и прикладной науки в вузах России необходимым условием их функционирования?» Особенно это касается региональных вузов. В крупных мегаполисах действуют научно-образовательные центры, тогда как в большинстве региональных вузов доминирует образовательная деятельность, а доля научной деятельности незначительна.

Авторы статьи имеют определенный опыт работы в высшей школе, так как работают в этой сфере десятки лет. За этот период видели хорошее и плохое, пережили не один период трансформационных процессов в системе высшего образования, изменения в учебных планах, методах преподавания, критериях деятельности кафедр и их руководителей.

Цель данной статьи: предложить апробированный ранее подход к оценке деятельности кафедры с учетом трех составляющих: наличной базы кафедры, процесса развития преподавателей и студентов и достигнутых результатов.

Основная часть

Потенциал кафедры – это интегральное отображение текущих и будущих возможностей трансформировать наличные ресурсы в эффективную деятельность, что предопределяет уровень ее развития и перспективы деятельности. Конкурентоспособность кафедры определяется эффективностью использования интеллектуальных, профессиональных педагогических, трудовых, материальных, финансовых

ресурсов. Не менее важным является учет инвестиционных, инновационных, предпринимательских, информационных, управленческих составляющих.

Преподаватели могут испытывать интерес к различным видам деятельности: к профориентационной, образовательной, воспитательной, методической, научной, организационной, информационной, общественной. И их соотношение зависит от специфики мотивации преподавателей к определенному виду деятельности. Кто-то любит аудиторную работу со студентами, другие испытывают интерес к методической работе или внеаудиторной работе с обучаемыми, возможен интерес к повышению квалификации или научной работе. Все это сказывается на специфике и результатах деятельности кафедры. Например, в вузах определенное место занимает профориентационная работа с возможными абитуриентами, которая сводится к вербовке школьников или выпускников колледжей на данную специальность. Но ведь профориентация – это определение задатков человека к определенному виду деятельности, а не вербовка. Показателен опыт МГИМО, в котором без «профориентации» в этом году конкурс составил 217 человек на бюджетное место. Таков высокий имидж вуза.

Нельзя не согласиться с Г. Б. Клейнером, что «деятельность кафедры, как управленческой системы, включает: проектные, объектные, процессные составляющие и среду. Эти составляющие (тетрады) образуют устойчивость кафедры, способной к самостоятельному функционированию и развитию. На кафедре составляющими такой тетрады могут являться: сотрудники, которые способны генерировать инновации (люди проекта); сотрудники, способные эти инновации применять и распространять (люди процесса), люди, обеспечивающие порядок и сохранность имущества кафедры (люди объекта); лица, создающие плодотворную, доброжелательную атмосферу на кафедре (люди среды). Если не удастся создать эффективные тетрады, неизбежны столкновения с серьезными рисками. Тетрады не вечны, события происходят, состав сотрудников меняется, и, несмотря на это, необходимо поддерживать существование таких тетрад» [6, С. 58].

Результативность обучения формируют:

Кого учим. Кто учит. Чему учим. Как учим.

Кого учим. В результате коммерциализации образования, в региональных вузах формируется крайне неоднородный состав студенчества. Из-за экономической несостоятельности значительной части родителей абитуриентов, практически, отсутствует альтернативность получения высшего образования за пределами региона, что уже привело к значительному снижению качественных показателей абитуриентов в региональных вузах.

Как следствие, дисбаланс в заинтересованности нынешних обучающихся в реальном освоении профильных знаний, умений и навыков превышает формальный коэффициент Джини по степени расслоения нашего общества по уровню доходов. Решение же сиюминутных задач поддержания финансового благополучия вузов, за счет сохранения контингента студентов, обучающихся на коммерческой основе «любой ценой», является реальной, но пагубной практикой региональной высшей школы, и развращает, даже ранее мотивированных, обучающихся.

С каким уровнем подготовки пришли к нам первокурсники? Как учатся у нас? Насколько родители могут их обеспечить? В каких условиях живут? Каково качество их жизни? Насколько мотивированы к учебе, испытывают ли интерес к нашим занятиям? Сколько времени они занимаются дома? Куда направляются наши выпускники?

Наиболее активные студенты ищут возможность самореализации уже на втором – третьем курсах обучения. Согласно проведенным опросам [5]: «36 % обучающихся на дневной форме обучения работают вечером, а еще 24 % выбирают сменный график (и это, – не считая тех 11 % респондентов, которые работают дистанционно)». Удручает тот факт, что «57 % трудоустроенных студентов совмещают учебу с работой не по избранному направлению обучения. Обучающиеся в бакалавриате еще «совмещают учебу с работой», а магистранты уже «совмещают работу с учебой».

Оценка обучающихся включает: квалификационный состав преподавателей, их компетентность, практический и педагогический опыт, цели и ценности, уровень мотивации и качество жизни, реальный, а не мнимый, авторитет у студентов.

Чему учим. Сколько времени преподаватели затрачивают на подготовку к занятиям или готовятся по ходу занятия? Что это: чужие мысли или свои, пропущенные через собственное сознание, «выношенные». Эффективный образовательный процесс состоит из **нескольких значимых составляющих: знать** (уровень компетентности), **владеть** (умение преподнести материал), **хотеть** (заинтересованность, уровень мотивации), **успевать** (культура труда, менеджмент жизни).

Произошло изменение в видении образования. Раньше образование сводилось к запоминанию материала учебников. В настоящее время образование определяется как достояние личности и средство ее реализации. Смысл – побудить к самостоятельному обучению. Бакалавр должен решать стандартные задачи, а магистр должен решать нестандартные задачи нестандартными методами.

Как учим. На кого рассчитаны наши занятия? Учитываем ли их трудоемкость? Интересны ли мы слушателям? Насколько мы последовательны и методичны? Студенты решают задачи под диктовку преподавателя или могут делать это самостоятельно, пользуясь методическими указаниями? Как мы вовлекаем студентов в овладение практикой, в приобретение компетенций? Торопливость за общественным признанием ведет к недостаточно проработанным пособиям. Мало говорим о проблемах, трудностях и проектах.

В настоящее время концепция опережающего обучения еще только формируется, но уже очевидно, что, в отличие от ранее существовавших подходов, определено иное видение образовательного процесса и необходимости смены образовательной парадигмы. Сущность ее – в отказе от образования, как источника получения готовых знаний, и переходу к непрерывному образованию, как достоянию личности и средству ее самореализации. Состояние региональной высшей школы и устраивает, и не устраивает большинство ее субъектов одновременно. Призывы к «инновационным преобразованиям» озвучиваются большинством, а реальные изменения направлены на косметические правки. Нельзя считать случайным тот очевидный факт, что понятие «инновационности в обучении» стало подменяться понятием «оптимизации существующей образовательной модели».

Для оценки учебно-методической деятельности кафедры предлагается методика, которая включает: базовый потенциал; потенциал развития преподавателей и студентов; достижение целей, обучающихся и обучаемых.

Базовый потенциал включает следующие «критерии и показатели»:

- имидж кафедры;
- IQ преподавателей и студентов;
- квалификационный состав преподавателей;
- наличие практической школы у преподавателей;
- мотивация к эффективной работе, как преподавателей, так и студентов;
- материально-техническое обеспечение учебного процесса;
- обеспеченность читаемых курсов авторскими учебно-методическими пособиями;
- объективный контроль усвоения знаний студентами;
- взаимоотношения преподавателей и студентов.

Вторым компонентом успешного развития и взаимодействия преподавателей выпускающей кафедры и студентов являются:

- наличие стратегии развития у преподавателей и студентов;
- доля иностранных студентов и студентов из других регионов;
- наличие аспирантов и докторантов;
- рост мотивации у преподавателей и студентов;
- наличие базовых кафедры (или филиалов) на производстве, связанных с профилем подготовки специалистов;
- взаимодействие преподавателей с работодателями на основе подготовки востребованных компетенций выпускников;
- инновационность технологий обучения (индивидуальные программы обучаемых);
- изменение требований к профессорско-преподавательскому составу (владение иностранным языком, пакетом прикладных компьютерных программ, опыт практической подготовки);
- ежегодное повышение квалификации преподавателей с итоговой аттестацией по результатам.

Достижение целей развития включает:

- трудоустройство выпускников на рынке интеллектуального труда;
- стабильность набора на данную специальность;
- гранты и стипендии преподавателям и студентам;
- цитируемость работ;
- победы на конкурсах;
- соизмеримость вклада и вознаграждения» [1, С. 38–41].

Проведенный анализ качества образовательных услуг, предоставляемых по одной из профильных кафедр, показал достаточную стабильность аудиторной работы, методического обеспечения учебного процесса и инфраструктурного обеспечения студенческой жизни (табл. 1).

К сожалению, значительная часть обучающихся демотивирована самой социально-экономической средой: равнодушны к учебе, недостаточно времени проводят за учебниками, инертны в процессе обучения, часто пропускают занятия, плохо знакомы с правилами общественного поведения, ориентированы на развлечения, уверены в обоснованности их желания получать хорошие оценки при минимуме усилий, инфантильны. Их трудно увлечь. В рамках традиционных форм подачи учебного материала наглядно проявляются характерные для сегодняшних студентов трудности: неспособность сконцентрироваться, мыслить логически, уметь оперировать абстрактными терминами; отсутствие развитых читательских навыков. Адаптировать подачу материала под такие установки обучающихся способна лишь незначительная часть преподавателей региональных вузов. Не секрет, что значительная часть выпускников экономического и управленческого профиля неспособны составить бизнес – план, рассчитать смету затрат, не могут определить себестоимость продукции, не владеют действующими нормативами, не знают налогообложения, не могут оценить размерности и экономической значимости анализируемых показателей, неспособны предложить стратегию развития и обосновать ее реализацию экономически.

Таблица 1. Качество предоставляемых образовательных услуг

№	Наименование показателей	Ожидание	Восприятие	Коэффициент качества
Качество образовательных услуг				
1	Качество подачи лекций	4,5	4,4	-0,1
2	Качество проведения практических занятий	4,5	4,6	+0,1
3	Практическая значимость учебного материала	4,5	4,5	без/изм.
4	Этика общения	5	5	без/изм.
5	Коммуникабельность преподавателей	4,5	4,5	без/изм.
6	Требовательность преподавателей	4,5	4,0	-0,5
7	Учебно-методическое обеспечение	5,0	4,7	-0,3
8	Обеспеченность компьютерными технологиями	4,0	4,0	без/изм.
9	Обеспеченность библиотечным фондом	4,0	4,0	без/изм.
10	Состояние научной работы	4,5	4,5	без/изм.
11	Обеспеченность местами в общежитиях	4,6	4,6	без/изм.
12	Обеспеченность общественным питанием	4,8	4,9	+0,1
13	Обеспеченность спортивным комплексом	4,8	4,8	без/изм.
14	Увлеченность профессией	4	4,2	+0,2
Результативность обучения				
1	Престижность диплома	4,8	4,8	без/изм.
2	Возможность трудоустройства по специальности	4,8	4,8	без/изм.
3	Успешность/ карьерный рост	4,8	4,8	без/изм.

*Источник: составлено авторами по одной из кафедр.

Выделить в человеке задатки успешной личности, способной генерировать и воплощать в жизнь новые идеи, не просто. Образованный человек – умственно развит, образован серьезно в разных сферах, нравствен, воспитан, способен применять свои знания. Нельзя оценивать обучаемого вне окружения, в котором он живет и работает.

К сожалению, далеко не во всех вузах имеются реально действующие научные школы, направлением реализации потенциала которых может являться качественное и научно обоснованное обеспечение учебного процесса, требующее непрерывного информационного сотрудничества, в том числе и в научной деятельности с другими вузами. Не всегда радует и научная работа студенческого сообщества. Научная работа студентов, зачастую, излишне формализована. Подготовка студентов к научным конференциям сводится к массовости, а не к индивидуальной работе с каждым. В результате чего студенты представляют на научные конференции недостаточно «выношенный» материал (из-за сложившегося пагубного стремления к большому охвату студенчества). Отдельные преподаватели готовят на конференции по 8–10 студентов, а на их подготовку отводится минимум времени. Качество таких сообщений на конференции сомнительно. Текст результатов «исследования», взятый из одного источника, – плагиат; из двух – компилят, из трех – «творчество». Нет исследования, лишь пересказ чужих мыслей. Редкие сообщения студентов на конференциях вызывают искренний интерес у аудитории слушателей, то есть тех, кто действительно способен к научной деятельности. Активное обсуждение докладов и дискуссии стали редкостью.

В настоящее время большое внимание, при оценке научной деятельности профессорско-преподавательского состава и составлении рейтинга, уделяется публикациям в журналах, но это лишь формальное квалиметрическое требование. Основным недостатком данного показателя является то, что он существенно коммерциализирован. Высокая стоимость размещения статей в журналах для преподавателей слишком накладна. А стремление преподавателей в погоне за большим числом публикаций приводит к их сомнительной ценности. В большинстве публикаций отсутствует исследование.

И это состояние формируется еще на ранней стадии обучения. Предлагаемая тематика курсовых работ не выношена, частенько многие из них не соответствуют предлагаемому курсу. Нередко темы дублируются в разных курсах. Реальных методических указаний по их выполнению, приемлемых для студентов, нет. Зачастую это реферат, а не курсовая работа. Цифровой материал частенько недостоверен. Предложения – экономически не обоснованы. Все это не озвучивается и не способствует реальной научной деятельности будущих магистрантов, соискателей научной степени и аспирантов в перспективе их дальнейшего формирования, как ученых.

Профессия преподавателя не ассоциируется с образом высокого благосостояния. Поэтому и не рвется молодежь к научной деятельности. Далеко не все преподаватели испытывают интерес к научной деятельности. Велика доля тех, кто не способен заниматься наукой. Снижается доля тех, кто обладает аналитическими способностями. Нет реальной статистической и аналитической информации. Отсутствуют накопленные связи с источниками информации. Нет доступа к лицам бизнес-среды, то есть тех, кто владеет информацией. Нет реального доступа к общению с лицами высокой квалификации, владеющими высокой информированностью и предлагающими свое видение. В этих условиях необходим новый подход к оценке деятельности кафедр.

Авторами проанализирован опыт подготовки кадров на кафедрах, где они работают. Основным источником отбора будущих выпускников, стремящихся к научной деятельности, являются студенты, обучающиеся на профильной кафедре (табл. 2).

Таблица 2. Характеристика подготовки специалистов

Показатели Периоды	Подготовлено			
	Студентов	Дипломников	к.э.н.	д.э.н.
1971–1981	1430	480	2	-
1982–1992	1380	378	7	-
1993–2003	1270	242	32	5
2004–2014	1140	211	54	9
2015–2025	794	156	10	2
Итого	6014	1467	105	16

*Источник: составлено на основе архивных данных.

Только за период 2015–2025 гг. подготовлено 10 кандидатов наук, а два воспитанника научной школы успешно защитили докторские диссертации.

Творческий энтузиазм аспиранта, кандидата наук, докторанта важно сохранить и после получения ученой степени или научного звания, а это требует критичности к полученным результатам, длительного напряженного труда, мотивации, энтузиазма и полной отдачи для достижения поставленной цели. Как говорил один из ректоров, говоря об особенностях авторской школы: «У вас государство в государстве».

Представители научно-методической школы открывают новые направления подготовки кадров, сами готовят кандидатов наук, руководят работой специализированных советов по защите кандидатских и докторских диссертаций, участвуют в рецензировании и оппонировании представленных диссертаций, принимают участие в работе ученых советов вузов, выигрывают гранты на научные разработки, по результатам которых получают патенты, активно публикуют монографии. Студенты достойно выступают на региональных и международных научных конференциях, занимая престижные места.

Оценка результатов НИР требует существенных преобразований, в том числе особенно по критериям, используемых в эффективных контрактах. Для оценки результатов научно-исследовательской деятельности авторы предлагают воспользоваться методикой, включающей три блока: базовый потенциал кафедры, процесс развития и достижение поставленных целей.

Базовый потенциал включает следующие критерии и показатели: квалификационный состав преподавателей (в том числе занимающихся научными разработками); численность молодых ученых; наличие аспирантов и докторантов; наличие стратегии и направления развития; наличие научно-методической школы.

Критерии развития научно-исследовательской деятельности: инновационность разработок; объем госбюджетного и внебюджетного финансирования НИР; участие в грантовых программах; взаимодействие исследователей с заказчиками на основе подготовки востребованных разработок; соразмерность вклада и вознаграждения.

Результаты научно-исследовательской работы: подготовлено кандидатов и докторов наук (в т.ч. подготовленных под руководством воспитанников школы); издано монографий, учебных пособий за последние 5 лет; проведено научно-практических конференций за последние 5 лет; размещено публикаций в ядре РИНЦ; цитируемость публикаций участников школы; индекс Хирша; эффективность разработок; признание научных и внедренческих достижений (4, С. 163–166).

Мы заслуженно гордимся своими воспитанниками. Из общего количества выпускников 26,6 % работают непосредственно по полученной специальности, 18,7 % работают в смежных отраслях, 23,1 % выпускников открыли собственный бизнес, работают в госструктурах 5,6 %, стали администраторами 5,9 %, преподают в вузах 7,2 %, работают за рубежом в дружественных и недружественных странах 6,1 % (табл. 3). Воспитанники научной школы работают не только в России, но и в других странах: в Казахстане, Белоруссии, Украине, ФРГ, США, Канаде, Великобритании, Португалии, Австралии, Франции, Дании.

Таблица 3. Распределение воспитанников научной школы

Сферы деятельности	Доля, %
Политическая или общественная деятельность	1,2
Госслужба или административная работа	11,5
Ученые, консультанты	1,3
Преподаватели	7,2
Предприниматели	23,1
Специалисты	19,4
Обрели счастье в семье	0,8
Работают за границей	6,1
Изменили профиль деятельности	12,0
Пенсионеры	15,3
Ушли из жизни	2,1
Итого	100

* по итогам последних 20 лет.

Ниже приведен возможный подход к оценке реализуемости имеющегося потенциала кафедры (табл. 4).

Таблица 4. Реализуемость потенциала кафедры

Наименование показателей	Коэффициент весомости	2011-2015		2016-2020		2021-2025	
Базовый блок							
Трудовой потенциал	0,15	0,66	0,10	0,67	0,10	0,76	0,11
Интеллектуальный капитал	0,45	0,62	0,28	0,68	0,31	0,72	0,32
Материальный потенциал	0,15	0,30	0,04	0,34	0,05	0,38	0,06
Финансовый потенциал	0,25	0,32	0,08	0,37	0,09	0,44	0,11
Итого		х	0,50	х	0,55	х	0,60
Блок развития							
Мотивация персонала	0,30	0,55	0,16	0,62	0,19	0,62	0,19
Организационная культура	0,25	0,45	0,11	0,53	0,13	0,55	0,14
Управленческая культура	0,10	0,65	0,06	0,62	0,06	0,65	0,07
Инновационность технологии обучения	0,20	0,38	0,08	0,53	0,11	0,53	0,11
Привлеченные инвестиции	0,15	0,12	0,02	0,12	0,02	0,13	0,20
Итого	1	х	0,43	х	0,51	х	0,71
Блок достижения целей развития							
Публицистическая активность и цитируемость	0,20	0,45	0,09	0,50	0,10	0,55	0,11
Соответствие стандартам	0,20	0,72	0,14	0,80	0,16	0,94	0,19
Доля востребованных выпускников	0,30	0,73	0,22	0,78	0,23	0,85	0,25
НИР (гранты, ХД)	0,30	0,37	0,11	0,40	0,12	0,48	0,14
Итого	1	х	0,58	х	0,61	х	0,69

* результаты исследований авторов.

Одним из результативных показателей, позволяющих обоснованно характеризовать степень реализации частных интересов сотрудников кафедры и студентов (в рамках рабочей среды) и сопоставив их с итогами профессиональной самореализации выпускников кафедры, можно оценить удовлетворенность качеством жизни (табл. 5). На эффективность труда преподавателей значительное влияние оказывает качество жизни, которое целесообразно рассматривать через анализ ценностных ориентиров, шкалу индивидуальных потребностей, волевых качеств. Следствием качества жизни является уровень

счастья, личного душевного состояния человека, которое определяется внутренней удовлетворенностью, условиями своего бытия и полнотой, осмысленностью жизни, степенью осуществления своего человеческого назначения.

Таблица 5. Удовлетворенность качеством жизни преподавателей и выпускников кафедры

Наименование показателей	Коэффициент	
	Преподаватели	Выпускники
Кругом общения	0,82	0,86
Образованием	0,72	0,60
Положением в обществе	0,66	0,65
Жизнью	0,75	0,72
Питанием	0,72	0,64
Жильем	0,70	0,65
Наличием досуга	0,59	0,62
Здоровьем	0,67	0,76
Работой	0,73	0,65
Окружающей средой	0,59	0,60
Материальным положением	0,65	0,55
Качеством жизни	0,69	0,66

Примечание. Исследование автора на основе анкетирования 47 респондентов.

Оценив предшествующий опыт и современное состояние кафедры, можно формулировать ближайшие и отдаленные цели дальнейшего развития кафедры, наметить стратегию и сценарии возможных действий. Базовой стратегией для упрочнения доминирующих ценностей является стратегия, направленная на сохранение культурного единства кафедры. Данная стратегия определяет, как ценности передаются от предшественников. Стратегия успешно реализуется, если коллектив получает возможность закрепить свои позиции, сохранить систему ценностей, реализовать поставленные цели. В зависимости от оценки благоприятности для предлагаемой стратегии выделяют типы сценариев: эволюционного развития; сохранения достигнутого (за счет чего это возможно) и экстремального развития.

Разработка конкретных сценариев, в условиях неопределенности, позволяет проводить мониторинг индикаторов изменений, которые способствуют запуску соответствующих методов их реализации. Разработка сценариев включает последовательность действий: формулирование центральной проблемы или решения; выявление ключевых факторов реализации стратегии; определение движущих сил, ранжирование факторов по степени их значимости и неопределенности; выбор логики действий, возможных сопротивлений и рисков, разработку основных индикаторов и контрольных точек.

Критерии выбора методов преобразования могут быть разнообразными: адаптивными (при медленном и неупорядоченном реформировании), кризисными (при дефиците времени и риске неудачи), принудительными (при сильном сопротивлении), регулируемые (при сложном планировании и реализации).

Управление будущим предусматривает: концепцию интеллектуального самообучающегося коллектива кафедры, прогнозирование и проектирование будущего, систематический анализ ситуации и реальную оценку потенциальных возможностей, рисков и наличных ресурсов, сочетание стратегии, тактики и оперативного управления, формирование деловой активности, управление временем, совершенствование менеджмента жизни.

В максимально упрощенном понимании, имидж кафедры заключается в целенаправленно формируемом образе, с целью адресного воздействия на определенный круг стейкхолдеров для достижения конкретного результата. Основными составляющими имиджа являются: стратегическое видение (положение кафедры на данный момент); ценностные ориентации (наиболее важные предположения, формируемые лидером). Формирование имиджа успешной кафедры возможно за счет применения различных подходов и использования вариативного инструментария, однако в последнее время все большую актуальность приобретает маркетинговый подход в рамках ведения сайта и интернет – страницы кафедры, на которых представлена вся необходимая информация (как для абитуриентов и их родителей, так и для работодателей).

Заключение

Валидная оценка деятельности кафедры возможна на основе применения различных методических подходов, однако абсолютное большинство из рассмотренных в исследовании и применяемых в настоящее время, не ориентированы на получение комплексной и объективной оценки. Кафедры вузов, находясь в состоянии системообразующего, но, к сожалению, не доминирующего организационного элемента институтов и университетов, де-факто реализуют «установленную» для них модель деятель-

ности. Если администрация высшего учебного заведения заинтересована в обладании реальной информацией о состоянии дел, то необходима комплексная оценка деятельности кафедры не по неинформативным показателям, а по комплексной методике, позволяющей получить действительную оценку потенциала кафедры и направления его приложения.

Наиболее значимы, на наш взгляд, не фиксируемые на данный момент показатели структурных составляющих потенциала кафедры, а структурно-динамические тенденции, так как именно они способны охарактеризовать перспективные тренды. Обладая этой информацией и соотнеся ее со стратегией развития конкретного вуза становится возможным принимать обоснованное управленческое решение. Трансформация образовательной среды, не учитывающая геоэкономические и геополитические изменения в бизнес-среде, где и реализуются выпускники вузов, способна и будет оказывать существенное воздействие на образовательный процесс, однако заинтересованные в нейтрализации угроз и рисков деятельности вузов при реализации комплексной и объективной оценки деятельности кафедр, будут обладать действенным инструментом противодействия им.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зиновьев, Ф. В. Развитие кадрового потенциала монография / Ф. В. Зиновьев, В. А. Дудко. – Симферополь: Феникс, 2022. – 160 с.
2. Зиновьев, Ф. В. Управление деятельностью кафедры: монография /издание второе, переработанное и дополненное / Ф. В. Зиновьев. – Симферополь: ИП Бровка А. А., 2023. – 192 с.
3. Развитие экономики труда в цифровую эпоху: методы и технологии / Н. А. Симченко, Ф. В. Зиновьев, И. Ф. Зиновьев, А. К. Ганиева [и др.]. – Симферополь: ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», 2022. – 259 с.
4. Зиновьев, Ф. В. Научная школа: становление и развитие (издание второе, переработанное и дополненное) / Ф. В. Зиновьев. – Симферополь. ИП Бровка А. А. – 2023. – 192 с.
5. Квасников, В. Сколько российских студентов совмещают учебу с работой // Материалы исследования HR-портала Career.ru, 20 ноября 2019. [Электронная версия]. URL: <https://www.the-village.ru/business/news/170267-students-work>.
6. Клейнер, Г. Б. Системное управление в трансформирующейся экономике / Г. Б. Клейнер // Научно-практический журнал «Эффективное антикризисное управление», М.: Реальная экономика, № 5 (86) – 2014 – С. 54–58.
7. Ярошевич, О. В. От имиджа преподавателей к имиджу кафедры / О. В. Ярошевич // Проблемы качества подготовки студентов в техническом вузе: традиции и инновации. – 2015. – Т. 1. – С. 410–424.

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 сельскохозяйственно-го 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 спис-**

ка 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 редколлгией.

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.

Подавая статью в редакцию журнала, автор подтверждает, что редакции передается беспсрочное 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 биологического 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, заведующий кафедрой 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.by

© **Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 2025**

Подписано в печать 16.12.2025 Дата выхода 19.12.2025 Формат 60/84^{1/8}

Усл. печ. л. 18,83 Уч.-изд. л. 15,48 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