



НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ  
Республиканское унитарное предприятие  
«Научно-практический центр  
Национальной академии наук Беларуси  
по механизации сельского хозяйства»

# **НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОГРЕСС В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ**

**МАТЕРИАЛЫ МЕЖДУНАРОДНОЙ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**  
(Минск, 16–17 октября 2025 г.)

Минск  
«Беларуская навука»  
2025

УДК [631.171+633/635+636]:631.152.2(082)

ББК 40.7я43

Н34

Редакционная коллегия:

д-р техн. наук, проф., чл.-кор. НАН Беларуси П. П. Казакевич (председатель),

канд. техн. наук, доц. Д. И. Комлач (зам. председателя),

д-р техн. наук, доц., академик-секретарь Отделения аграрных наук НАН Беларуси В. В. Азаренко,

канд. техн. наук, доц. Н. Г. Бакач, д-р техн. наук, проф. В. И. Передня,

канд. техн. наук, доц. А. Н. Перепечаев, д-р техн. наук, проф. Л. Я. Степук, А. Л. Маслякова

Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве : материалы междунар. науч.-техн. конф. (Минск, 16–17 октября 2025 г.) / редкол.: П. П. Казакевич [и др.]. – Минск : Беларуская навука, 2025. – 144 с.

В сборнике представлены материалы научных исследований, результаты опытно-конструкторских и технологических работ по разработке инновационных технологий и технических средств для их реализации при производстве продукции растениеводства и животноводства. Рассмотрены вопросы технического сервиса машин и оборудования, электрификации и автоматизации, использования топливно-энергетических ресурсов, разработки и применения энергосберегающих технологий, информационно-управляющих систем.

Материалы могут быть использованы сотрудниками НИИ, КБ, специалистами хозяйств, студентами вузов и колледжей аграрного профиля.

УДК [631.171+633/635+636]:631.152.2(082)

ББК 40.7я43

© РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», 2025

© Оформление. РУП «Издательский дом «Беларуская навука», 2025

УДК 637.1.02

Поступила в редакцию 12.08.2025

Received 12.08.2025

**Д. И. Комлач, Е. Л. Жилич, А. Н. Перепечаев**

*RУП «НПЦ НАН Беларусь по механизации сельского хозяйства»  
г. Минск, Республика Беларусь  
E-mail: pan-s1@yandex.ru*

## **ИНОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ И ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В МЕХАНИЗАЦИИ ЖИВОТНОВОДСТВА**

*Аннотация.* В статье представлен анализ развития систем для автоматизации управления стадом, оборудования, позволяющего повысить качество содержания скота и проводить автоматизацию кормления и учета поголовья, а также приводятся разработки РУП «НПЦ НАН Беларусь по механизации сельского хозяйства» в данной отрасли.

*Ключевые слова:* агропромышленный сектор, животноводство, учет стада, кормление, микроклимат, содержание, определение болезней, учет прироста массы коровы.

**D. I. Komlach, E. L. Zhilich, A. N. Perepechaev**

*RUE “SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization”  
Minsk, Republic of Belarus  
E-mail: pan-s1@yandex.ru*

## **INNOVATIVE APPROACHES AND APPLICATION OF DIGITAL TECHNOLOGIES IN ANIMAL HUSBANDRY MECHANIZATION**

*Abstract.* The article provides an analysis of the development of systems for automating herd management, equipment that allows improving the quality of livestock maintenance and automating feeding and livestock accounting, as well as the developments of RUE “NPC NAS of Belarus on agricultural mechanization” in this industry.

*Keywords:* agro-industrial sector, animal husbandry, herd accounting, feeding, microclimate, maintenance, disease detection, accounting for cow weight gain.

### **Введение**

В настоящее время агропромышленный сектор переживает стремительные изменения под воздействием цифровых технологий. Животноводство, как одна из ключевых отраслей сельского хозяйства, активно интегрирует современные решения для повышения эффективности, качества продукции и устойчивости производства [1]. Внедрение автоматизированных систем, датчиков и аналитических платформ меняет подход к управлению животноводческими предприятиями, позволяя оперативно получать и анализировать данные, оптимизировать процессы и своевременно реагировать на возникающие проблемы [2]. Цифровизация становится не просто инструментом повышения производительности, но и важным конкурентным преимуществом, открывающим новые горизонты развития отрасли.

### **Основная часть**

На современном этапе цифровизация животноводческой фермы реализуется через комплексное внедрение автоматизированных и интеллектуальных технологий, охватывающих все ключевые процессы производства. В первую очередь устанавливаются биосенсоры и датчики, которые

круглосуточно контролируют физиологические показатели животных: подвижность животных, надои молока с каждой коровы, состояние здоровья [3]. Эти данные в реальном времени поступают в централизованную систему, где анализируются с помощью специализированного программного обеспечения, что позволяет быстро выявлять отклонения от нормы и предотвращать развитие заболеваний на ранних стадиях, определять вхождение коров в стадию охоты и др.

Системы управления микроклиматом автоматически поддерживают оптимальные условия содержания: регулируют температуру, влажность, вентиляцию и освещение в помещениях, а умные системы очистки и дезинфекции обеспечивают высокий уровень санитарии [4].

Существенно повышают производительность и качество продукции роботизированные установки – автоматические доильные системы, кормораздатчики и поилки, которые обеспечивают индивидуальный подход к каждому животному и минимизируют влияние человеческого фактора.

Такой подход к цифровизации позволяет животноводческой ферме не только повысить производительность и качество продукции, но и значительно снизить затраты, минимизировать риски и обеспечить устойчивое развитие всего хозяйства.

#### **Разработки РУП «НПЦ НАН Беларусь по механизации сельского хозяйства»**

В рамках выполнения задания «Разработать программно-аппаратный комплекс системы идентификации и контроля физиологического состояния животных» в РУП «НПЦ НАН Беларусь по механизации сельского хозяйства» разработан программно-аппаратный комплекс системы идентификации и контроля физиологического состояния животных (рисунок 1), предназначенный для обеспечения централизованного компьютерного учета и систематизации параметров, контроля над физиологическими показателями каждого животного в стаде, группировки их по различным показателям, отслеживания динамики влияния факторов и мероприятий.

Данный программно-аппаратный комплекс позволяет производить мониторинг и управление дойкой в реальном времени; осуществлять селекционную работу со стадом; определять животных в охоте; определять качество молока через параметр электропроводности; оперативно производить выработку системных сообщений и тревог; формировать отчеты и графики по удоям, ветеринарии, событиям лактации и пр.

Система содержит состав сведений первичного зоотехнического учета по каждому животному (идентификационный номер, код породы, дата рождения, дата последнего осеменения, номер осеменения и номер быка, дата проверки на стельность и результат проверки, дата и результат отела, инвентарный номер приплода, номер текущей лактации, коды текущих болезней, распределение коров по зоотехническим группам, определение предмаститного состояния); состав сведений о контрольных доениях каждой коровы (идентификационный номер, дата доения, суточный удой, длительность доения); коды пород, болезней и рекомендации.



Рисунок 1 – Система идентификации и контроля физиологического состояния животных

В рамках выполнения задания «Разработка типоразмерного ряда комплекта оборудования с системой формирования и поддержания микроклимата на молочно-товарных фермах и комплексах» в РУП «НПЦ НАН Беларусь по механизации сельского хозяйства» был разработан необходимый комплект оборудования.

Целью проекта являлась разработка типоразмерного ряда комплекта оборудования с системой формирования и поддержания микроклимата для обеспечения оптимальных параметров температурно-влажностного режима в помещениях для содержания КРС на молочно-товарных фермах и комплексах. Новизна разработки заключается в создании отечественного типоразмерного ряда комплекта оборудования с интеллектуальной системой формирования и поддержания микроклимата (рисунок 2) с учетом метеорологических прогнозов, с возможностью интеграции в систему «Умная ферма», ключевым элементом которой является разработанный программно-аппаратный комплекс системы идентификации и контроля физиологического состояния животных (ИКФС). Применение данного комплекта оборудования позволит обеспечить требуемые параметры воздухообмена на молочно-товарных фермах и комплексах.

Использование современных средств и элементов автоматики и микропроцессорной техники позволит обеспечивать интеллектуальное формирование микроклимата на молочно-товарных фермах и комплексах при минимальных энергетических затратах, а также позволит при одинаковом уровне кормления увеличить прирост живой массы КРС на 10–15 %, надои молока – на 10–12 %.



Рисунок 2 – Комплект оборудования с интеллектуальной системой формирования и поддержания микроклимата

В рамках выполнения задания НИР «Разработка метода и устройства биометрической идентификации пред маститного состояния вымени дойного стада КРС» разработано устройство биометрической идентификации пред маститного состояния вымени дойного стада КРС (рисунок 3), которое предназначено для получения потока изображений вымени и дистанционного измерения температуры в его долях для своевременной диагностики заболеваний молочной железы.

Использование данного устройства позволяет уточнить локализацию патологических изменений; определить интенсивность патологического процесса; определить распространенность и характер изменения температур; отслеживать динамику состояния молочной железы. Обработка графических данных выполняется с использованием самостоятельно разработанного программного обеспечения Cows Recognizer.

В рамках выполнения задания НИР «Обоснование метода и параметров устройства для дистанционного определения промеров тела и живой массы сельскохозяйственных животных»

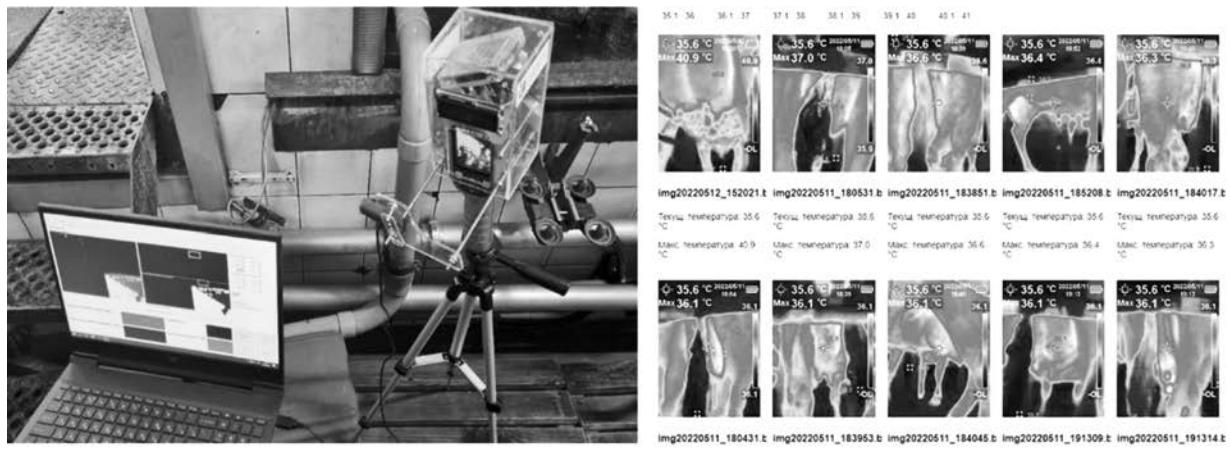


Рисунок 3 – Устройство биометрической идентификации предмаммитного состояния вымени дойного стада КРС:  
а – экспериментальная установка; б – анализ данных

в РУП «НПЦ НАН Беларусь по механизации сельского хозяйства» была разработана такая система определения промеров тела и живой массы животных.

Цель данной работы – снижение трудоемкости при перевеске сельскохозяйственных животных за счет применения программно-аппаратного комплекса для бесконтактного дистанционного определения промеров тела и живой массы сельскохозяйственных животных. Аппаратная реализация системы представлена на рисунке 4.

Принцип работы системы определения промеров тела и живой массы условно можно разделить на три функциональных блока.

Блок 1 (идентификация и первичная обработка оптических данных):

- идентификация животного осуществляется через ИК-канал между транспондером и ИК-ридером;
- использование системы компьютерного зрения – предусмотрено снятие данных, расчет и вывод массива точек в виде многомерного массива  $I \times J \times K$ , где  $I$  и  $J$  – разрешение камеры,  $K$  – координаты  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ;
- вывод и обработка цифровых данных;
- определение области интереса (линейные размеры) и оценка ВСС в соответствии с классами (1–5), определение оценки.

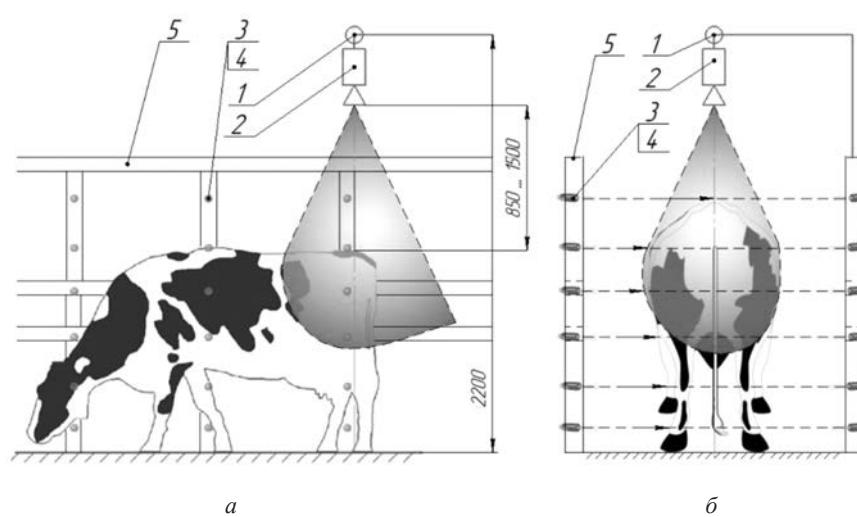


Рисунок 4 – Принципиальная схема устройства для дистанционного определения промеров тела и живой массы:  
а – вид сбоку; б – вид сзади; 1 – поворотный кронштейн; 2 – 3D-камера; 3 – ультразвуковой датчик расстояния;  
4 – фиксатор; 5 – рама

## Блок 2 (линейный):

Использование комплектов ультразвуковых датчиков расстояния для построения дополнительных точек и определения заданного количества линейных размеров.

## Блок 3 (вычислительный):

- применение алгоритма нормализации угла;
- вывод и объединение данных;
- использование созданных таблиц по определению живой массы по линейным параметрам туловища;
- использование коэффициента корреляции  $r$  между баллом упитанности, живой массой, длиной, шириной и высотой измеряемых объектов;
- объединение данных с целью сокращения погрешности определения живой массы;
- вывод информации.

Ведется также работа в рамках выполнения задания «Разработать программно-аппаратный комплекс и исполнительные механизмы роботизированной системы доения». Цель проекта – разработка отечественного программно-аппаратного комплекса с учетом зоотехнических и технологических требований к вымени коров и исполнительных механизмов роботизированной системы доения.

Разработка направлена на создание отечественного робота для доения.

На первоначальном этапе осуществляется разработка программно-аппаратного комплекса и исполнительных механизмов роботизированной системы доения (рисунок 5) – системы позиционирования роботизированных исполнительных органов, что является центральным звеном роботизированных доильных установок.

На каждом из последующих этапов система позиционирования роботизированных исполнительных органов будет дооснащаться многопараметрической системой контроля качества молока, что позволит оперативно реагировать на изменения в случае их возникновения и распознавать на ранней стадии ацидоз и кетоз.

Еще более высокий уровень комплектации позволит обеспечить применение роботизированных доильных установок в комплексе с автоматизированными системами управления (АСУ), позволяющими оптимизировать процесс доения, контролировать качество молока, а также нормировать количество выданных концентрированных кормов.



Рисунок 5 – Разработка программно-аппаратного комплекса и исполнительных механизмов роботизированной системы доения

Ведется работа и в рамках выполнения задания НИР «Исследование процесса приготовления и раздачи полнорационных кормосмесей для разработки интеллектуальных систем дозированной их выдачи при кормлении животных». Общий вид макетного образца устройства для исследования процесса приготовления и раздачи полнорационных кормосмесей для разработки интеллектуальных систем дозированной их выдачи при кормлении животных представлен на рисунке 6.

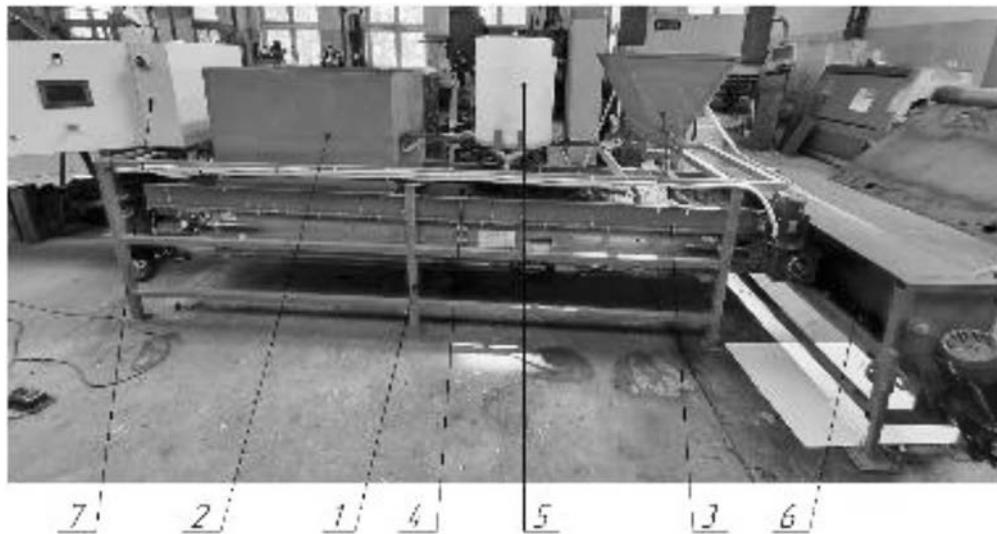


Рисунок 6 – Макетный образец устройства для приготовления и раздачи полнорационных кормосмесей:  
1 – рама подающего транспортера; 2 – бункер силоса; 3 – бункер комбикорма; 4 – подающий транспортер;  
5 – бункер для жидких компонентов; 6 – шнек выгрузной; 7 – шкаф управления

Разработаны технические требования на конструкцию устройства, обеспечивающего автоматизированную (интеллектуальную) раздачу высокоэнергетических сухих и жидких кормов животным по половозрастным группам.

Готовится к выполнению проект задания «Разработать и освоить производство роботизированного подталкивателя кормов для обслуживания кормового стола КРС». Целью проекта является разработка роботизированного подталкивателя кормов для обслуживания кормового стола КРС, обеспечивающего регулярное интервальное подталкивание корма с кормового прохода на кормовой стол с одновременным рыхлением кормов и вводом обогатительных добавок, с целью исключения их вторичной ферментации, повышения поедаемости, при одновременном снижении трудовых затрат и себестоимости единицы продукции животноводства (рисунок 7).



Рисунок 7 – Роботизированный пододвигатель кормов BUTLER GOLD

## **Заключение**

Цифровизация животноводства становится ключевым фактором развития современной аграрной отрасли. Внедрение автоматизированных систем мониторинга, устройств идентификации и интеллектуального анализа данных позволяет не только повысить точность и эффективность управления поголовьем, но и существенно улучшить здоровье животных, качество продукции и экономические показатели фермы. Использование современных технологий снижает трудозатраты, минимизирует влияние человеческого фактора, обеспечивает раннее выявление заболеваний и оперативное реагирование на любые изменения в состоянии животных. Все это способствует не только повышению производительности и рентабельности хозяйства, но и созданию более устойчивой, экологичной и социально ответственной модели животноводства, отвечающей требованиям сегодняшнего дня и вызовам будущего.

## **Список использованных источников**

1. Цифровое животноводство в России: перспективы и возможности внедрения : офиц. сайт ООО «Матрица». – Белгород, 2003–2025. – URL: <https://www.matrix24.ru/blog/tsifrovoe-zhivotnovodstvo-v-rossii-perspektivy-i-vozmozhnosti-vnedreniya.html> (дата обращения: 08.08.2025).
2. Автоматизация производства КРС – современные системы автоматизации в животноводстве, решения для производства КРС. – М., 2010–2025. – URL: <https://www.lsolution.ru/events/articles/avtomatizatsiya-proizvodstva-krsovremenneye-sistemy-avtomatizatsii-v-zhivotnovodstve> (дата обращения: 11.08.2025).
3. Цифровизация в животноводстве – новые тенденции современного мира. – URL: <https://milklife.ru/publication/9566.html> (дата обращения: 05.08.2025).
4. Преимущества цифровизации в животноводстве: опыт хозяйства ООО Березовское. – URL: <https://agrosignal.com/case/preimushchestva-tsifrovizatsii-v-zhivotnovodstve-ot-ekonomii-vremeni-do-povysheniya-rentabelnosti-op/> (дата обращения: 11.08.2025).

**Н. Г. Бакач<sup>1</sup>, С. К. Карпович<sup>2</sup>, А. В. Крупеня<sup>2</sup>, А. С. Сайганов<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>РУП «НПЦ НАН Беларусь по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: bakachng@yandex.by

<sup>2</sup>Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: stas\_karpovich@mail.ru

<sup>3</sup>РНУП «Институт системных исследований в АПК НАН Беларусь»

г. Минск, Республика Беларусь

## НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ НОРМАТИВНОЙ ПОТРЕБНОСТИ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКЕ ДЛЯ РАСТЕНИЕВОДСТВА

**Аннотация.** В статье приводятся основные факторы и особенности, влияющие на техническую оснащенность сельскохозяйственных предприятий при возделывании растениеводческой продукции. Представлены рекомендации и пути к расчету нормативной потребности хозяйств в сельскохозяйственной технике, исходя из специфики предприятия, площади земель, применяемых технологий и др. Также представлены результаты по усредненной потребности хозяйств республики в технике с учетом влияющих факторов и особенностей производства сельскохозяйственной продукции. При этом типы техники в потребности приведены к единому коэффициенту на 1 000 га в физическом измерении.

**Ключевые слова:** производство сельскохозяйственной продукции, потребность в технике, машины, производительность, смена, расчет.

**N. G. Bakach<sup>1</sup>, S. K. Karpovich<sup>2</sup>, A. V. Krupenia<sup>2</sup>, A. S. Saiganov<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>RUE “SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization”

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: bakachng@yandex.by

<sup>2</sup>Ministry of Agriculture and Food of the Republic of Belarus

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: stas\_karpovich@mail.ru

<sup>3</sup>RSUE “Institute of System Research in Agro-Industrial Complex of the NAS of Belarus”

Minsk, Republic of Belarus

## NEW APPROACHES TO DETERMINING THE REGULATORY REQUIREMENTS FOR AGRICULTURAL MACHINERY FOR CROP PRODUCTION

**Abstract.** The article presents the main factors and features affecting the technical equipment of agricultural enterprises in the cultivation of crop products. Recommendations and ways to calculate the regulatory requirements of farms for agricultural machinery based on the specifics of the enterprise, land area, technologies used, etc. are presented. The results on the average demand of the republic's farms for machinery are also presented, taking into account the influencing factors and characteristics of agricultural production. At the same time, the types of equipment in need are reduced to a single coefficient per 1,000 hectares in physical terms.

**Keywords:** agricultural production, the need for machinery, machinery, productivity, shift, calculation.

### Введение

Производство сельскохозяйственной продукции представляет собой достаточно сложный технологический процесс, состоящий из комплекса различных работ и операций, качество и оперативность выполнения которых обеспечивается оптимальным подбором средств механизации и эффективным их использованием.

В большинстве случаев для обозначения общего объема выполненных тракторами работ и определения удельных показателей, характеризующих уровень организации использования тракторного парка и удельную энергоемкость выполненных работ, используются условные еди-

ницы измерения, позволяющие примерно вести такой учет. В качестве таких единиц в 1972 г. были предложены условный эталонный гектар (усл. эт. га) для учета объема тракторных работ и условный эталонный трактор (усл. эт. тр.) для учета состава тракторного парка [1]. Условным эталонным трактором считается гусеничный трактор ДТ-75 (за рубежом – колесный трактор John Deere 6400), который всапает 1 физический гектар, соответствующий эталонным условиям, за 1 час работы. Указанные условные единицы были приняты для средней полосы СССР при рабочей скорости на пахоте всего 5 км/ч и для трактора ДТ-75, который в сельхозпроизводстве республики практически не используется [1]. Кроме того, в настоящее время рабочая скорость пахотных агрегатов достигает 12 км/ч [2], поэтому условный эталонный гектар и условный эталонный трактор в том понимании и тех реалиях, которые были в 1972 г., потеряли актуальность [1].

Тем не менее в литературных источниках предлагаются различные понятия условного трактора. Так, одни авторы предлагают в качестве условного трактора принять трактор «Беларус 1221» [1], другие – «Беларус 3522» [3]. Российские ученые в качестве эталонных машин предлагают принять условные марки тракторов: до 2030 г. принять условный гусеничный трактор условной марки ТЭ-120, имеющий эксплуатационную мощность 88,2 кВт, ширину захвата пахотного агрегата – 2,24 м, коэффициент использования времени смены – 0,79, производительность в час сменного времени – 1,15 га. А после 2030 г. предлагают принять гусеничный трактор с условной маркой ТЭ-150 с эксплуатационной мощностью 110,3 кВт, шириной захвата пахотного агрегата – 2,59 м, коэффициентом использования времени смены – 0,75 и производительностью в час сменного времени – 1,5 га [4].

В теоретическом плане данные предложения могут иметь смысл, но на текущий момент на практике это трудноосуществимая задача. Ведь для расчета всего парка сельскохозяйственной техники предприятия необходимо учитывать не только виды выполняемых технологических процессов, но и основные особенности производства сельскохозяйственной продукции, а именно:

- сезонный характер работ (сезонность – неравномерная и непостоянная занятость на выполнении механизированных работ в течение календарного года);
- повышение требований к оперативности выполнения этих работ (кратковременная занятость многих рабочих машин и разновременная занятость машин в течение сезона);
- большое количество различных видов технологических процессов и операций (отдельные работы требуют наличия специальной техники, которая будет использована только один раз, как, например, сажалка);
- удаленность от мест базирования сельскохозяйственной техники (приводит к увеличению затрат времени на холостые пробеги с невысокими транспортными скоростями);
- изменчивость состава взаимосвязанных и взаимодействующих машин в течение рабочего периода и конкретного дня (например, необходимо срочно перейти с заготовки сена на заготовку силоса);
- взаимозаменяемость и взаимодополняемость разнородных машин при выполнении конкретных работ (наличие отдельных типов и марок тракторов или рабочих машин, если одних тракторов недостаточно, а другие имеются в избытке);
- неудобства, создаваемые в зависимости от контурности полей и наличия на них различных препятствий (оврагов, столбов ЛЭП, деревьев и т. п.);
- погодные условия (работа на открытом, не защищенном от погодных условий пространстве требует наличия в машине хорошо оборудованного рабочего места) и др.

Отмеченные особенности достаточно полно должны быть учтены при определении технологии и средств механизации для производства сельскохозяйственной продукции. Поэтому необходимо найти такие подходы определения потребности в технике, чтобы они учитывали все факторы, влияющие на своевременное и качественное выполнение технологических процессов при производстве сельскохозяйственной продукции.

## Основная часть

Нормативная потребность в сельскохозяйственной технике – это научно обоснованное количество машин, их типов и оборудования, необходимых для выполнения всего комплекса сельскохозяйственных работ в конкретном хозяйстве или регионе с учетом производственной дея-

тельности, климатических условий, системы земледелия и других факторов. Она является основой для планирования закупок, обновления парка техники, а также для оценки эффективности использования сельскохозяйственной техники.

При определении нормативной потребности необходимо учитывать:

- объемы производства (площади посевов, поголовье скота, урожайность и другие показатели, определяющие объемы работ);
- технологии производства (виды применяемых технологий, особенности обработки почвы, посева, уборки урожая и т. д.);
- режим работы (продолжительность рабочего дня, сезонность выполнения работ, сроки проведения полевых работ);
- климатические условия (особенности климата, влияющие на сроки выполнения работ и выбор техники);
- типы и характеристики техники (необходимые типы машин, их производительность, мощность и другие характеристики);
- нормы выработки (установленные нормы выработки для каждой единицы техники).

Определение потребности сельскохозяйственного предприятия в средствах механизации включает в себя несколько этапов.

1. Необходимо оценить оснащенность хозяйства средствами механизации (она характеризуется численностью имеющихся тракторов и сельскохозяйственных машин в физических единицах).

2. Требуется оценить степень загрузки имеющихся в хозяйстве средств механизации с учетом характера их использования: количество земельной площади, приходящейся на одно техническое средство.

3. Надо оценить качественный состав машинно-тракторного парка с учетом:

- своевременного и качественного выполнения требуемых работ;
- соответствия биологическим и агротехническим особенностям возделывания сельскохозяйственных культур, прогрессивной технологии и организации производства;
- снижения затрат труда и средств на единицу выполняемых работ и на единицу продукции, облегчения условий труда и повышения его производительности.

4. Необходимо рассчитать потребность сельхозпредприятия в средствах механизации с учетом специализации хозяйства по производству сельскохозяйственной продукции.

Формирование оптимального парка сельскохозяйственных машин для производства сельскохозяйственной продукции осуществляется после определения номенклатуры и объемов выполняемых работ с учетом агротехнических требований на выполнение работ при возделывании той или иной культуры.

Первоочередной задачей для определения годовых объемов работ по производству сельскохозяйственной продукции является формирование, подготовка материалов и данных для расчета, которые должны включать: общую площадь сельхозугодий, структуру посевных площадей возделываемых культур, количество поголовья скота для обеспечения заготовки требуемых кормов и др.

Большое значение при расчете потребности сельскохозяйственной техники имеет их эксплуатационная производительность в смену, которая для большинства машин может быть определена, исходя из технической характеристики машины и оборудования, указанной предприятием-изготовителем, но с учетом коэффициента использования машины по времени, который учитывает время, затрачиваемое на перебазирование машины, продолжительность простоев по организационно-техническим и погодно-климатическим причинам при проведении работ по производству сельскохозяйственной продукции в течение определенного периода.

В случае отсутствия данных о производительности машины, она может быть определена по следующим формулам:

- для машин циклического действия (погрузчики, машины для внесения удобрений, опрыскиватели, тракторные прицепы и т. п.):

$$W_{cm} = \frac{3600 q (T_{cm} - T_x) K_{cm}}{t_{\Pi}} \text{ (м, м}^2, \text{ м}^3, \text{ кг, шт. за смену);}$$

– для машин непрерывного действия (почвообрабатывающая и посевная техника, уборочные комбайны, косилки, грабли и т. п.):

при характеристики объемов работ в единицах объема:

$$W_{cm} = 3600 q (T_{cm} - T_x) K_{cm} (\text{м}^3 \text{ за смену});$$

при характеристики объемов работ по массе материала:

$$W_{cm} = 3600 \gamma V v_p (T_{cm} - T_x) K_{cm} (\text{кг за смену});$$

при характеристики объемов работ в единицах площади:

$$W_{cm} = 3600 B v_p (T_{cm} - T_x) K_{cm} (\text{м}^2 \text{ за смену}),$$

где  $q$  – объем работ за один рабочий цикл в пог. м длины участка, или в  $\text{м}^2$  площади участка, или в  $\text{м}^3$  объема материала, или в кг массы материала, или в шт. по количеству однотипных объектов;  $T_{cm}$  – число часов в одной смене, ч;  $T_x$  – время холостых пробегов, зависит от местных условий, включая время движения к объекту (полю) и на базу, а также время переезда между объектами, ч;  $t_{\Pi}$  – продолжительность рабочего цикла, с;  $B$  – ширина машины, обрабатываемая за один проход, м;  $v_p$  – рабочая скорость движения машины, м/с;  $V$  – объем сельскохозяйственного материала,  $\text{м}^3$ ;  $\gamma$  – объемная масса материала,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

При подсчете необходимо опираться на реальную выработку, которая, в свою очередь, учитывается, с поправками на ряд факторов:

- надежность агрегата (сводим к минимуму остановки из-за неисправностей);
- почвенно-климатические условия (почвы и их влажность, каменистость, погода и т. д.);
- средние размеры и конфигурация полей (площадь, длина гонов, рельеф, конфигурация и т. д.);
- глубина обработки и агрофон;
- скорость работы агрегата;
- территориальное размещение земельных массивов (сложности с переездами от одного поля к другому и т. д.);
- человеческий фактор (необходимое количество, уровень квалификации механизаторов и т. д.);
- возможные организационные накладки технологических операций в производственном процессе.

Последний фактор крайне важен, так как существует ряд операций, совпадающих по агротехническим срокам.

Например, если у предприятия имеется комплекс КРС, то заготовка силоса зачастую совпадает с периодом подготовки почвы под сев озимых, или уборка поздних пропашных совпадает с предпосевными работами и посевом озимых культур. Это временное пересечение ответственных операций требует укрупнения ресурса техники. Так, например, энергонасыщенные трактора в такие периоды одновременно могут использоваться на трамбовке силосных ям, возить прицепы-бункеры-перегрузчики с поля, а также выполнять предпосевные и посевные работы.

С учетом вышеуказанного, оперативная потребность в тракторах и сельскохозяйственных машинах может быть рассчитана по следующей формуле:

$$\Pi_{tc} = \frac{Q_p}{H_{B_{cm}} K_{cm} D_p K_r K_{my}},$$

где  $Q_p$  – объем работы в физических величинах, га (т,  $\text{м}^3$  и др.);  $H_{B_{cm}}$  – сменная норма выработки, га (т, м и др.);  $K_{cm}$  – коэффициент сменности или коэффициент выполнения сменной нормы выработки за рабочий день (при односменной работе);  $D_p$  – продолжительность периода работы, дней;  $K_r$  – коэффициент готовности машины к работе по технической исправности (0,90–0,95);

$K_{my}$  – коэффициент метеорологических условий, определяемый как отношение дней работы техники к общему периоду работы (0,90–0,95).

Одновременно для уточнения расчета потребности в тракторах необходимо составить на основе технологических карт сводный план выполнения работ. При этом данные по всем однотипным операциям в один календарные сроки суммируем. По периоду наибольшей пиковой нагрузки для конкретного вида тракторов также определяется их количество. Для более точного определения тракторов по маркам служит график машиноиспользования. Он составляется по месяцам, дням и т. д. Для этого берется сводный план механизированных работ, их объем и сроки проведения. График строится по каждой марке тракторов.

Одновременно следует подчеркнуть, что сельскохозяйственные предприятия не нуждаются в большом количестве низкопроизводительных и малонадежных технических средств. Поэтому, в первую очередь, необходимо уделять внимание технике, которая высокопроизводительная, надежная в эксплуатации, энергоэкономичная и т. д.

В перечень операций по каждому полю севооборота включаются не только операции, предусмотренные технологическими картами по возделыванию сельскохозяйственной культуры на данном поле с начала календарного года, но и операции по возделыванию последующей культуры данного поля, которые должны быть выполнены в текущем году, а также транспортные работы по вывозке удобренний на поля, перевозке кормов и др.

Перечень операций составляется по каждой культуре в отдельности независимо от того, размещается ли эта культура на одном (или части участка) или нескольких участках поля севооборота. В случае, когда расчет ведется для хозяйства укрупненно, то ограничиваются указанием общего (укрупненного) перечня по видам работ с указанием объема и основных типов машин.

Соответствующие расчеты по возделываемым культурам или укрупненно по видам работ заносятся в таблицу расчета МТП, в которой указывают объем работ, календарные сроки их выполнения, число рабочих дней и длительность рабочего дня в часах, состав агрегата и его производительность в единицу времени и за весь период работы. По этим данным и производится расчет потребности тракторов и сельскохозяйственных машин, а также обслуживающего персонала, топлива и других материалов.

Учитывая некоторую сложность определения состава машинно-тракторного парка по календарным срокам работы из-за метеорологических особенностей каждого года, изменения технологии возделывания и других условий, в ряде случаев применяется упрощенный (суммарный) метод планирования потребности парка машин, основанный на нормативном коэффициенте 1 000 га выполняемых орудием (машиной) работ и (или) приведенного коэффициента к 1 000 га пашни.

Расчеты транспортных и погрузочно-разгрузочных средств производятся на основании плана перевозок. При этом характер грузов обуславливает тип этих средств, а количественный состав определяется от объема перевозимого груза, расстояния перевозки и других условий.

В свою очередь, типаж тракторов определяется, исходя из типичных для хозяйства условий работы, прежде всего, из удельных сопротивлений почв, размеров участков (длины гона) и других условий.

Тяговый типаж тракторов для конкретного хозяйства определяется в основном с учетом направления деятельности по видам возделываемых сельскохозяйственных культур, специфики животноводства и других видов деятельности хозяйства. Ориентируясь на массовое количество машин (агрегатов) того или иного назначения, определяется типаж необходимых тракторов. При этом обычно предусматривается, как правило, не более 3–5 типов по классу тяги тракторов, учитывая, в первую очередь, потребность в специальных тракторах (пропашных, мелиоративных и др.).

Количественный состав тракторов определяется на основе годовых планов механизированных работ. Исходными данными при этом являются: структура посевых площадей на предстоящий и последующие годы (севооборот), технологические карты по возделыванию и уборке планируемых сельскохозяйственных культур, а также перечень работ вне полей севооборота (на лугах, пастбищах, в садах, мелиоративные работы и др.).

Соответствующие расчеты потребности тракторов производятся, начиная с основных операций по периодам (сезонам) работы, обусловленных определенными агротехническими сроками – сев, уборка, заготовка кормов и т. п., и связанных с ними предшествующих, сопутствующих, последующих и вспомогательных операций.

Следовательно, при определении состава тракторов по типам и видам учитываются:

- потребность по операциям и периодам в специализированных тракторах (пропашных, мелиоративных, садовых и др.), которые могут быть использованы в расчетный пиковый период;
- установленный для данной зоны типаж тракторов общего назначения и рекомендуемый процентный состав различных классов.

Усредненный расчет потребности республики в тракторах осуществлен для всех работ, выполняемых на сельскохозяйственных землях (пашня, лугопастбищные угодья, сады, животноводческие фермы, транспортные перевозки и др.). При этом целесообразно уклон сделать на рост энергонасыщенных тракторов мощностью 340 л. с. и выше, доведя до уровня не менее 45 %.

Следовательно, исходя из вышесказанного, а также с учетом контурности полей, максимальной пиковой нагрузки, видов работ и технологических операций с учетом готовой загрузки тракторов, усредненная потребность в тракторах в разрезе мощностных характеристик для хозяйств республики представлена в таблице 1.

**Таблица 1 – Потребность в тракторах для выполнения сельскохозяйственных работ**

Наименование техники	Нагрузка на 1 ед., га	Коэффициент потребности на 1 000 га пашни
Тракторы мощностью:		
до 100 л. с.	190	7,256
120–300 л. с.	83	3,331
340 и более л. с.	194	2,494
Погрузчики фронтальные	300	1,431
	714	1,400

Аналогично с учетом вышеуказанных факторов и особенностей, проведен расчет потребности сельхозпредприятий республики и в других видах сельскохозяйственной техники (таблица 2). При этом приведены коэффициенты как на 1 000 га выполняемых агрегатом (машиной) работ, так и приведенный коэффициент потребности в технике на 1 000 га пашни. Также определена нагрузка на 1 единицу техники с учетом специфики работы, агротехнических сроков и других факторов.

**Таблица 2 – Потребность в сельскохозяйственной технике для полевых работ**

Наименование техники	Нагрузка на 1 ед., га (т)	Коэффициент потребности на 1 000 га выполняемых работ	Коэффициент потребности на 1 000 га пашни
Автомобили грузовые	3 085	5,50	3,494
Прицепы тракторные	867	14,50	2,445
Прицепы специальные для перевозки зеленой массы	5 247	7,30	1,493
Платформы для перевозки тюков и рулонов	1 495	6,80	2,047
Дисковые, лущильники, дисковые бороны	887	1,13	0,765
Плуги	618	1,62	1,388
Культиваторы для сплошной обработки	505	1,98	0,872
Комбинированные почвообрабатывающие агрегаты	583	1,72	0,632
Комбинированные почвообрабатывающие посевные агрегаты	496	2,02	0,331
Сеялки зерновые	762	1,31	0,340
Сеялки льняные	360	2,78	0,026
Сеялки точного высева	360	2,99	0,705
Сеялки прямого посева	549	1,82	0,264
Картофелесажалки	90	11,06	0,035
Культиваторы для междурядной обработки сахарной свеклы и кукурузы	387	2,58	0,699

Наименование техники	Нагрузка на 1 ед., га (т)	Коэффициент потребности на 1 000 га выполняемых работ	Коэффициент потребности на 1 000 га пашни
Культиваторы-окучники	145	6,92	0,022
Глубокорыхлители	442	2,26	0,054
Машины для внесения минеральных удобрений	970	1,03	0,971
Машины для внесения органических удобрений	1 213	0,82	0,771
Опрыскиватели:			
Опрыскиватели типа «Роса» для внесения жидких минеральных удобрений	977	1,02	0,377
Опрыскиватели тракторные	957	1,04	0,715
Опрыскиватели самоходные	1 197	0,84	0,075
Кормоуборочные комбайны	295	3,39	0,684
Косилки тракторные	586	1,71	0,845
Грабли тракторные	741	1,35	0,669
Пресс-подборщики	411	2,50	0,823
Пресс-подборщики с обмоткой в пленку	737	1,40	0,408
Зерноуборочные комбайны	350	3,10	1,563
Приставки для уборки рапса	113	9,60	0,861
Жатки для уборки кукурузы на зерно	137	7,50	0,354
Картофелеворочный комбайн	30	32,80	0,083
Ботвоуборочная машина	140	7,15	0,023
Картофелекопатели	6	153,90	0,098
Ботвоуборочная машина для свеклы	189	5,30	0,021
Свеклоуборочный комбайн	242	4,13	0,016
Комбинированный свеклоуборочный комбайн	312	3,21	0,050
Погрузчики свеклы	1 011	0,99	0,019
Льноуборочный комбайн	68	14,75	0,056
Теребилки льна	207	4,84	0,027
Оборачиватели лент льна	155	6,45	0,061
Вспушиватели лент льна	312	3,21	0,030
Пресс-подборщик лент льна	81	12,35	0,117

Следует отметить, что нормативы разработаны для перспективных технических средств, обеспечивающих производство сельскохозяйственной продукции по прогрессивным технологиям. В то же время представленные нормы потребности техники носят общий характер, без учета специфики хозяйства, его расположения, длины гона, удельного сопротивления почв, конфигурации и рельефа полевых участков и др.

### Заключение

Особенность сельскохозяйственного производства с точки зрения использования техники заключается в том, что комплекс средств для механизации представляет собой систему, которая многократно меняется как по числу одновременно участвующих в работе агрегатов, так и по составу используемых сельскохозяйственных машин с изменяемыми режимами их работы.

В то же время представленные данные по потребности в технике для производства растениеводческой продукции носят усредненный характер без специфики географического расположения хозяйства, его почвенных условий и др. В настоящее время территорию республики подразделяют на четыре географические зоны со своими почвенными условиями. Поэтому для каждой зоны страны устанавливаются агротехнически оптимальные нормативные сроки проведения сельскохозяйственных работ при производстве продукции. На основе этих нормативов может быть уточнена и нормативная потребность в технике и оборудовании.

В то же время, с учетом некоторой неоднородности выполнения работ в различных хозяйствах, а также неравномерности использования техники, в суммарные подсчеты потребного числа машин может вводится поправочный коэффициент равный, как обычно 1,2–1,5 для увеличения потребности, что более характерно для хозяйств, имеющих малую контурность полей, где используется менее широкозахватная техника, так и 0,95–0,98 для уменьшения потребности там, где имеются большие поля и применяются более широкозахватные машины.

### **Список использованных источников**

1. Новиков, А. В. Совершенствование методики пересчета физических тракторов в условные и объемов выполненных ими работ в условные гектары / А. В. Новиков, Д. А. Жданко, Т. А. Непарко // Техническое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве : сб. науч. ст. Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 8–9 июня 2016 г. – Минск : БГАТУ, 2016. – С. 250–253.
2. Техническое обеспечение производства продукции растениеводства. Практикум : учеб. пособие / А. В. Новиков, А. П. Ляхов, Т. А. Непарко [и др.] ; под ред. А. В. Новикова. – Минск : БГАТУ, 2011. – 408 с.
3. Шундалов, Б. М. Совершенствование методики перерасчета физических тракторов в условные эталонные единицы / Б. М. Шундалов // Аграрная экономика. – 2014. – № 3. – С. 14–17.
4. Дицманидзе, О. Н. Методические рекомендации по определению нормативной потребности в сельскохозяйственной технике для растениеводства : метод. указания / О. Н. Дицманидзе, А. В. Лавров, В. М. Бейлис. – М. : Сам Полиграфист, 2024. – 56 с.

**Н. Г. Бакач, В. И. Володкевич, А. В. Шах, О. В. Жаврид**

*РУП «НПЦ НАН Беларусь по механизации сельского хозяйства»  
г. Минск, Республика Беларусь  
E-mail: shach85@mail.ru*

## **АНАЛИЗ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

*Аннотация.* В статье проведен анализ конструктивных особенностей применения зерноуборочных комбайнов в различных условиях эксплуатации в Республике Беларусь.

*Ключевые слова:* зерноуборочные комбайны, зерновые и зернобобовые культуры, техническое использование комбайна.

**N. G. Bakach, V. I. Volodkevich, A. V. Shakh, O. V. Zhavrid**

*RUE “SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization”  
Minsk, Republic of Belarus  
E-mail: shach85@mail.ru*

## **ANALYSIS OF THE DESIGN FEATURES OF GRAIN HARVESTERS USED IN THE REPUBLIC OF BELARUS**

*Abstract.* The article analyzes the design features of grain harvesters used in various operating conditions in the Republic of Belarus.

*Keywords:* grain harvesters, grain and legume crops, technical use of a harvester.

### **Введение**

Отечественные заводы ОАО «Гомсельмаш» и ОАО «Лидагропроммаш» изготавливают широкий ассортимент зерноуборочных комбайнов, что позволяет, в зависимости от условий использования, выбрать наиболее производительные с высокими эксплуатационно-технологическими и экономическими показателями комбайны для уборки зерновых культур [1].

Структурное переоснащение парка зерноуборочных комбайнов в Республике Беларусь в последние годы велось преимущественно на основе выпускаемых ОАО «Гомсельмаш» зерноуборочных комбайнов КЗС-1218. Они оснащены двигателями мощностью 330 л. с., имеют максимальную (до 2015 г.) для комбайнов стран СНГ ширину молотилки 1 500 мм, обеспечивают устойчивое выполнение технологического процесса в проектных диапазонах пропускной способности при удельных затратах топлива, не превышающих 3,2 кг/т в стандартных условиях, что подтверждено неоднократными испытаниями на государственных машиноиспытательных станциях. Однако для повышения эффективности и снижения трудозатрат на уборку актуален поиск новых решений, обеспечивающих более высокую производительность зерноуборочных комбайнов при меньших энергозатратах, что позволит повысить уровень конкурентоспособности отечественных машин. В этом направлении постоянно ведутся работы на ОАО «Гомсельмаш».

### **Основная часть**

В Республике Беларусь производятся зерноуборочные комбайны, которые позволяют эффективно осуществлять уборку полей в хозяйствах с урожайностью зерновых от 20–25 до 70 ц/га и выше [2].

При выборе зерноуборочных комбайнов учитывают реальные условия эксплуатации: почвенно-климатические условия, размер посевных площадей, урожайность зерновых культур и др. Кроме того, большое значение имеют обеспеченность квалифицированными кадрами, транспортными средствами, доступность сервисного обслуживания. Пропускная способность, следовательно, и производительность зерноуборочных комбайнов является важнейшим фактором, определяющим предпочтение потребителей. Анализ показывает, что одним из основных факторов, лимитирующих пропускную способность зерноуборочных комбайнов, являются потери зерна. В соответствии с действующими в Республике Беларусь нормативными требованиями допустимый уровень потерь зерна за зерноуборочными комбайнами должен составлять:

- за молотильно-сепарирующим устройством (МСУ) – не более 1,5 %;
- за жаткой комбайна – не более 0,5 % при уборке прямостоящего стеблестоя и не более 1,5 % при уборке полеглого (до 80 % стеблестоя).

Установлено, что основными причинами потерь зерна во время уборки урожая являются:

- отклонения от технологических требований при выращивании зерновых культур и отсутствие научно обоснованной структуры зерновых культур (сортов), обеспечивающих поэтапный срок их созревания;
- биологические потери зерна, вызванные особенностями его производства в природно-климатических условиях и фактическими сроками уборки урожая, которые превышают оптимальные агротехнические (уборка зерновых культур должна проводиться в максимально сжатые сроки: 10–12 дней, далее наступает перестой хлебной массы, сопровождающийся ростом биологических потерь);
- потери зерна за комбайном при проведении уборочных работ, вызванные несовершенством конструкции, неправильными настройками / регулировками и т. д.

Для полей с разной урожайностью требуются комбайны разной пропускной способности. Например, для хозяйств с относительно невысокой урожайностью нужны комбайны невысокого и среднего класса пропускной способности.

Как показывает практика, комбайны с молотильным барабаном, битерами, сепарирующими барабанами (а также барабанами-ускорителями) и клавишным соломотрясом приспособлены для работы в любых условиях, в том числе и неблагоприятных, например, они могут осуществлять уборку трудно обмолачиваемых культур повышенной влажности. При этом производительность таких комбайнов всегда выше, а потери и повреждение зерна ниже, чем, например, у однобарабанных.

Поэтому отечественные и зарубежные предприятия постепенно переходят к производству комбайнов с молотильными устройствами с несколькими барабанами (ускорителями, сепараторами), несмотря на некоторое усложнение конструкции.

Что касается зерноуборочных комбайнов 1-го типа МСУ с молотильным аппаратом барабанного типа и роторным соломосепаратором, у различных производителей они представлены следующими моделями: ОАО «Гомсельмаш» – КЗС-1624-1; Claas – Lexion 740-770, Tucano 470-480; John Deere – C670 и др. Установлено, что такие комбайны при нормальной влажности зерностебельной массы и незасоренных полях (без подгона) имеют преимущество перед комбайнами с клавишными соломотрясами. Однако при повышении влажности хлебной массы из-за образования жгутов увеличиваются потери зерна за сепарацией.

Необходимо подчеркнуть, что к комбайнам 2-го типа с роторным МСУ относятся модели: ОАО «Гомсельмаш» – КЗР-10, John Deere – S690i; Massey Fergusson – Fortia 9695, Fortia 9795, Fortia 9895; New Holland – CR9060–9090 Elevation и др. Эксплуатация зерноуборочных комбайнов с МСУ 2-го типа позволяет заключить, что при уборке короткостебельных культур нормальной влажности эти комбайны имеют преимущество по производительности, потерям, повреждению зерна и чистоте зернового вороха по сравнению с комбайнами с МСУ 1-го типа. Особенно эти преимущества проявляются при уборке кукурузы на зерно, рапса и подсолнечника. Однако у таких комбайнов наблюдается повышение потерь зерна при пересушенней соломе, так как при протяженном ее прохождении по МСУ происходит интенсивное перебивание соломы, вследствие чего решетный стан очистки перегружается мелким ворохом и не справляется с работой.

Кроме того, перебитую солому практически невозможно подобрать из валков, поскольку конструкция подбирающих устройств современных подборщиков для подбора такой соломы не приспособлена. При уборке переувлажненной зерностебельной массы комбайнами с МСУ 2-го типа также отмечаются повышенные потери зерна из-за того, что неотсепарировавшиеся из вороха зерна попадают внутрь образующихся в роторе жгутов соломы.

Также к проблемам, связанным с использованием комбайнов с роторными МСУ, следует отнести тот факт, что при попадании в такое МСУ твердых предметов и деформации ротора, длина которого у некоторых моделей комбайнов превышает 3,5 м, ремонт возможен только в заводских условиях, так как в конце ремонта обязательно требуется динамическая балансировка.

Заметим, что при выявлении особенностей формирования конкурентоспособности зерноуборочных комбайнов особое внимание также следует уделять стоимостным показателям, которые включают затраты на приобретение, а также затраты, связанные с эксплуатацией и утилизацией. Так как затраты на приобретение и утилизацию являются единовременными, основное внимание уделено эксплуатационным затратам. В соответствии с принятой методикой экономической оценки сельскохозяйственной техники затраты, связанные с эксплуатацией, или себестоимость механизированной работы (руб/ед. наработка) при выполнении какой-либо операции рассчитываются как сумма всех затрат, необходимых для ее осуществления, и включают основные затраты – на оплату труда механизатора, на горюче-смазочные материалы, а также на амортизацию комбайна, на его техническое обслуживание и ремонт, – напрямую связанные с балансовой стоимостью машины. На себестоимость механизированной работы эти затраты оказывают неодинаковое влияние. Для повышения экономической эффективности зерноуборочных комбайнов следует в первую очередь улучшать технико-экономические и эксплуатационно-технологические параметры, позволяющие снизить отчисления на амортизацию, а также затраты на техническое обслуживание и ремонт.

## Выводы

При выборе зерноуборочных комбайнов сельскохозяйственные производители (потребители) должны учитывать реальные условия эксплуатации: почвенно-климатические условия, размер посевных площадей, урожайность зерновых культур и др. Кроме того, большое значение имеет обеспеченность квалифицированными кадрами, транспортными средствами, доступность сервисного обслуживания. Пропускная способность, следовательно, и производительность зерноуборочных комбайнов является важнейшим фактором, определяющим их предпочтение. Другим важным фактором выступает система обмолота и сепарации зерна в комбайне.

Предложена классификация зерноуборочных комбайнов по типам МСУ.

1-й тип – МСУ с разделенными функционально-конструктивными блоками обмолота хлебной массы и сепарации грубого вороха, состоящее из молотильного блока, различающегося по количеству и взаимному расположению молотильных барабанов, битеров, сепарирующих барабанов, в том числе барабанов-ускорителей и сепарирующего блока, выполненного в виде клавишного соломотряса и различающегося по количеству клавиш, каскадов и интенсификаторов; либо в виде сепарирующих барабанов и различающегося по их количеству; либо в виде сепарирующих роторов и различающегося по их расположению, количеству, направлению подачи грубого вороха на входе (аксиальная или тангенциальная), делению потока на выходе.

2-й тип – МСУ с совмещенными функционально-конструктивными блоками обмолота хлебной массы и сепарации грубого вороха, отличающиеся по расположению роторов, их количеству, направлению подачи хлебной массы, наличию подающего битера и делению потока на входе.

Зерноуборочные комбайны с МСУ 1-го типа, оснащенные клавишным соломотрясом, приспособлены для работы в любых условиях, в том числе неблагоприятных, например, они могут осуществлять уборку труднообмолачиваемых культур повышенной влажности. Комбайны с МСУ 1-го типа, но оборудованные вместо соломотряса сепарирующими роторами, перемещающими грубый ворох по спирали, при нормальной влажности зерностебельной массы и неза-

соренных полях (без подгона) имеют преимущество перед комбайнами с клавишным соломотрясом. Но при повышении влажности хлебной массы из-за образования жгутов увеличиваются потери зерна за сепарацией. Зерноуборочные комбайны с МСУ 2-го типа имеют преимущества по производительности, потерям, повреждению зерна и чистоте зернового вороха перед комбайнами с МСУ 1-го типа. Особенно эти преимущества проявляются при уборке кукурузы на зерно, рапса и подсолнечника. При этом их целесообразно использовать при уборке короткостебельных культур нормальной влажности.

### **Список использованных источников**

1. Сайганов, А. С. Повышение конкурентоспособности зерноуборочных комбайнов на предприятиях сельскохозяйственного машиностроения Республики Беларусь / А. С. Сайганов, В. К. Липская. – Минск : Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2017. – 219 с.
2. Система перспективных машин и оборудования для реализации эффективных технологий производства и первичной переработки основных видов продукции растениеводства и животноводства на 2021–2025 годы и на период до 2030 года (методические рекомендации) / НАН Беларуси [и др.]. – Минск : Беларус. наука, 2024. – 118 с.

**Н. Г. Бакач, В. И. Володкевич, А. В. Шах, О. В. Жаврид**

*РУП «НПЦ НАН Беларусь по механизации сельского хозяйства»  
г. Минск, Республика Беларусь  
E-mail: shach85@mail.ru*

## **АНАЛИЗ МОНИТОРИНГА ПРИМЕНЕНИЯ КОРМОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ В УСЛОВИЯХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

*Аннотация.* Приводится сравнительный анализ конструктивных особенностей перспективных моделей кормоуборочных комбайнов для заготовки травянистых культур отечественного и импортного производства и анализ мониторинга их применения в условиях сельскохозяйственных организаций республики.

*Ключевые слова:* анализ, испытания, комбайн, измельчитель, комплекс, качество, надежность, конструкция, адаптер, производительность, наработка, на отказ, безопасность.

**N. G. Bakach, V. I. Volodkevich, A. V. Shakh, O. V. Zhavrid**

*RUE “SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization”  
Minsk, Republic of Belarus  
E-mail: shach85@mail.ru*

## **ANALYSIS OF MONITORING THE USE OF FORAGE HARVESTERS IN AGRICULTURAL ORGANIZATIONS OF THE REPUBLIC OF BELARUS**

*Abstract.* A comparative analysis of the design features of promising models of forage harvesters for harvesting grass crops of domestic and imported production and an analysis of monitoring their use in the conditions of agricultural organizations of the republic are provided.

*Keywords:* analysis, testing, combine, chopper, complex, quality, reliability, design, adapter, productivity, failure rate, safety.

### **Введение**

В сельскохозяйственных организациях Республики Беларусь на заготовке травянистых кормов задействован большой набор кормоуборочных комбайнов, что позволяет в зависимости от условий их применения выбрать наиболее производительные с высокими технико-эксплуатационными показателями работы для уборки кормовых культур [1]. Наибольшее распространение в республике получили отечественные кормоуборочные комбайны производства ОАО «Гомсельмаш» и производителей зарубежных фирм Class, John Deere и New Holland.

В структуре парка кормоуборочных комбайнов (3 293 ед.) в настоящее время комбайны отечественного производства составляют около 75 % (2 469 ед.) и зарубежного – 25 % (823 ед.), с мощностью двигателя до 450 л. с. – 20,5 % (677 ед.) и более 450 л. с. – 79,5 % (2 616 ед.). Вместе с тем около 55 % (1 811 ед.) кормоуборочных комбайнов эксплуатируются в хозяйствах свыше нормативного срока (более 10 лет). В этой связи требуется проведение мониторинга работы кормоуборочных комбайнов в реальных условиях эксплуатации с целью оценки их возможности обеспечить выполнение работ в требуемые агротехнические сроки.

### **Основная часть**

*Высокопроизводительные кормоуборочные комплексы KVК-8060, KVК-800-36 и KVК-800-16 производства ОАО «Гомсельмаш»* включают самоходный измельчитель, жатки для уборки трав и грубостебельных культур шириной захвата 6 м, подборщик проявленных трав из валков

шириной захвата 4 м и тележку транспортную для перевозки жаток. На КВК-800-36 установлен двигатель Д-280.1S2-01 производства ОАО «Минский моторный завод» мощностью 329 кВт (450 л. с.); на КВК-800-16 – двигатель OM502LA/E-00 фирмы «Мерседес-Бенц» (Германия) мощностью 330 кВт (450 л. с.); на КВК-8060 – двигатель OM 502LAE 3A/2-00 фирмы «Мерседес-Бенц» мощностью 440 кВт (600 л. с.) – V-образный, 8-цилиндровый, с электронным управлением, с турбонаддувом, промежуточным охлаждением надувочного воздуха.

Самоходный измельчитель состоит из рамы, моторной установки, ходовой части, кабины, питающего аппарата, измельчающего аппарата, силосопровода с ускорителем выброса измельченной массы, устройства доизмельчающего, электрооборудования, гидросистемы, пневмосистемы, механических передач, капотирующих элементов.

На комплексах расположена бортовая информационно-управляющая система (БИУС) на базе компьютера со следующими основными функциями: установка длины резки бесступенчатая; контроль за работой системы защиты рабочих органов; автоматическое управление заточной ножей и выставление зазоров между ножами и противорежущей пластиной измельчающего барабана; контроль и диагностика параметров моторной установки, гидросистем, электросистем, приводов; контроль расхода топлива, параметров скорости, наработки; контроль и выставление зазора между вальцами доизмельчающего устройства. Аппарат предназначен для подпрессовывания и подачи поступающей растительной массы в измельчающий аппарат. Питающий аппарат оснащен камне- и металлодетектором (датчик металлодетектора установлен в переднем нижнем вальце). Привод питающего аппарата – гидростатический. Датчик камнедетектора расположен на редукторе привода верхних вальцов в зоне переднего верхнего вальца. Верхние вальцы в процессе работы подпрессовывают поступающий слой массы под действием пружинного механизма. Привод нижних вальцов питающего аппарата осуществляется от гидромотора через редуктор. Привод верхних вальцов осуществляется от гидромотора через редуктор, полумуфту шлицевую и карданный вал. На измельчающем барабане установлено четыре ряда ножей шевронного типа. В каждом ряду установлено по 10 ножей (40 шт.), возможен вариант установки в каждом ряду по 5 ножей (20 шт.). Процесс заточки, а также корректировка зазора между ножами и противорежущей пластиной выполняется в автоматическом режиме. Шасси самоходного измельчителя состоит из ведущего моста, моста управляемых колес, рамы, устройства тягово-цепного. Мост ведущих колес имеет гидростатический привод. Конструкция комплексов предусматривает возможность исполнения двумя ведущими мостами.

Установлена одноместная кабина повышенной комфортности с системой для нормализации микроклимата, предусмотрены места для установки радиоприемника, термоса и огнетушителя, установлено дополнительное откидное сиденье. Для обеспечения микроклимата на рабочем месте оператора в кабине есть климатическая установка, совмещенная с отопителем.

На комплексах установлено оборудование для дозированного внесения раствора биологического консерванта в измельчаемую массу для обеспечения сохранности питательной ценности заготавливаемых кормов при их закладке и последующем хранении. В состав оборудования входят: система дозирования СД-4.6, выпускаемая ООО НПП «Белама плюс»; пульт управления, установленный в кабине комплекса; форсунка, установленная на козырьке силосопровода; емкость для внесения консерванта вместимостью 300–350 л.

**Кормоуборочные комбайны фирмы CLAAS: Jaguar 870, Jaguar 960 и Jaguar 850** предназначены для подбора подвяленной массы из валков и скашивания кукурузы на силос с одновременным измельчением и погрузкой измельченной массы в транспортное средство.

На комбайне Jaguar 870 установлен двигатель Mercedes Daimler OM 502LA/E 3A/5-00 мощностью 350 кВт (476 л. с.); на Jaguar 960 – Mercedes Daimler OM 502LA/E 3A/5-00 мощностью 458 кВт (623 л. с.); на Jaguar 850 – Mercedes-Benz OM 460LA мощностью 315 кВт (428 л. с.).

Передний ведущий мост вышеуказанных комбайнов оснащен двухступенчатой коробкой передач и гидростатической трансмиссией с мультиплликатором, скомпонованными в единый узел и работающими в автоматическом режиме, т. е., при увеличении тягового сопротивления (крукий подъем, заболоченные участки, переувлажненная почва) и повышении давления в гидросистеме коробка передач автоматически переключается на пониженную передачу и гидростатиче-

ский привод развивает максимальное тяговое усилие. Питающий аппарат состоит из двух верхних и двух нижних вальцов. Передний нижний валец оснащен металлодетектором, а верхний валец – инерционным датчиком защиты от попадания инородных предметов (камнедетектором). На измельчающем барабане установлено 12 пар ножей (24 шт.), расположенных по шевронному типу с направлением угла резания к середине барабана, возможен вариант установки 6 пар ножей (12 шт.). За счет такого расположения ножей измельченная масса центрируется посередине барабана и исключаются потери энергии на трение ее о стенки конфузора. Заточка ножей происходит при прямом вращении барабана. Процесс заточки, а также корректировка зазора между ножами и противорежущей пластиной полностью автоматизированы. Ускоритель массы барабанного типа с лопatkами, установленными по шевронному типу, обеспечивает выброс массы из силосопровода в транспортное средство с высокой скоростью и компактной струей. Привод измельчающего барабана и ускорителя массы, которые в сумме являются основными потребителями энергии, осуществляется непосредственно от коленвала двигателя с помощью многоручьевого ремня, находящегося в постоянном натяжении. Кабина оборудована основным и дополнительным сиденьями, регулируемой рулевой колонкой, приборами, рычагами и педалями управления, системой вентиляции, кондиционером, рабочим освещением. С помощью клавиш, расположенных на многофункциональном джойстике, водитель одной рукой управляет маршрутом и скоростью движения комбайна, изменяет положение козырька силосопровода, осуществляет подъем и опускание адаптеров, регулирует подачу массы. Пульт управления с компьютерной системой контроля расположен справа от водителя. На кормоуборочных комбайнах фирмы CLAAS в зависимости от вида используемого консерванта форсунка устанавливается непосредственно в силосопровод, в месте установки ускорителя выброса массы или за ним.

**Кормоуборочные комбайны фирмы John Deere: John Deere 7480 и John Deere 7380** предназначены для подбора из валков провяленных трав, скашивания кукурузы с измельчением и погрузкой измельченной массы в транспортное средство.

Данные модели комбайнов включают самоходный полевой измельчитель и сменные рабочие органы (адаптеры) – подборщик и барабанную жатку для уборки кукурузы. Самоходный измельчитель состоит из питающе-измельчающего аппарата с силосопроводом, двигателя с механизмом привода рабочих органов, кабины с органами управления, ходовой системы, гидро- и электрооборудования. Питающий аппарат состоит из двух верхних и двух нижних вальцов. Передний нижний валец оснащен металлодетектором, имеется также камнедетектор. Подавающие вальцы оснащены гребенками специального профиля, обеспечивающими распределение массы по ширине питающего аппарата и подачу массы ровным слоем в измельчающий барабан. Бесступенчатая гидромеханическая трансмиссия обеспечивает бесступенчатую регулировку длины резания за счет изменения скорости вращения подающих вальцов из кабины с индикацией выбранного значения на мониторе. На измельчающем барабане установлены короткие ножи, расположенные на держателях ножей по спирали. Регулировка зазора между лезвиями ножей и противорежущей пластиной осуществляется автоматически путем однократного нажатия кнопки на пульте управления из кабины. Заточка ножей осуществляется при обратном вращении барабана. Количество циклов заточки ножей задается прямо из кабины и контролируется бортовым компьютером; текущая информация о процессе заточки выводится на монитор.

При уборке кукурузы для плющения зерна после измельчающего барабана устанавливается плющилка зерна (два рифленых барабана, вращающихся с разной скоростью). Зазор между вальцами, определяющий качество плющения зерна, устанавливается автоматически из кабины водителя. Ускоритель выброса массы (воздуховода) барабанного типа с лотками обеспечивает подачу массы по силосопроводу в транспортное средство с высокой скоростью и компактной струей.

На комбайне John Deere 7480 установлен двигатель John Deere 13.5.1 (4 клапана) Power TECH TIER III / без системы рециркуляции выхлопных газов мощностью 409 кВт (556 л. с.); на John Deere 7380 – двигатель John Deere 13.5.1 (4 клапана) Power TECH TIER III / без системы рециркуляции выхлопных газов мощностью 334 кВт (454 л. с.). В кабине комбайнов предусмотрена система автоматического контроля температуры воздуха, есть основное и дополнительное сиде-

нья. Органы управления расположены на многофункциональном джойстике и на пульте управления с компьютерной системой контроля.

**Мониторинг** отечественных кормоуборочных комплексов и их зарубежных аналогов был осуществлен в хозяйствах республики на заготовке кукурузы на силос. Средняя урожайность убираемой массы кукурузы составляет – 260 ц/га [2].

За период проведения мониторинга наработка отечественных кормоуборочных комплексов КВК-800-36 (12 комплексов) и КВК-800-16 (1 комплекс) составила от 1 817 до 10 532 т, их зарубежных аналогов – Jaguar 850 (2 комбайна), Jaguar 870 (5 комбайнов), John Deere 7380 (1 комбайн) – от 11 027,1 до 27 054 т. Наработка отечественных кормоуборочных комплексов КВК-8060 (6 комплексов) составила от 5 743,84 до 13 649 т, их зарубежных аналогов – Jaguar 960 (2 комбайна), John Deere 7 480 (1 комбайн) – от 11 027,6 до 27 054 т.

За период проведения мониторинга по отечественным комплексам КВК-800-36 и КВК-800-16 при средней наработке 4 432,5 т было отмечено 15 технических отказов или 1,2 отказа на комплекс: 4 отказа по двигателю (26,7 % от общего количества отказов); 4 отказа по гидросистеме (26,7 % от общего количества отказов); 1 отказ по питающе-измельчающему аппарату (6,7 % от общего количества отказов). Другие отказы (6 отказов) составили 40,0 % от общего количества отказов. Средняя наработка на отказ составила 3 841,5 т.

У зарубежных аналогов Jaguar 850 (2 комбайна), Jaguar 870 (5 комбайнов), John Deere 7 380 (1 комбайн) за период проведения мониторинга при средней наработке 11 767,2 т было отмечено 24 технических отказа или 3,0 отказа на комбайн: 4 отказа по двигателю (16,7 % от общего количества отказов); 8 отказов по питающе-измельчающему аппарату (33,3 % от общего количества отказов); 1 отказ по электрооборудованию (4,2 % от общего количества отказов); 6 отказов по жатке для грубостебельных культур (25,0 % от общего количества отказов). Другие отказы (5 отказов) составили 20,8 % от общего количества отказов. Средняя наработка на отказ составила 3 922,4 т.

За период мониторинга по отечественным комплексам КВК-8060 при средней наработке 9 221,3 т было отмечено 11 технических отказов или 1,8 отказа на комплекс: 3 отказа по двигателю (27,3 % от общего количества отказов); 1 отказ по гидросистеме (9,1 % от общего количества отказов); 2 отказа по электрооборудованию (18,2 % от общего количества отказов); 1 отказ по подборщику (9,1 % от общего количества отказов). Другие отказы (4 отказа) составили 36,4 % от общего количества отказов. Средняя наработка на отказ составила 5 029,8 т.

У зарубежных аналогов Jaguar 960 (2 комбайна), John Deere 7480 (1 комбайн) за период проведения мониторинга при средней наработке 16 457,7 т было отмечено 3 технических отказа или 1 отказ на комбайн: 2 отказа по питающе-измельчающему аппарату (66,7 % от общего количества отказов). Другие отказы (1 отказ) составили 33,3 % от общего количества отказов. Средняя наработка на отказ составила 16 457,4 т.

## **Заключение**

Установлено, что технический уровень применяемых моделей кормоуборочных комбайнов производства ОАО «Гомсельмаш» имеет достаточную степень надежности и не уступает зарубежным аналогам. В дальнейшем качество изготовления и безотказность их работы в условиях республики должны являться основными критериями для сельскохозяйственных организаций для применения их на заготовке травянистых кормов.

## **Список использованных источников**

1. Система перспективных машин и оборудования для реализации эффективных технологий производства и первичной переработки основных видов продукции растениеводства и животноводства на 2021–2025 гг. и на период до 2030 г. (методические рекомендации) / НАН Беларуси [и др.]. – Минск : Беларус. наука, 2024. – 118 с.
2. Отчет № 125Б-2014 от 10 ноября 2014 года о результатах инженерного мониторинга основных образцов отечественной сельскохозяйственной техники в сравнении с зарубежными аналогами / ГУ «Белорусская МИС» [и др.]. – п. Привольный. – № 8692, 2014. – С. 20–71.

**Н. Г. Бакач, В. И. Володкевич, А. В. Шах, О. В. Жаврид**

РУП «НПЦ НАН Беларусь по механизации сельского хозяйства»  
г. Минск, Республика Беларусь  
E-mail: shach85@mail.ru

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОТРЕБНОСТИ В ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНАХ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

*Аннотация.* В статье рассмотрены результаты исследований по прогнозированию потребности в перспективных моделях зерноуборочных комбайнов для использования в условиях сельскохозяйственных организаций Республики Беларусь.

*Ключевые слова:* зерновые и зернобобовые культуры, технические культуры, самоходные зерноуборочные комбайны, производительность, эффективность применения техники, агротехнические сроки, технологическая потребность.

**N. G. Bakach, V. I. Volodkevich, A. V. Shakh, O. V. Zhavrid**

RUE “SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization”  
Minsk, Republic of Belarus  
E-mail: shach85@mail.ru

## FORECASTING THE NEED FOR GRAIN HARVESTERS FOR USE IN AGRICULTURAL ORGANIZATIONS IN THE REPUBLIC OF BELARUS

*Abstract.* The article examines the results of research on forecasting the need for promising models of grain harvesters for use in agricultural organizations of the Republic of Belarus.

*Keywords:* grain and leguminous crops, industrial crops, self-propelled grain harvesters, productivity, efficiency of equipment use, agronomic terms, technological needs.

### Введение

Формирование перспективной структуры парка зерноуборочных комбайнов в Республике Беларусь осуществляется на фоне неблагоприятных тенденций, характеризуемых значительным (в 1,2–1,3 раза) превышением доли их списания над обновлением. Кроме того, около 50 % применяемого парка уборочных машин выработало свой ресурс и требует значительных затрат на поддержание техники в работоспособном состоянии. В результате чего увеличиваются затраты на производство зерна, а, следовательно, снижается его конкурентоспособность. Поэтому увеличение производства зерна в значительной степени зависит также от применяемого парка машин для его уборки. При этом продолжительность сроков проведения уборочных работ определяется не минимальным, а агротехнически обоснованным времененным периодом с применением экономически целесообразного количества технических средств.

### Основная часть

Потребность в самоходных зерноуборочных комбайнах для сельскохозяйственных предприятий Республики Беларусь определялась на основе результатов исследований объемов убираемых площадей зерновых культур (озимых, яровых и рапса), производства зерна (таблица 1), агротехнических сроков его уборки, фактической урожайности зерна, ежегодного намолота зерна, технического состояния зерноуборочных комбайнов в период уборки и других факторов [1].

**Таблица 1 – Структура посевных площадей зерновых культур и прогноз валового сбора зерна в сельскохозяйственных организациях регионов Республики Беларусь в 2025 г.**

Наименование области	Посевная площадь зерновых культур, тыс. га	Прогнозируемый валовой сбор зерна, тыс. т
Брестская	397,3	1 993,5
Витебская	369,7	1 100,0
Гомельская	372,4	1 113,0
Гродненская	348,8	1 998,4
Минская	518,2	2 542,6
Могилевская	384,8	1 172,5
Итого по республике	2 391,2	9 920,0

К настоящему времени в сельскохозяйственных организациях нашей республики насчитывается 7 195 ед. зерноуборочных комбайнов (таблица 2).

Применяемый в хозяйстве парк машин по пропускной способности объективно может быть разделен на три класса: до 10 кг/с, 10–12 кг/с и свыше 12 кг/с. Наибольший удельный вес в структуре парка комбайнов занимают комбайны класса 10–12 кг/с (78,4 % или 5 641 ед.), далее следует комбайны свыше 12 кг/с (14,8 % или 1 068 ед.) и комбайны класса до 10 кг/с (6,8 % или 486 ед.).

**Таблица 2 – Распределение парка зерноуборочных комбайнов по классам пропускной способности в сельскохозяйственных организациях регионов Республики Беларусь, ед.**

Наименование области	Всего зерноуборочных комбайнов	В том числе по пропускной способности, кг/с		
		до 10	10–12	свыше 12
Брестская	1 358	126	1 098	134
Витебская	1 035	91	868	75
Гомельская	988	129	840	19
Гродненская	1 185	71	724	390
Минская	1 599	49	1 188	362
Могилевская	1 030	20	922	88
Итого по республике	7 195	486	5 641	1 068
В процентах	100,0	6,8	78,4	14,8

Для прогнозирования потребности в зерноуборочных комбайнах и определения рациональной его структуры выполнена группировка сельскохозяйственных организаций регионов республики по площадям уборки зерновых культур и намолоту зерна за последние 10 лет (2014–2024 гг.) в зависимости от его урожайности. При этом из всей совокупности сельскохозяйственных предприятий выделено три группы хозяйств в зависимости от фактической урожайности зерна:

- сельскохозяйственные предприятия с урожайностью до 4,0 т/га, в которых экономически целесообразно применение зерноуборочных комбайнов с пропускной способностью до 10 кг/с;
- сельскохозяйственные предприятия с урожайностью 4,0–5,9 т/га, в которых экономически целесообразно применение зерноуборочных комбайнов с пропускной способностью 10–12 кг/с;
- сельскохозяйственные предприятия с урожайностью 6,0 и более т/га, в которых экономически целесообразно применение зерноуборочных комбайнов с пропускной способностью свыше 12 кг/с.

Результаты группировки сельскохозяйственных организаций представлены в таблице 3.

Анализ результатов группировки сельскохозяйственных организаций свидетельствует о значительной вариации показателей сезонного намолота зерна в зависимости от его урожайности в различных регионах республики. Так, например, при урожайности зерна до 4,0 т/га в сельскохозяйственных организациях Брестской области сезонный намолот составляет 752 382,36 т (17 % общего намолота зерна), Витебской – 679 570,93 т (15 %), Гомельской – 782 530,95 т (17 %), Гродненской – 551 816,99 т (12 %), Минской – 841 610,69 т (19 %) и Могилевской – 882 517,20 т (20 %). Результаты группировки хозяйств в значительной степени повлияют на формирование структуры парка зерноуборочных комбайнов на перспективу.

**Таблица 3 – Группировка сельскохозяйственных организаций по площадям уборки зерновых и зернобобовых культур и валовому намолоту зерна в зависимости от его урожайности в регионах Республики Беларусь**

Наименование области	Группировка сельскохозяйственных организаций по площадям уборки зерновых и зернобобовых культур и намолоту зерна в зависимости от его урожайности					Всего		
	урожайность до 4,0 т/га		урожайность 4,0–5,9 т/га		урожайность выше 6,0 т/га			
	площадь уборки, га	намолот зерна, т	площадь уборки, га	намолот зерна, т	площадь уборки, га	намолот зерна, т	площадь уборки, га	
Брестская	188 925	752 382,36	224 086	896 838,13	–	–	413 011	1 649 220,5
Витебская	303 246	679 570,9	–	–	–	–	303 246	679 570,9
Гомельская	373 870	782 530,9	–	–	–	–	373 870	782 530,9
Гродненская	156 318	551 816,99	127 068	669 418,5	82388	390672,8	365 774	1 611 908,3
Минская	261 725	841 610,7	181 234	8 35 177,7	59757	346363,1	502 716	2 023 151,5
Могилевская	358 080	882 517,2	–	–	–	–	358 080	882 517,2
Итого по республике	1 642 164	4 490 429,1	532 388	2 401 434,4	142145	737 035,9	2 316 697	7 628 899,4

Прогнозируемая потребность в зерноуборочных комбайнах для каждого класса их пропускной способности выполнена с учетом планируемых площадей уборки и намолота зерна в пиковый период требуемых агротехнических сроков (12 дней), продолжительности рабочей смены (10 ч), выработки комбайнов за смену и коэффициента технической их готовности – не более 0,85 (таблица 4).

Результаты прогнозирования потребности в зерноуборочных комбайнах представлены в таблице 4.

**Таблица 4 – Прогнозируемая потребность в зерноуборочных комбайнах различного класса пропускной способности для сельскохозяйственных организаций Республики Беларусь на 2026–2030 гг.**

Наименование области	Класс пропускной способности, кс/с	Диапазон урожайности, т/га	Прогнозируемая площадь уборки зерна, га	Прогнозируемые агросроки уборки зерна, дней	Выработка комбайнов за смену (10 ч), га	Расчетная потребность в комбайнах, ед.
Брестская	10–12 свыше 12	до 4,5 свыше 4,5	253 420 159 591	12 12	19,5 35,6	1084 374
Витебская	10–12 свыше 12	До 2,5 свыше 2,5	199 966 103 280	12 12	14,9 22,8	1122 378
Гомельская	10–12 свыше 12	До 2,1 свыше 2,1	217 373 156 497	12 12	15,4 33,6	1180 388
Гродненская	10–12 свыше 12	До 5,5 свыше 5,5	246 411 119 363	12 12	20,1 27,5	1024 362
Минская	10–12 свыше 12	До 4,6 свыше 4,6	377 939 146 291	12 12	19,5 26,3	1617 463
Могилевская	10–12 свыше 12	До 2,5 свыше 2,5	195 810 162 270	12 12	18,7 40,4	873 335
Итого по республике	10–12 свыше 12	–	2 316 700	–	–	6900 2300

Установлено, что для обеспечения уборки зерновых культур в агротехнические сроки на период до 2030 г., ежегодная потребность в зерноуборочных комбайнах должна быть не менее 9 200 ед., в том числе в Брестской области – 1 458 ед., Витебской – 1 500 ед., Гомельской – 1 568 ед., Гродненской – 1 386 ед., Минской – 2 080 ед. и в Могилевской – 1 208 ед. При этом средняя нагрузка уборочной площади на комбайн в пиковый период уборки не превысит 250 га. Структура и состав прогнозируемого парка машин представлены в таблице 5.

**Таблица 5 – Состав и структура прогнозируемого парка зерноуборочных комбайнов по пропускной их способности для сельскохозяйственных организаций Республики Беларусь**

Наименование области	Класс пропускной способности, кг/с	Применяемый парк комбайнов		Прогнозируемый парк комбайнов	
		наличие, ед.	в структуре парка, %	наличие, ед.	в структуре парка, %
Брестская	до 10;	126	9,3	–	–
	10–12;	1 098	80,8	1 084	74,3
	свыше 12	134	9,9	374	25,7
Витебская	до 10;	91	8,8	–	–
	10–12;	868	83,9	1 122	74,8
	свыше 12	75	7,3	378	25,2
Гомельская	до 10;	129	13,1	–	–
	10–12;	840	85,0	1 180	75,2
	свыше 12	19	1,9	388	24,8
Гродненская	до 10;	71	6,0	–	–
	10–12;	724	61,1	1 024	73,9
	свыше 12	390	32,9	362	26,1
Минская	до 10;	49	3,1	–	–
	10–12;	1 188	74,3	1 617	77,7
	свыше 12	362	22,6	463	22,3
Могилевская	до 10;	20	1,9	–	–
	10–12;	922	89,5	873	72,3
	свыше 12	88	8,6	335	27,7
Итого по республике	до 10;	486	6,8	–	–
	10–12;	5 641	78,4	6 900	75
	свыше 12	1 068	14,8	2 300	25

### **Заключение**

В результате исследований установлено, что для обеспечения уборки зерновых культур в требуемые агротехнические сроки на период до 2030 г. в сельскохозяйственных организациях потребуется использование не менее 9 200 ед. зерноуборочных комбайнов. При этом, зерноуборочные комбайны с пропускной способностью 10–12 кг/с (КЗС-10К, КЗС-1218) должны составлять не менее 75 % от общей структуры парка комбайнов (6 900 ед.) и выше 12 кг/с (КЗС-1624, КЗС-2124, КЗС-3219) – 25 % (2 300 ед.). Это позволит сократить сроки проведения уборочных работ, повысить качество уборки и снизить нагрузку уборочных площадей на комбайн в наиболее напряженный период ее проведения.

### **Список использованных источников**

1. Бакач, Н. Г. Оценка эффективности применения перспективных моделей зерноуборочных комбайнов в различных условиях сельскохозяйственных организаций / Н. Г. Бакач, В. И. Володкевич, А. В. Шах // Инновационные технологии в агропромышленном комплексе сегодня и завтра : сб. науч. ст. 8-й Междунар. науч.-практ. конф. : в 2 ч. – Гомель : Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш», 2024. – Ч. 2. – С. 185–188.

**Д. И. Комлач, Н. Г. Бакач, В. И. Володкевич, А. В. Шах**

*РУП «НПЦ НАН Беларусь по механизации сельского хозяйства»  
г. Минск, Республика Беларусь  
E-mail: shach85@mail.ru*

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБНОВЛЕНИЕ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО  
ПАРКА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ АГРОХОЛДИНГА  
«КУПАЛОВСКОЕ»**

**Аннотация.** Рассмотрены основные направления формирования перспективной структуры машино-тракторного парка сельскохозяйственных организаций на примере агрохолдинга «Купаловское» для реализации инновационных технологий производства основных видов сельскохозяйственной продукции. Представлены результаты применения инноваций в области мобильных энергетических средств, механизации процессов производства зерна, кормов из трав и силосных культур и ряда других процессов производства продукции.

**Ключевые слова:** мобильные энергетические средства, машины для обработки почвы и посева, внесения удобрений и средств защиты растений, заготовки кормов из трав и силосных культур, механизации процессов на животноводческих фермах и комплексах.

**D. I. Komlach, N. G. Bakach, V. I. Volodkevich, A. V. Shakh**

*RUE “SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization”  
Minsk, Republic of Belarus  
E-mail: shach85@mail.ru*

**TECHNOLOGICAL UPGRADE OF THE MACHINERY AND TRACTOR FLEET  
OF AGRICULTURAL ORGANIZATIONS OF THE KUPALOVSKOYE AGROHOLDING**

**Abstract.** The main directions of formation of the promising structure of the machine and tractor fleet of agricultural organizations are considered using the example of the agroholding “Kupalovskoye” for the implementation of innovative technologies for the production of the main types of agricultural products. The results of the application of innovations in the field of mobile energy means, mechanization of grain production processes, feed from grasses and silage crops and a number of other production processes are presented.

**Keywords:** mobile power equipment, machines for soil cultivation and sowing, application of fertilizers and plant protection products, preparation of forage from grasses and silage crops, mechanization of processes on livestock farms and complexes.

**Введение**

В соответствии с поручением Президента Республики Беларусь А. Г. Лукашенко от 19 августа 2024 г. № 15 ряд сельскохозяйственных организаций Шкловского района объединены в агрохолдинг «Купаловское». В состав агрохолдинга включены следующие сельскохозяйственные предприятия: ЗАО «АСБ-АгроГородец», ОАО «Александрийское», ЗАО «Большие Славени», ОАО «Любиничи-Агро», ОАО «Новогородищенское» и ОАО «Шкловский маслодельный завод». Обеспеченность предприятий агрохолдинга «Купаловское» не отвечает научно обоснованным нормам как в растениеводстве, так и в животноводстве, что негативно влияет на сроки проведения полевых работ и обеспечения технологических регламентов. В ряде хозяйств агрохолдинга потребность в энергонасыщенных тракторах мощностью более 250 л. с. составляет 70–75 %, кормоуборочных комбайнах мощностью более 450 л. с. – 65–70 %, зерноуборочных комбайнах с пропускной способностью более 12 кг/с – 60–70 %. Значительная часть техники (60–65 %) находится за пределами норм эксплуатации и требует обновления. Практически на каждом жи-

вотноводческом комплексе не обеспечивается потребность в кормораздатчиках, что приводит к нарушению режима кормления животных и неэффективному использованию кормовой базы. Поэтому требуется обновление структуры машинно-тракторного парка на основе дооснащения его более высокопроизводительными машинами под их технологическую потребность.

## Основная часть

Потребность в дооснащении машинно-тракторного парка агрохолдинга «Купаловское» определено на основе анализа природно-климатических условий его использования в хозяйствах агрохолдинга, перспективной структуры посевых площадей, планируемых объемов производства зерна и его урожайности, заготовки травянистых кормов, внесения органических и минеральных удобрений, технического состояния машинно-тракторного парка и технико-эксплуатационных показателей его использования и ряда других факторов, влияющих на формирование парка машин. В процессе выбора типа применяемых перспективных моделей машин и оборудования машинно-тракторного парка хозяйств агрохолдинга использованы рекомендации по системе перспективных машин на период до 2030 г. [1]. При проведении анализа машинно-тракторных агрегатов применены информационные методы, включающие аналитические и статистические методы обработки данных и информации, современного системного подхода.

Обновление структуры парка тракторов в организациях агрохолдинга предусматривается на основе увеличения численности энергонасыщенных тракторов с мощностью двигателя 350 л. с. и более ОАО «Минский тракторный завод» путем замены устаревших моделей этого тягового класса на более перспективные с элементами их автоматизации. Степень обновления данного класса машин за 2025–2027 гг. составит не менее 34,4 %.

Для обработки почвы и посева предусматривается дооснащение высокопроизводительными многокорпусными оборотными плугами ППО-9-45, широкозахватными почвообрабатывающими агрегатами для поверхностной обработки почвы КУМ-12, комбинированными почвообрабатывающими посевными агрегатами для подготовки почвы и посева АКПД-6Р, дисковыми агрегатами для безотвальной обработки почвы АПД-7,5М-1 и машинами для разуплотнения подпахотного ее слоя ПЧ-3Г. По ряду позиций степень обновления парка машин составит 100 %.

Для внесения удобрений предусматривается дооснащение высокоточными машинами для внесения основных и подкормочных доз минеральных удобрений с элементами системы «точного» земледелия РМУ-10, а также большегрузными машинами для внесения различных видов органических удобрений ПМФ-20 и МЖУ-20. Степень обновления парка машин составит не менее 32 %.

Для защиты растений от вредителей и сорных растений предусматривается обновление парка опрыскивателей на основе высокопроизводительных прицепных ОПШ-3000Т и самоходных машин ОВС-4224. Степень обновления парка машин составит не менее 30 %.

Для уборки зерна предусматривается дооснащение перспективными моделями зерноуборочных комбайнов ОАО «Гомсельмаш» с пропускной их способностью 12 и более кг/с GS-12A1 и GS-2124. Степень обновления парка машин составит не менее 20 %.

Для заготовки кормов из трав и силосных культур предусматривается дооснащение кормоуборочными комбайнами ОАО «Гомсельмаш» с мощностью двигателя 650 л. с. и более FS-650, а также высокопроизводительными машинами для кошения КМР-9ВТ, сгребания и ворошения трав ТВБ-6,2, подбора и их прессования ПРП-160-1К, транспортировки к местам закладки на хранение (СТС-12).

Для погрузки основных сельскохозяйственных грузов предусматривается дооснащение высокопроизводительными погрузчиками «АМКОДОР» со сменными адаптерами АМКОДОР-352С-02.

Для увеличения объемов перевозки сельскохозяйственных грузов предусматривается обновление парка транспортных средств на основе применения большегрузных автомобилей МАЗ-650128-585-000 и прицепов к ним (МАЗ-856100-4022).

Обновление структуры парка машин и оборудования для нужд животноводства и птицеводства предусматривается на основе дооснащения молочно-товарных ферм и комплексов высо-

копроизводительным оборудованием для приготовления и раздачи кормов СРК-12В, автоматизированного смешивания и раздачи их на обе стороны кормового стола Матрикс-17В, а также транспортными средствами для перевозки комбикормов ЗСК-Ф-10А, инкубационных яиц и цыплят АФИК-5340, прицепов для перевозки скота АПС-552400.

Результаты обновления сельскохозяйственных организаций агрохолдинга «Купаловское» перспективными машинами и оборудованием представлены в таблице.

#### **Обновление агрохолдинга «Купаловское» перспективными машинами и оборудованием**

Наименование машин и оборудования	Наличие в парке машин и оборудования, ед.	в том числе со сверхнормативным сроком эксплуатации	Обновление парка машин и оборудования в 2025–2027 гг.		
			потребность в приобретении, ед.	предпочтительные марки машин	степень обновления парка машин, %
Тракторы с мощностью двигателя 250 л. с. и более	61	21	19	БЕЛАРУС-3522	34,4
Плуги обратные многокорпусные (9 и более)	26	6	11	ППО-9-45	15,4
Плуги чизельные	–	–	2	ПЧ-3Г	100
Культиваторы широкозахватные	24	4	7	КУМ-12	29,2
Комбинированные почвообрабатывающие-посевные агрегаты	13	7	2	АКПД-6Р	30,8
Машины для внесения твердых минеральных удобрений	24	6	8	РМУ-10	37,5
Машины для внесения твердых органических удобрений	38	6	12	ПМФ-20	31,6
Машины для внесения жидких органических удобрений	16	10	16	МЖТ-Ф-11, МЖУ-20	100
Опрыскиватели самоходные высококлиренсные	–	–	4	ОВС-4224	100
Опрыскиватели прицепные	17	4	5	ОПШ-3000Т	29,4
Комбайны зерноуборочные	55	9	10	GS12A1, GS2124	18,2
Косилки тракторные шириной захвата 8 м и более	14	–	7	КМР-9ВТ	50,0
Грабли тракторные	20	1	4	ГВБ-6,2	25,0
Пресс-подборщики для прессования сена и соломы	31	6	8	ППРО-155	25,8
Комбинированные пресс-подборщики типа «Торнадо»	8	–	4	ПРП-160-1К	62,5
Комбайны кормоуборочные	22	6	5	FS650	22,7
Прицепы тракторные специальные	48	12	29	ПС-60, АМКОДОР STS102P CTC-12	64,6
Автомобили-самосвалы	36	13	13	МАЗ-650128-585-000	41,7

*Окончание таблицы*

Наименование машин и оборудования	Наличие в парке машин и оборудования, ед.	в том числе со сверхнормативным сроком эксплуатации	Обновление парка машин и оборудования в 2025–2027 гг.		
			потребность в приобретении, ед.	предпочтительные марки машин	степень обновления парка машин, %
Прицепы автомобильные самосвальные	–	–	13	МАЗ-856100-4022	100
Кормораздатчики – смесители прицепные	34	6	10	СРК-12В	29,4
Смесители-кормораздатчики самоходные (с раздачей кормов на обе стороны)	–	–	1	«Матрикс» 17В	100
Автомобили для перевозки сухих кормов	–	–	6	ЗСК-Ф-10А	100
Автомобили для перевозки инкубационных яиц и цыплят	–	–	2	АФИК- 5340	100
Полуприцепы-скотовозы	–	–	1	АПС552400	100

### **Выходы**

Расчеты показывают, что обновление структуры машинно-тракторного парка агрохолдинга «Купаловское» перспективными машинами и оборудованием позволит сократить сроки проведения обработки почвы и посева на 15–20 %, ухода за растениями в период вегетации и заготовки травянистых кормов – на 20–25 %, уборки урожая зерна – на 15–20 %.

### **Список использованных источников**

1. Система перспективных машин и оборудования для реализации эффективных технологий производства и первичной переработки основных видов продукции растениеводства и животноводства на 2021–2025 гг. и на период до 2030 г. : методич. рекомендации / НАН Беларуси [и др.]. – Минск : Беларус. наука, 2024. – 118 с.

**Н. Г. Бакач, А. А. Жешко, В. И. Володкевич, А. В. Шах**

*РУП «НПЦ НАН Беларусь по механизации сельского хозяйства»  
г. Минск, Республика Беларусь  
E-mail: shach85@mail.ru*

**МЕТОДИКА РАСЧЕТА ТЕХНИКО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ  
К ОПРЕДЕЛЕНИЮ МАКСИМАЛЬНОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ  
ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ**

*Аннотация.* В статье приведена методика расчета технико-эксплуатационных показателей к определению максимальной производительности зерноуборочных комбайнов в различных условиях уборки зерна в сельскохозяйственных организациях.

*Ключевые слова:* самоходные зерноуборочные комбайны, производительность, сопротивление перемещению, затраты мощности, пропускная способность, скорость движения.

**N. G. Bakach, A. A. Zheshko, V. I. Volodkevich, A. V. Shakh**

*RUE “SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization”  
Minsk, Republic of Belarus  
E-mail: shach85@mail.ru*

**METHODOLOGY FOR CALCULATING TECHNICAL AND OPERATIONAL INDICATORS  
TO DETERMINE THE MAXIMUM CAPACITY OF GRAIN HARVESTERS**

*Abstract.* The article provides a methodology for calculating technical and operational indicators to determine the maximum capacity of grain harvesters in various conditions of grain harvesting in agricultural organizations.

*Keywords:* self-propelled grain harvesters, capacity, resistance to movement, power consumption, throughput, and speed.

**Введение**

Сельскохозяйственным предприятиям Республики Беларусь предлагаются разнообразные по параметрам зерноуборочные комбайны. Наибольшее распространение получили комбайны производителей ОАО «Гомсельмаш», АО «Ростсельмаш», CLAAS, John Deere, New Holland. Данные компании, производящие зерноуборочные комбайны, предоставляют обширную информацию о выпускаемой продукции. В основном это рекламное описание преимуществ предлагаемых комбайнов и показателей их технических характеристик.

Потребителей машин, прежде всего, интересует их максимальная производительность на уборке зерновых культур в условиях сельхозпредприятия [1]. Это объясняется тем, что производительность одного и того же типа комбайна может значительно отличаться в зависимости от конкретных условий уборки. Поэтому сложившаяся ситуация ставит потребителя в затруднительное положение при выборе необходимой техники с учетом определенных условий. В этой связи актуальными являются результаты исследований, позволяющие определить максимальную производительность зерноуборочных комбайнов на основе расчета технико-эксплуатационных показателей их работы в различных условиях сельскохозяйственных организаций.

В РУП «НПЦ НАН Беларусь по механизации сельского хозяйства» проведены исследования по определению технико-эксплуатационных показателей применения зерноуборочных комбайнов в реальных условиях эксплуатации [2] и, с учетом полученных результатов, предлагается методика определения максимальной их производительности.

## Основная часть

Максимальную производительность зерноуборочных комбайнов предлагается определять на основе последовательного расчета их технико-эксплуатационных показателей с учетом условий использования.

Так, сопротивление перемещению комбайна с учетом веса зерна в бункере можно определить по формуле [3; 4]:

$$R_{kmb} = (G_{kmb} + G_{zer}) \left( f_{kmb} + \frac{i}{100} \right) = (G_{kmb} + 10V\gamma\lambda) \left( f_{kmb} + \frac{i}{100} \right), \quad (1)$$

где  $G_{kmb}$  – вес комбайна, кН;  $G_{zer}$  – вес зерна в бункере, кН;  $f_{kmb}$  – коэффициент сопротивления качению ходовых колес комбайна;  $V$  – объем бункера зерноуборочного комбайна, м<sup>3</sup>;  $\gamma$  – плотность материала, т/м<sup>3</sup>;  $\lambda$  – коэффициент использования грузоподъемности.

Затраты мощности на привод механизмов комбайна можно определить по формуле:

$$N_{priv} = N_{ud}q_d + N_{prx} + N_{prd}, \quad (2)$$

где  $N_{ud}$  – удельные затраты мощности на технологический процесс, кВт/кг×с;  $q_d$  – действительная пропускная способность комбайна, кг/с;  $N_{prx}$  – затраты мощности на холостой ход механизмов, кВт;  $N_{prd}$  – затраты мощности на привод вспомогательных узлов (гидропривод и др.), кВт.

Фактическую пропускную способность комбайна можно определить по формуле:

$$q_d = 0,6a_1q_H \left( 1 + b_1 \frac{H-4}{4} \right) \left( 1 + \frac{1}{\delta_2} \right) \left[ 1 - 0,03(W_\phi - 15) \right], \quad (3)$$

где  $a_1$  – коэффициент, учитывающий обмолачиваемость культур;  $q_H$  – номинальная пропускная способность, кг/с;  $b_1$  – коэффициент, учитывающий тип молотильного аппарата;  $\delta_2$  – доля побочной продукции (соломы, половы);  $H$  – урожайность, т/га;  $W_\phi$  – фактическая влажность хлебной массы, %.

Рабочую скорость, исходя из пропускной способности молотилки комбайна, определим по формуле [3; 4]:

$$v_{pmax}^q = \frac{10 \cdot q_d}{B_p \cdot H} = \frac{10 \cdot q_d}{B \cdot \beta \cdot H}, \quad (4)$$

где  $q_d$  – действительная пропускная способность комбайна, кг/с;  $B_p$  – рабочая ширина захвата, м;  $B$  – конструктивная ширина захвата, м;  $\beta$  – коэффициент использования конструктивной ширины захвата.

Максимальную возможную скорость движения комбайна по загрузке двигателя определим по формуле [3; 4]:

$$v_{pmax}^{Ne} = \frac{\left( N_{eH} \eta_{Ne} - \frac{N_{priv}}{\eta_{priv}} \right) \cdot \eta_{MG} \cdot \eta_\delta \cdot \eta_{RP} \cdot \eta_{GP}}{R_{kmb}}, \quad (5)$$

где  $N_{eH}$  – номинальная мощность двигателя, кВт;  $\eta_{Ne}$  – допустимый коэффициент загрузки двигателя;  $N_{priv}$  – мощность, затрачиваемая на привод механизмов, кВт;  $\eta_{priv}$  – КПД ВОМ;  $\eta_{MG}$  – КПД трансмиссии;  $\eta_\delta$  – КПД буксования;  $\eta_{RP}$  – КПД клиноременной передачи;  $\eta_{GP}$  – КПД гидропривода;  $R_{kmb}$  – сопротивление комбайна на рабочем ходу, кН.

Рабочую скорость движения комбайна необходимо выбирать из условий по формуле:

$$\begin{aligned} v_{pmax}^q &\geq v_p \leq v_{pmax}^{Ne}; \\ v_{pmin}^{arg} &\leq v_p \leq v_{pmax}^{arg}. \end{aligned} \quad (6)$$

Мощность, с которой загружен двигатель комбайна на рабочем и холостом ходах, вычисляется по формуле [3; 4]:

$$N_{ep} = \frac{R_{kmb} \cdot v_p}{\eta_{MG} \cdot \eta_{\delta} \cdot \eta_{RP} \cdot \eta_{GP}} + N_{priv} / \eta_{priv}, \quad (7)$$

$$N_{ex} = \frac{R_{kmb} \cdot v_p}{\eta_{MG} \cdot \eta_{\delta} \cdot \eta_{RP} \cdot \eta_{GP}}. \quad (8)$$

Правильность выбора рабочей скорости по коэффициентам загрузки двигателя на рабочем и холостом ходах оценивается по формуле:

$$\eta_{Ne}^P = N_{ep} / N_{eH}, \quad (9)$$

$$\eta_{Ne}^X = N_{ex} / N_{eH}. \quad (10)$$

Коэффициент рабочих ходов для кругового способа движения зерноуборочного комбайна определим по формуле [3; 4]:

$$\phi = \frac{LC}{L(C + 0,5B_p) + (6R_o + 2e)(2R_o - B_p)}, \quad (11)$$

где  $L$  – длина гона, м;  $C$  – ширина рабочего участка, м;  $R_o$  – радиус поворота комбайна, м;  $e$  – длина выезда, м.

Длину пути между технологическими остановками комбайна определим из выражения:

$$l_{OCT} = \frac{10^4 \cdot V \cdot \gamma \cdot \lambda}{B_P \cdot H}. \quad (12)$$

Время технологического цикла определим по формуле:

$$t_{Ц} = \frac{10^{-3}}{3,6} \cdot \left( \frac{l_{OCT}}{v_p \cdot \phi} + 60 \cdot t_{O1} \right), \quad (13)$$

где  $t_{O1}$  – время между технологическими остановками, мин.

Количество циклов работы комбайна за смену определим по формуле [3; 4]:

$$n_{Ц} = \frac{T - t_2 - t_5 - t_6}{t_{Ц}} = \frac{T - t_2 - t_5 - (t_{ETO} + t_{PP} + t_{PH} + t_{PNK})}{t_{Ц}}, \quad (14)$$

где  $T$  – общее время смены, ч;  $t_2$  – время на техническое обслуживание, ч;  $t_5$  – время регламентированных перерывов на отдых и личные надобности, ч;  $t_6$  – подготовительно-заключительное время, ч;  $t_{ETO}$  – время на проведение ЕТО агрегата, принимаем, ч;  $t_{PP}$  – время на подготовку агрегата к переезду, ч;  $t_{PH}$  – время на получение наряда и сдачу работы, ч;  $t_{PNK}$  – время переездов, ч.

Время чистой работы (уборка зерновых культур) определим по формуле [3; 4]:

$$T_p = \frac{l_{OCT} n_{Ц}}{3600 v_p}. \quad (15)$$

Действительное время смены определим по формуле:

$$T_D = T_p + t_2 + t_5 + t_6. \quad (16)$$

Коэффициент использования времени смены определим по формуле:

$$\tau = T_p / T_D. \quad (17)$$

Производительность работы комбайна за цикл определим по формуле:

$$W_{Ц} = l_{OCT} \cdot B_P / 10^4. \quad (18)$$

Производительность работы комбайна за час определим по формуле:

$$W_{\text{ч}} = 0,36 \cdot B_p \cdot v_p \cdot \tau. \quad (19)$$

Производительность работы комбайна за смену определим по формуле:

$$W_{\text{СМ}}^{\Delta} = 0,36 \cdot B_p \cdot v_p \cdot T_p. \quad (20)$$

Расход топлива во время остановок  $G_{\text{ТО}}$  на холостом ходу двигателя комбайна  $G_{\text{ХД}}$  определим по формуле:

$$G_{\text{ТО}} = (0,12 \dots 0,15) G_{\text{TH}}, \quad G_{\text{ХД}} = 0,3 \cdot G_{\text{TH}}, \quad (21)$$

где  $G_{\text{TH}}$  – номинальный часовой расход топлива комбайном, кг.

Часовой расход топлива по режимам работы двигателя комбайна определим по формуле [3; 4]:

$$G_{\text{TP}} = G_{\text{ХД}} + (G_{\text{TH}} - G_{\text{ХД}}) \frac{N_{\text{ep}}}{N_{\text{ен}}}, \quad (22)$$

$$G_{\text{TX}} = G_{\text{ХД}} + (G_{\text{TH}} - G_{\text{ХД}}) \frac{N_{\text{ex}}}{N_{\text{ен}}}, \quad (23)$$

где  $G_{\text{ХД}}$  и  $G_{\text{TH}}$  – максимальный расход топлива на холостом ходу двигателя и на номинальном режиме, кг/ч.

Удельный расход топлива двигателя комбайна определим по формуле:

$$Q = \frac{G_{\text{TP}} \cdot T_p + G_{\text{TX}} \cdot t_X + G_{\text{TO}} \cdot t_O}{W_{\text{CM}}}, \quad (24)$$

где  $T_p$ ,  $t_X$  и  $t_O$  – время работы на рабочем режиме, на холостом ходу и на остановках, ч.

Время цикла транспортного агрегата определим по формуле [3; 4]:

$$\begin{aligned} t_{\text{ЦТР}} &= t_{\text{ГР}} + t_{\text{ХХ}} + t_{\text{ПОГР}} + t_{\text{РАЗГР}} + t_{\text{ДОП}} = \\ &= l_{\text{ГР}} / v_{\text{ГР}} + l_{\text{ГР}} / v_{\text{ХХ}} + t_{\text{ПОГР}} + t_{\text{РАЗГР}} + t_{\text{ДОП}}, \end{aligned} \quad (25)$$

где  $t_{\text{ГР}}$  – время движения агрегата с грузом, ч;  $t_{\text{ХХ}}$  – время холостого движения, ч;  $t_{\text{ПОГР}}$  – время выгрузки зерна из бункера комбайна, ч;  $t_{\text{РАЗГР}}$  – время разгрузки, ч;  $t_{\text{ДОП}}$  – дополнительное время (маневрирование), ч;  $l_{\text{ГР}}$  – расстояние перевозки, км;  $v_{\text{ГР}}$ ,  $v_{\text{ХХ}}$  – соответственно, скорость движения транспортного средства с грузом и холостого движения, км/ч.

Необходимое количество транспортных агрегатов для отвозки зерна от комбайна определим по формуле [3; 4]:

$$m_X = t_{\text{ЦТР}} / t_{\text{ОСТ}}. \quad (26)$$

Для определения максимальной производительности комбайна используем формулу, полученную путем подстановок выражений (12) – (17) в формулу (19):

$$W_{\text{ч}} = \frac{3600 \gamma \lambda V (T - t_2 - t_5 - (t_{\text{ETO}} + t_{\text{ПП}} + t_{\text{ПН}} + t_{\text{ПНК}}))}{HT \left( \frac{10^4 \gamma \lambda V}{\beta BH v_p \phi} + 60 t_{o1} \right)}. \quad (27)$$

Результаты расчета максимальной производительности зерноуборочного комбайна в графическом виде представлены на рисунках 1; 2.

Анализ результатов расчета производительности зерноуборочного комбайна в зависимости от его технико-эксплуатационных показателей (рисунки 1; 2) показывает, что с увеличением рабочей скорости до агротехнически допустимой (1,4–1,8 м/с) увеличивается и его производительность. На увеличение производительности зерноуборочных комбайнов (от 2,0 до 2,6 га/ч) существенно оказывает влияние ширина захвата применяемой жатки (от 7 до 9 м).

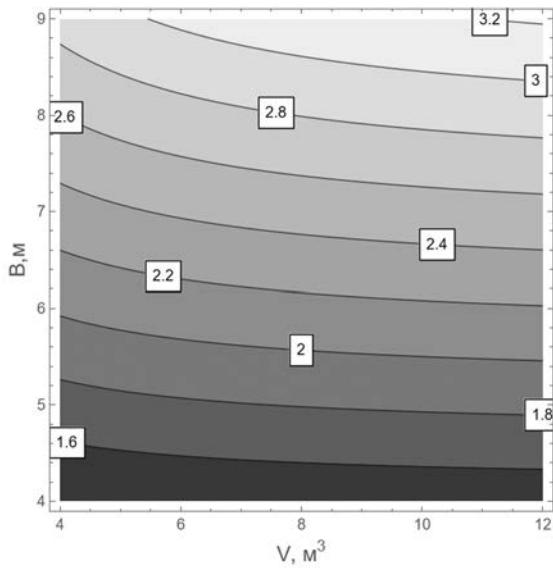


Рисунок 1 – Контурный график зависимости максимальной производительности зерноуборочного комбайна от ширины захвата жатки и вместимости бункера

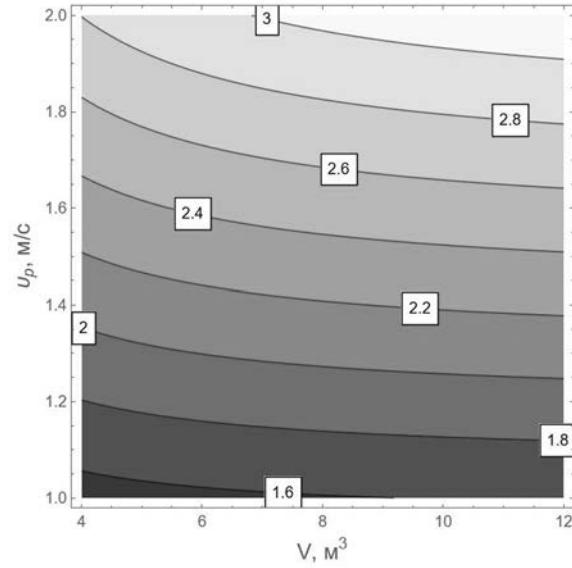


Рисунок 2 – Контурный график зависимости производительности зерноуборочного комбайна от рабочей скорости движения и объема бункера

### Заключение

Максимальная производительность зерноуборочных комбайнов достигается при рациональном сочетании ширины захвата жатки, вместимости бункера и их рабочей скорости, что позволяет обеспечить уборку зерна в требуемые агротехнические сроки.

### Список использованных источников

1. Ерохин, Г. Н. Моделирование производительности зерноуборочных комбайнов / Г. Н. Ерохин, А. А. Беляев / Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве : материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 22–23 окт. 2020 г. / редкол.: П. П. Казакевич (гл. ред.), Е. В. Корзун. – Минск : Беларус. наука, 2020. – С. 41–44.
2. Бакач, Н. Г. Оценка эффективности применения перспективных моделей зерноуборочных комбайнов в различных условиях сельскохозяйственных организаций / Н. Г. Бакач, В. И. Володкович, А. В. Шах // Инновационные технологии в агропромышленном комплексе – сегодня и завтра : сб. науч. ст. 8-й Междунар. науч.-практ. конф. : в 2 ч. – Гомель : Гомсельмаш, 2024. – Ч. 2. – С. 185–188.
3. Технологии и техническое обеспечение производства продукции растениеводства. Курсовое проектирование : учеб. пособие / сост.: Т. А. Непарко, Д. А. Жданко, А. В. Нагорный ; под ред. Т. А. Непарко. – Минск : БГАТУ, 2022. – 268 с.
4. Непарко, Т. А. Производственная эксплуатация машинно-тракторного парка. Практикум : учеб. пособие / Т. А. Непарко, Д. А. Жданко, И. Н. Шило ; под ред. Т. А. Непарко. – Минск : БГАТУ, 2021. – 192 с.

**Н. Д. Лепешкин<sup>1</sup>, В. В. Микульский<sup>1</sup>, В. В. Мижурин<sup>1</sup>, Ю. В. Синяк<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>РУП «НПЦ НАН Беларусь по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: mehposev@mail.ru

<sup>2</sup>УО «Белорусский государственный аграрный университет»

г. Минск, Республика Беларусь

## **ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИЙ И ПОСЕВНОЙ КОМПЛЕКС МАШИН ДЛЯ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОИЗВОДСТВА ЗЕРНА В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ**

*Аннотация.* В статье рассмотрены особенности и преимущества новых машин для ресурсосберегающих технологий обработки почвы и посева, разработанных в РУП «НПЦ НАН Беларусь по механизации сельского хозяйства». Приведены сведения о назначении, устройстве, рабочих органах, результатах испытаний, а также о примененных при разработке этих машин инновационных решениях. Определены направления их дальнейшего совершенствования.

*Ключевые слова:* поверхностная обработка почвы, основная обработка почвы, предпосевная обработка почвы, посев, почвообрабатывающий агрегат, сеялка, почвообрабатывающе-посевной агрегат, патенты.

**N. D. Lepeshkin<sup>1</sup>, V. V. Mikulsky<sup>1</sup>, V. V. Mzhurin<sup>1</sup>, Y. V. Sinyak<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>SUE “SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization”

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: mehposev@mail.ru

<sup>2</sup>EI “Belarusian State Agrarian Technical University”

Minsk, Republic of Belarus

## **SOIL CULTIVATION AND SEEDING COMPLEX OF MACHINES FOR RESOURCE-SAVING TECHNOLOGIES OF GRAIN PRODUCTION IN THE REPUBLIC OF BELARUS**

*Abstract.* The article shows the features and advantages of new machines for resource-saving technologies of soil cultivation and sowing, developed by the RUE “SPC of the NAS of Belarus for agricultural mechanization”. The information is provided on their purpose, design, working bodies, test results, as well as on innovative solutions used in the development of these machines. Directions for their further improvement are defined.

*Keywords:* surface tillage, primary tillage, pre-sowing tillage, sowing, tillage unit, seeder, tillage-seeding unit, patents.

### **Введение**

В соответствии с Государственной программой «Аграрный бизнес» на 2021–2025 гг., утвержденной Постановлением Совета Министров Республики Беларусь 1 января 2021 г. № 59, важнейшей задачей агропромышленного комплекса республики является обеспечение производства не менее 10 млн т зерна и урожайности зерновых не менее 40 ц/га. При этом рентабельность продаж должна быть не менее 10 % и достигаться за счет внедрения ресурсосберегающих технологий, обеспечивающих сокращение материальных и трудовых затрат, снижения себестоимости, улучшения качества продукции. Это в полной мере касается и технологий обработки почвы и посева. Поэтому в последние годы в республике начали применяться технологии, направленные на уменьшение интенсивности механической обработки почвы, в которых минимизация осуществляется по таким основным направлениям, как замена вспашки безотвальными обработками, сокращение числа и глубины обработок, совмещение нескольких технологических операций в одном технологическом процессе.

Достоинством этих обработок наряду с уменьшением затрат энергии и труда является и то, что при их использовании предотвращается водная и ветровая эрозия почвы, снижаются уплотнение и потеря влаги. Поэтому необходимость применения технологий минимальной обработки почвы предусмотрена и в Национальном плане действий по предупреждению деградации земель (почв) на 2021–2025 гг. (п. 19), утвержденном Постановлением Совета Министров Республики Беларусь 16 июня 2021 г. № 341.

В связи с внедрением в производство ресурсосберегающих технологий обработки почвы и посева потребовалась и разработка новых технических средств для их осуществления.

Для технического обеспечения минимальных обработок почвы и посева в республике создан новый комплекс высокопроизводительных машин, в который входит и ряд машин, разработанных с участием РУП «НПЦ НАН Беларусь по механизации сельского хозяйства».

Цель работы – показать особенности и преимущества созданных машин, дать сведения о назначении, устройстве, рабочих органах и инновационных решениях, использованных при их разработке, а также показать перспективные направления совершенствования их конструкций.

## Основная часть

РУП «НПЦ НАН Беларусь по механизации сельского хозяйства» совместно с ОАО «БЭМЗ», ОАО «Бобруйсксельмаш», ОАО «Щучинский ремонтный завод», ОАО «Витебский мотороремонтный завод», ОАО «Лидагропроммаш», ГП «Экспериментальный завод», ООО «Биоком Технология» и другими разработан и создан комплекс комбинированных машин для ресурсосберегающих технологий обработки почвы и посева, включающий машины для поверхностной, основной, предпосевной обработки почвы и посева зерновых культур.

В основу создания перспективного технологического комплекса машин для ресурсосберегающей обработки почвы и посева был положен принцип повышения качества и производительности выполняемых работ при снижении затрат ресурсов и вредного воздействия на почву.

При создании новых машин предусматривалось:

- совмещение технологических операций;
- расширение функциональных возможностей и адаптированности машин к различным природно-производственным условиям за счет использования сменных рабочих органов и блочно-модульной конструкции машин;
- увеличение ширины захвата, скорости движения и диапазона регулировок;
- сокращение непроизводительных затрат времени на повороты, перевод из транспортного положения в рабочее и наоборот, загрузку посевным материалом, а также на контроль за процессом их работы;
- максимально возможная равномерность рыхления почвы и распределения семян при посеве по глубине и площади поля;
- соответствие лучшим мировым образцам.

Для выполнения поверхностных обработок (до 12 см) агрофонов после уборки различных культур разработан агрегат почвообрабатывающий дисковый АПД-6 (рисунок 1, а).

Отличительной особенностью агрегата является то, что его дисковые рабочие органы установлены на индивидуальной подвеске, имеют пружинную защиту и регулируемые углы атаки и крена. Благодаря этому агрегат наиболее полно отвечает технологическим требованиям при обработке различных агрофонов в системах отвального и безотвального земледелия. Конструкция агрегата защищена патентом Республики Беларусь [1].

Однако практика использования таких агрегатов показала, что их минимальная глубина обработки составляет 6–8 см. Поэтому при лущении стерни такими агрегатами после уборки мелкосемянных культур, где для полного провоцирования всходов падалицы минимальная глубина обработки должна составлять 3 см, в последующих посевах основной культуры всходят семена таких предшественников, как рапс и просо. С учетом сказанного для лущения стерни и других мелких обработок почвы, в том числе и мульчирующих, на основе проведенных исследований и зарубежного опыта разработан лущильник дисковый с двухрядным расположением рабочих органов, выполненных по ромбовидной схеме, ЛДР-9 (рисунок 1, б).



*a*



*б*

Рисунок 1 – Агрегаты для поверхностной обработки почвы:  
*a* – агрегат почвообрабатывающий дисковый АПД-6; *б* – лущильник дисковый ромбовидный ЛДР – 9

Отличительной особенностью лущильника ЛДР-9 является то, что здесь в качестве рабочих органов используются литые сферические диски, имеющие внутри крючок, а снаружи проушины. Это позволяет собирать диски в батареи в виде цепей, которые и обеспечивают равномерную по ширине захвата глубину обработки от 3 см.

Конструкция лущильника ЛДР-9 защищена патентом Республики Беларусь [2]. В настоящее время завершается разработка аналогичного агрегата шириной захвата 12 м.

Наряду с агрегатами с дисковыми рабочими органами для более глубокой обработки почвы (до 16 см) разработаны чизельно-дисковые почвообрабатывающие агрегаты КЧД-6 и АКМ-6 (рисунок 2).

Основными отличительными признаками, характеризующими их конструктивно-технологические схемы, по сравнению с ранее применяемыми для такой обработки почвы чизельными культиваторами типа КЧ-5,1 – КЧ-5,4 является то, что установленный дополнительный один ряд дисков (КЧД-6) или два ряда (АКМ-6) позволяют агрегатам за один проход по полю выполнять приемы как мелкой мульчирующей обработки почвы, так и более глубокой чизельной обработки. Конструкции агрегатов защищены патентами Республики Беларусь [3; 4].

Для безотвальной обработки почвы на глубину до 30 см с мульчированием, выравниванием и прикатыванием поверхности поля разработан агрегат АБТ-4 (рисунок 3).

Новизна технических решений, примененных в агрегате, защищена патентом Республики Беларусь [5] и евразийскими патентами [6; 7; 8].

Наряду с указанными чизельно-дисковыми агрегатами, конструктивные схемы которых предусматривают бессменную установку на раме дисковых и рыхлительных рабочих органов, разработан также многофункциональный агрегат АПМ-6 (рисунок 4) и его модификация для работы в системе почвозащитного земледелия АПМ-6А, в котором возможна смена мест установки на несущей раме дисковых и рыхлительных рабочих органов, что позволяет устанавливать на агрегате в зависимости от почвенных условий и фона рыхлительные рабочие органы после дисков и наоборот, а также заменять их сменными блоками рабочих органов.



*a*



*b*

Рисунок 2 – Агрегаты с чизельно-дисковыми рабочими органами:  
*a* – чизельно-дисковый культиватор КЧД-6; *b* – агрегат для минимальной обработки почвы АКМ-6



Рисунок 3 – Агрегат для безотвальной обработки почвы АБТ-4



Рисунок 4 – Агрегат почвообрабатывающий многофункциональный АПМ-6  
в комплектации с дисковыми и лаповыми рабочими органами

Схемы комплектации сменными блоками рабочих органов для выполнения различных технологических процессов обработки почвы в системе традиционного и почвозащитного земледелия представлены на рисунке 5.

№	Технологический процесс	Схема расстановки секций рабочих органов			
		В системе традиционного земледелия			
1	Лущение жнивья, обработки пласта трав, сидератов и промежуточных культур (глубина обработки 6-12 см)				
		сферический диск	волнистый диск	каток с зубчатыми дисками	
2	Обработка полей на зябь, а также зяби под посев пропашных: свеклы, картофеля, кукурузы (глубина обработки 12-25 см)				
		сферический диск	рыхлительная лапа	выравниватель	каток с зубчатыми дисками
3	Послеуборочная обработка агрофонов высокостебельных культур: кукурузы, рапса, зеленых удобрений				
		спирально-ножевой каток	сферический диск	спирально-планчатый каток	
В системе почвозащитного земледелия					
1	Для послеуборочной мульчирующей обработки почвы на глубину 8-10 см, а также обработки почвы по мере прорастания сорняков или предпосевной обработки на глубину 6-8 см				
		волнистый диск	игольчатый диск	спирально-планчатый каток	
2	Для мульчирующей обработки стерневых агрофонов на зябь (глубина обработки 12-25 см)				
		игольчатый диск	рыхлительная лапа	выравниватель	спирально-планчатый каток
3	Послеуборочная обработка агрофонов высокостебельных культур: кукурузы, рапса, зеленых удобрений	Схема расстановки секций рабочих органов та же, что и в системе традиционного земледелия (№ 3)			

Рисунок 5 – Схема комплектации агрегата АПМ-6 (АПМ-6А)

Агрегат способен работать практически на всех типах почв и выполнять все технологические операции обработки почвы в севообороте как в отвальной, так и безотвальной системах земледелия. Это достигается благодаря набору рабочих органов и блочно-модульной конструкции, обеспечивающей возможность путем несложной перестановки блоков рабочих органов местами или замены их сменными блоками составлять технологические схемы агрегата, наиболее полно отвечающие технологическим процессам обработки различных агрофонов. Эта основная его отличительная особенность перед всеми известными почвообрабатывающими орудиями отечественного и зарубежного производства.

Новые технические решения, примененные в агрегате, защищены патентами Республики Беларусь [9; 10; 11].

Для предпосевной подготовки разработаны агрегаты АКШ-6-02 (рисунок 6, а) и АКШ-9 (рисунок 6, б) с пассивными рабочими органами, а также агрегат с активными рабочими органами АКП-6 (рисунок 6, в).

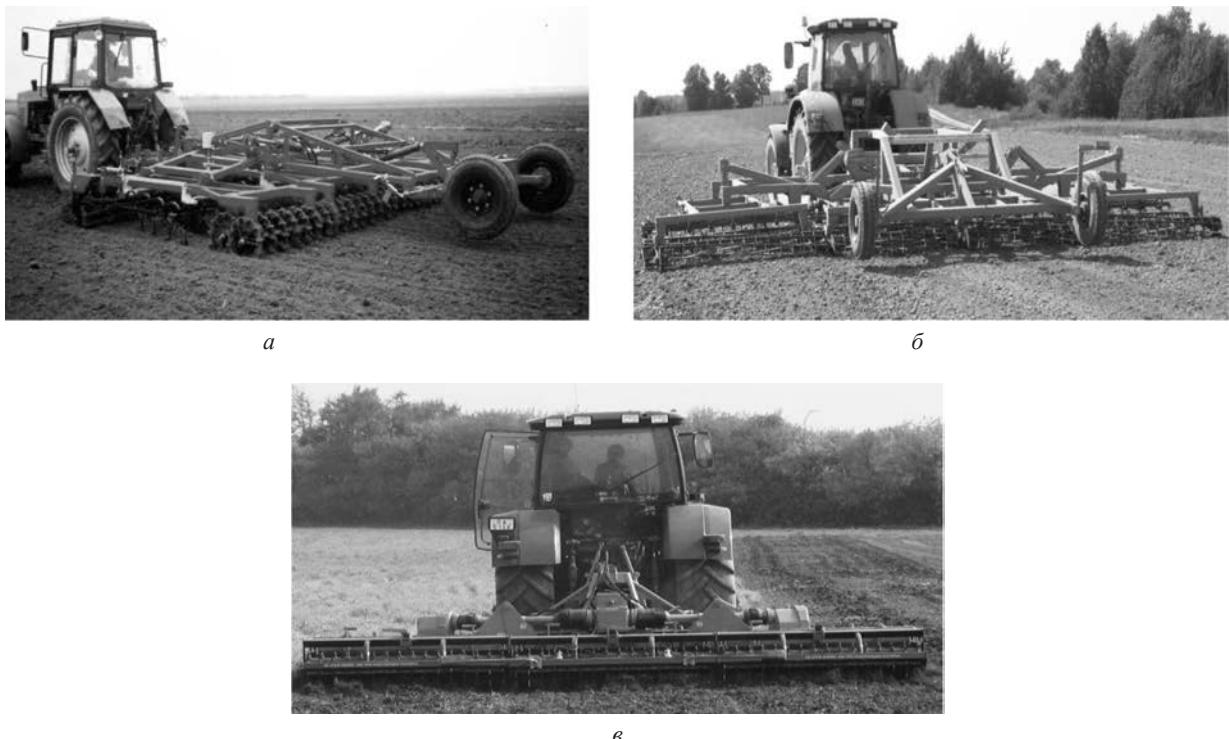


Рисунок 6 – Агрегаты для предпосевной обработки почвы: *а* – агрегат для предпосевной обработки почвы АКШ-6-02; *б* – агрегат для предпосевной обработки почвы АКШ-9; *в* – агрегат для предпосевной обработки почвы с активными рабочими органами АКП-6

За один проход по полю агрегаты выполняют рыхление, крошение, выравнивание и поду-плотнение почвы, т. е. создают семенное ложе необходимых параметров.

Отличительной особенностью модификации агрегата почвообрабатывающего АКШ-6-02 является то, что он оборудуется рыхлителями следа колес трактора, выравнивателями с ножевидными зубьями, одним рядом спирально-планчатых катков, стрельчатыми рыхлительными лапами (100 мм) на усиленных пружинных стойках и двумя рядами кольчато-шпоровых катков, что повышает качество обработки почвы, особенно под посев мелкосемянных культур.

Отличительной особенностью агрегата АКП-6 является то, что для регулирования в конкретных условиях качества обработки почвы в его конструкции предусмотрен механизм изменения скорости вращения роторов. Кроме того, конструкция ножей и механизм их установки на роторах обеспечивают защиту ножей при встрече с препятствием. Агрегат может использоваться в виде сменного адаптера в почвообрабатывающе-посевных агрегатах.

Для обеспечения посева по подготовленной почве разработана пневматическая сеялка С-9 (рисунок 7), которая предназначена для рядового посева семян зерновых, колосовых, среднесеменных зернобобовых (горох, люпин), трав и других, аналогичных по норме высева и глубине заделки семян.



Рисунок 7 – Сеялка пневматическая С-9

Отличительные особенности сеялки: можно применять как в отвальной, так и безотвальной (почвозащитной) системах обработки почвы, равномерно распределяет вес по всей ширине захвата (независимо от заполнения бункера), имеет давление на сошник 160 кг, оснащена более совершенным запатентованным устройством для пневматического высева семян, обеспечивающим более равномерное распределение семян между сошниками [12].

Для совмещенного посева, который осуществляется одновременно с предпосевной обработкой почвы, разработаны почвообрабатывающие-посевные агрегаты АППА-6, АППА-6-01, АППА-6-02, АППА-6-03 (рисунок 8) и агрегат АПП-9 (рисунок 9).

Отличительными особенностями этих агрегатов является то, что с целью адаптации к различным фонам и почвам в их конструкции применен модульный принцип построения, позволяющий мобильно переоборудовать агрегаты сменными рабочими органами (модулями) как для обработки почвы, так и для посева, что обеспечивает их многофункциональность и адаптированность к различным природно-производственным условиям.



*a*



*б*



*в*



*г*

Рисунок 8 – Почвообрабатывающе-посевной агрегат АППА со сменными почвообрабатывающими рабочими органами: *а* – АППА-6 с активными (роторными) рабочими органами; *б* – АППА-6-01 с пассивными лаповыми рабочими органами; *в* – АППА-6-02 с пассивными ножевидными рабочими органами; *г* – АППА-6-03 с пассивными дисковыми рабочими органами



Рисунок 9 – Почвообрабатывающе-посевной агрегат (АПП-9)

Такое конструктивное решение позволяет изготавливать почвообрабатывающие секции (модули) в виде навесных почвообрабатывающих машин, укомплектованных лаповыми, дисковыми, ножевидными и другими рыхлительными рабочими органами, при этом прикатывающий каток, используемый в этих машинах, также может иметь различный тип исполнения (планчатый, трубчатый, шпоровый и др.). Посевные секции при необходимости могут комплектоваться дисковыми, лаповыми, килевидными и другими типами сошников, а каточки и загортачи иметь различное исполнение. Например, агрегаты семейства АППА для работы на тяжелых суглинистых и глинистых почвах в системах отвального и безотвального земледелия комплектуются активными (роторными) рабочими органами (АППА-6, рисунок 8, *а*); для работы на легких и средних почвах в системе отвального земледелия – пассивными лаповыми рабочими органами (АППА-6-01, рисунок 8, *б*); для работы на легких и средних почвах в системе безотвального земледелия – пассивными ножевидными рабочими органами (АППА-6-02, рисунок 8, *в*); для работы на легких и средних почвах в системах отвального и безотвального земледелия – пассивными дисковыми рабочими органами (АППА-6-03, рисунок 8, *г*).

При необходимости устройство агрегатов позволяет использовать почвообрабатывающую часть в качестве самостоятельной навесной машины на обработке почвы.

Конструкция агрегата АПП-9 (рисунок 9) защищена патентом Республики Беларусь [13].

Сейлка и агрегаты предусматривают внесение стартовой дозы минеральных гранулированных удобрений. Для прямого посева с одновременным внесением удобрений разработана сейлка СПП-9 (рисунок 10).



Рисунок 10 – Сейлка прямого посева (СПП-9)

Отличительной особенностью сейлки является то, что используется запатентованное устройство для разноглубинной укладки семян и удобрений для прямого посева в виде сошника с разновеликими дисками. Оно позволяет укладывать удобрения и семена на расстоянии 1,5–2,0 см друг от друга и проводить их заделку без забивания междискового пространства растительными остатками и почвой [14].

Все рассмотренные машины почвообрабатывающего и посевного комплекса прошли приемочные испытания в ГУ «Белорусская МИС» и освоены в производстве на заводах Республики Беларусь.

Поскольку рассмотренные почвообрабатывающие агрегаты предназначены для агрегатирования с тракторами мощностью не более 300–350 л. с., а в республике создаются трактора мощностью 400 и более л. с., то перспективным направлением при разработке почвообрабатывающих машин является создание многофункциональных почвообрабатывающих агрегатов, обеспечивающих их загрузку. Вместе с тем анализ существующих многофункциональных агрегатов показывает, что, несмотря на определенные их преимущества, заключающиеся в основном в увеличении загрузки самих агрегатов в течение года и сокращении парка почвообрабатыва-

ющих машин, они имеют также недостатки, которые можно устранить при дальнейшем совершенствовании их конструкции. Так, на известных многофункциональных агрегатах, в том числе и на АПМ-6, собранные в блоки и установленные на модулях рабочие органы в зависимости от выполняемого ими приема обработки почвы, будут проводить обработку на разную глубину. Поэтому при неизменной ширине захвата агрегат не обеспечит оптимальную загрузку трактора одной мощности, так как с изменением глубины обработки, даже с учетом интервала агротехнически допустимых скоростей движения, тяговое сопротивление агрегата будет изменяться. Следовательно, при установке модулей с почвообрабатывающими органами, обеспечивающими различную глубину обработки, требуются трактора различной мощности, что увеличивает парк и марочность тракторов в хозяйстве и снижает их загрузку. Поэтому перспективным направлением при создании почвообрабатывающих машин к тракторам мощностью более 400 л. с. является создание многофункциональных почвообрабатывающих агрегатов с заменяемыми почвообрабатывающими органами, обеспечивающими широкий диапазон глубины обработки почвы и способных увеличить загрузку не только самого агрегата, но и использовать трактор одной мощности за счет постоянства тягового сопротивления агрегата, которое будет обеспечиваться изменением его ширины захвата.

В настоящее время разработан такой опытный образец агрегата почвообрабатывающего модульного АМП-6 (рисунок 11) и проведены его предварительные испытания.



Рисунок 11 – Агрегат почвообрабатывающий модульный АМП-6

Отличительной особенностью агрегата является то, что он имеет широкий диапазон глубины обработки почвы, который колеблется от 6 до 40 см, а в зависимости от глубины обработки для загрузки тракторов одной мощности предусмотрена возможность изменения его ширины захвата. Так, для обработки почвы на глубину от 27 до 40 см агрегат имеет рабочую ширину захвата 4 м, для обработки почвы на глубину 12–27 см – 6 м, а для обработки почвы на глубину от 6 до 12 см – 8 м. Изменение ширины агрегата осуществляется за счет того, что его рама выполнена модульной и состоит из центральной рамы, к которой шарнирно крепятся две боковые рамы (при ширине захвата агрегата 6 м), а к ним дополнительно – две периферийные (при ширине захвата 8 м), которые при ширине захвата 4 м переводятся в транспортное положение.

Данная конструкция агрегата защищена патентом Республики Беларусь [15].

Одним из направлений повышения производительности на посеве зерновых культур в Республике Беларусь является увеличение доли широкозахватных посевных машин (6 м и более), основной конструктивной особенностью которых является наличие централизованного бункера большой вместимости и быстрый перевод из транспортного положения в рабочее и наоборот, что сокращает непроизводительные затраты времени, а, следовательно, наряду с увеличением ширины захвата также способствует повышению производительности [16].

Однако, несмотря на все достоинства, применяемые в настоящее время широкозахватные посевые машины не лишены недостатков, которые связаны в основном с тем, что подача посевного материала из бункера к сошникам у таких машин осуществляется с помощью пневмотранспорта. Существенным недостатком при пневмотранспортировании посевного материала, который обладает различными физико-механическими и аэродинамическими свойствами, явля-

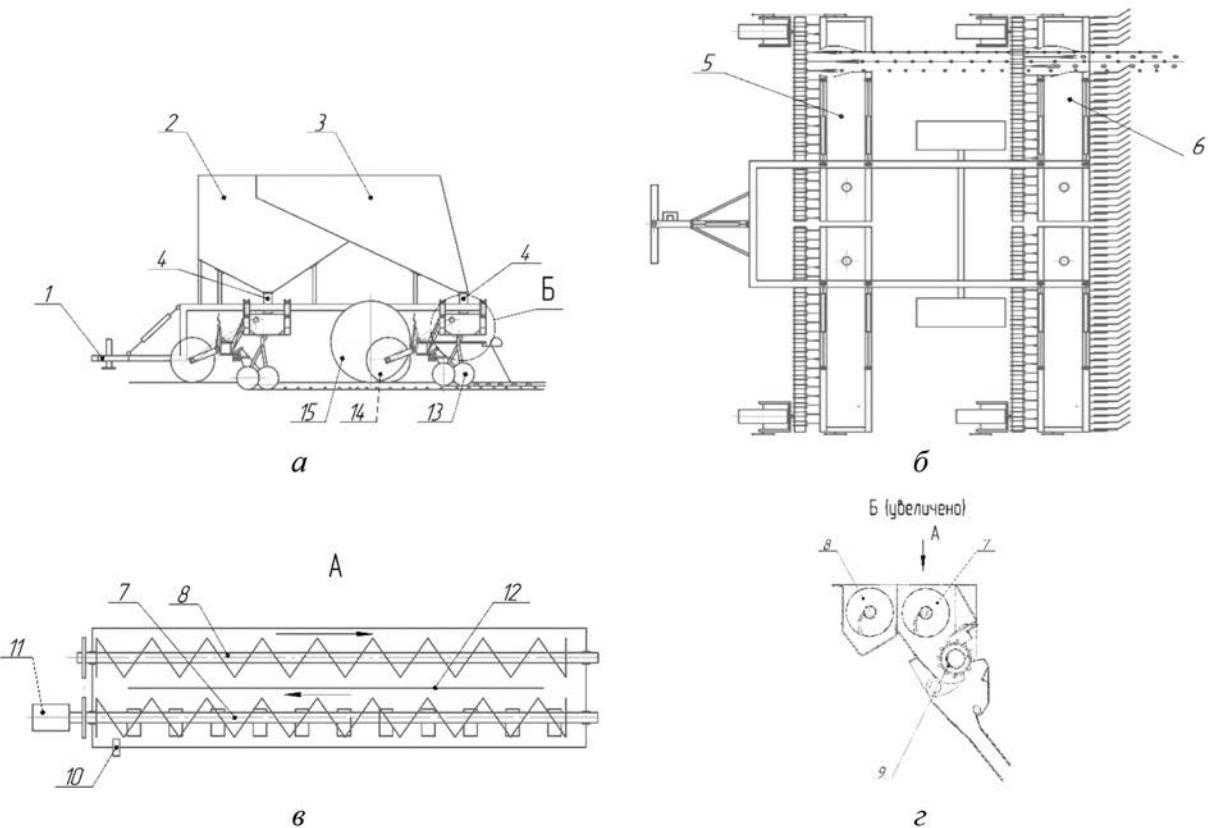


Рисунок 12 – Конструктивная схема широкозахватной механической сеялки: *а* – вид сбоку; *б* – вид сверху; *в* – посевной ящик, вид сверху; *г* – посевной ящик в разрезе; 1 – рама; 2 – емкость для туков (семян); 3 – емкость для семян; 4 – трубопроводы; 5 – передняя посевная секция; 6 – задняя посевная секция; 7 – распределяющий шнек; 8 – обратный шнек; 9 – катушечный дозатор; 10 – датчик уровня; 11 – гидромотор; 12 – перегородка; 13 – дисковые сошники; 14 – транспортно-технологические колеса; 15 – ходовые колеса

ется нестабильность параметров транспортирующего потока, что отрицательно влияет на такие показатели качества, как устойчивость высева, неравномерность распределения посевного материала вдоль ряда и по сошникам. Механические же сеялки хотя и лишены этих недостатков, но менее производительны из-за небольшой ширины захвата и емкости бункера. Поэтому, несмотря на имеющиеся недостатки, из-за необходимости повышения производительности труда доля посевных машин с пневматическими системами высева в республике составляет около 80 % от общей численности посевных машин.

Основной причиной, по которой до настоящего времени не созданы широкозахватные механические сеялки с централизованным бункером для семян и удобрений, является отсутствие конструкторско-технологической схемы сеялки с механическим распределяющим рабочим органом, обеспечивающим равномерную, без повреждений, подачу семян от бункера к каждому сошнику широкозахватной сеялки, способной трансформироваться до допустимых размеров транспортной ширины при переездах про дорогам общего пользования.

В результате проведенных исследований установлено, что для создания механической широкозахватной сеялки (не менее 6 м) наиболее приемлема схема с централизованной двухступенчатой подачей посевного материала, которая должна включать следующие элементы:

- централизованный бункер большего объема с емкостями для минеральных удобрений и семян;
- транспортировка семян и минеральных удобрений из централизованного бункера должна осуществляться в отдельные ящики, каждый из которых имеет свои дозирующие устройства;
- транспортировка минеральных удобрений в отдельный ящик с дозирующими устройствами должна осуществляться самотеком;

- распределение семян и удобрений в ящиках по ширине должно осуществляться шнеками;
- дозирующие устройства должны быть катушечного типа, так как они имеют наибольшее распространение на механических сеялках, эксплуатируемых в хозяйствах республики;
- после дозирующих устройств семена и удобрения должны подаваться в отдельные семяпроводы, далее по ним – в сошники;
- сошники должны осуществлять укладку и заделку семян и удобрений, при этом удобрения должны заделываться на 2–3 см ниже семян и в стороне от них.

Конструктивная схема перспективной широкозахватной механической сеялки с централизованной двухступенчатой подачей семян и удобрений к сошникам представлена на рисунке 12 [17].

Предложенная конструктивно-технологическая схема позволяет создавать высокопроизводительные механические сеялки с централизованным бункером большого объема, которые способны быстро трансформироваться до допустимых размеров транспортной ширины при переездах по дорогам общего пользования. При необходимости можно создавать сеялки, которые будут обеспечивать как рядовой посев с междурядьем 12,5 см с внесением минеральных удобрений, так и узкорядный посев с междурядьем 6,25 см одной или разных культур.

## **Заключение**

Для технического обеспечения ресурсосберегающих технологий обработки почвы РУП «НПЦ НАН Беларусь по механизации сельского хозяйства» разработан и освоен в производстве комплекс машин как для основной (АПД-6, ЛДР-9, КЧД-6, АКМ-6, АПМ-6, АПМ-6А, АБТ-4), так и для предпосевной (АКШ-6-02, АКШ-9, АКП-6) обработки почвы.

Для обеспечения посева в технологиях минимальной обработки почвы разработаны широкозахватная пневматическая сеялка С-9 и сеялка прямого посева СПП-9, а для совмещения операций предпосевной подготовки почвы и посева разработаны почвообрабатывающие-посевные агрегаты АППА-6 и АПП-9.

Перспективными направлениями дальнейшего развития почвообрабатывающего и посевного комплекса машин является создание многофункциональных широкозахватных почвообрабатывающих агрегатов с изменяемой шириной захвата и широкозахватных механических сеялок с централизованным бункером большого объема.

## **Список использованных источников**

1. Полезная модель ВУ 6706. Дисковый почвообрабатывающий агрегат : опубл. 30.10.2010 / Лепешкин Н. Д., Дягель Н. Н., Точицкий А. А., Шегельман Л. Д., Высоцкая Н. С., Медведев А. Л. ; заявитель РУП «НПЦ НАН Беларусь по механизации сельского хозяйства».
2. Полезная модель ВУ 11901. Лущильник дисковый : опубл. 28.02.2019 / Лепешкин Н. Д., Мижурин В. В., Заяц Д. В. ; заявитель РУП «НПЦ НАН Беларусь по механизации сельского хозяйства».
3. Полезная модель ВУ 3921. Комбинированный почвообрабатывающий агрегат : опубл. 30.10.2007 / Точицкий А. А., Лепешкин Н. Д., Дягель Н. Н., Янушкевич А. В. ; заявитель РУП «НПЦ НАН Беларусь по механизации сельского хозяйства».
4. Полезная модель ВУ 3819. Комбинированное почвообрабатывающее орудие : опубл. 30.08.2007 / Точицкий А. А., Лепешкин Н. Д., Федорович И. И., Старосотников С. В., Лойко С. Ф., Юрин А. Н., Дягель Н. Н. ; заявитель РУП «НПЦ НАН Беларусь по механизации сельского хозяйства».
5. Полезная модель ВУ 7723. Комбинированное почвообрабатывающее орудие : опубл. 30.10.2011 / Лепешкин Н. Д., Федорович И. И., Юрин А. Н., Стасюкевич Н. И., Высоцкая Н. С. ; заявитель РУП «НПЦ НАН Беларусь по механизации сельского хозяйства».
6. Евразийский патент 026487, МПК A01B 35/20, A01B 39/20. Плоскорежущий рабочий орган : № 201200366 : заявлено 03.02.2012 : опубл. 28.04.2017 / Лепешкин Н. Д., Федорович И. И., Высоцкая Н. С., Китун А. В., Чернуха А. В. ; заявитель РУП «НПЦ НАН Беларусь по механизации сельского хозяйства».
7. Евразийский патент 030162, МПКА01B 71/02, A01B 29/04. Амортизирующее устройство опорно-прикатывающего катка почвообрабатывающего агрегата : № 201300181 : заявлено 05.01.2013 : опубл. 29.06.2018 / Лепешкин Н. Д., Федорович И. И., Высоцкая Н. С., Чернуха А. В. ; заявитель РУП «НПЦ НАН Беларусь по механизации сельского хозяйства».
8. Евразийский патент 026011, МПК A01B 29/04. Опорно-прикатывающий каток почвообрабатывающего агрегата : № 201200729 : заявлено 16.04.2012 : опубл. 28.02.2017 / Лепешкин Н. Д., Федорович И. И., Высоцкая Н. С. ; заявитель РУП «НПЦ НАН Беларусь по механизации сельского хозяйства».

9. Полезная модель ВY 7168. Почвообрабатывающий многофункциональный агрегат : опубл. 30.04.2011 / Лепешкин Н. Д., Точицкий А. А., Высоцкая Н. С., Шевченко А. В., Добриян В. В. ; заявитель РУП «НПЦ НАН Беларусь по механизации сельского хозяйства».
10. Полезная модель ВY 7214. Почвообрабатывающий рабочий орган : опубл. 30.04.2011 / Лепешкин Н. Д., Медведев А. Л., Салапура Ю. Л. ; заявитель РУП «НПЦ НАН Беларусь по механизации сельского хозяйства».
11. Полезная модель ВY 11273. Почвообрабатывающий каток : опубл. 28.02.2017 / Лепешкин Н. Д., Чеботарев В. П., Козлов Н. С. ; заявитель РУП «НПЦ НАН Беларусь по механизации сельского хозяйства».
12. Полезная модель ВY 12461. Устройство пневматического высева сыпучих материалов : опубл. 30.12.2020 / Лепешкин Н. Д., Мижурин В. В., Салапура Ю. Л. ; заявитель РУП «НПЦ НАН Беларусь по механизации сельского хозяйства».
13. Полезная модель ВY 11936. Почвообрабатывающе-посевной агрегат : опубл. 28.09.19 / Лепешкин Н. Д., Мижурин В. В., Заяц Д. В. ; заявитель РУП «НПЦ НАН Беларусь по механизации сельского хозяйства».
14. Полезная модель ВY 11632. Устройство для прямого посева : опубл. 30.04.18 / Лепешкин Н. Д., Мижурин В. В., Заяц Д. В., Мялик А. С. ; заявитель РУП «НПЦ НАН Беларусь по механизации сельского хозяйства».
15. Полезная модель ВY 13252. Универсальный почвообрабатывающий агрегат : опубл. 01.06.2023 / Лепешкин Н. Д., Мижурин В. В., Комлач Д. И. ; заявитель РУП «НПЦ НАН Беларусь по механизации сельского хозяйства».
16. Сеялка пневматическая С-9 / Н. Д. Лепешкин, А. Н. Смирнов, Н. Ф. Сологуб, С. В. Савчук // Сельскохозяйственная научно-техническая и рыночная информация. – 2013. – № 4. – С. 39–42.
17. Полезная модель ВY 13634. Сеялка механическая широкозахватная универсальная : опубл. 20.01.2025 / Лепешкин Н. Д., Мижурин В. В., Микульский В. В. ; заявитель РУП «НПЦ НАН Беларусь по механизации сельского хозяйства».

**А. А. Жешко, А. В. Ленский, В. И. Володкевич**

*РУП «НПЦ НАН Беларусь по механизации сельского хозяйства»  
г. Минск, Республика Беларусь  
E-mail: azeshko@gmail.com*

## **ОСОБЕННОСТИ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА УБОРКИ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР**

*Аннотация.* Рассмотрен план моделирования и особенности построения имитационной модели процесса уборки зерновых культур, что является одним из основных этапов разработки концепции информационно-вычислительной системы организации механизированных работ на принципах точного земледелия. Представлены основные особенности построения имитационных моделей для процесса уборки зерновых культур и диаграмм состояния основных и вспомогательных операций.

*Ключевые слова:* моделирование, диаграммы состояния, уборочный процесс, основные и вспомогательные операции.

**A. A. Zheshka, A. V. Lenski, V. I. Volodkevich**

*RUE “SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization”  
Minsk, Republic of Belarus  
E-mail: azeshko@gmail.com*

## **FEATURES OF SIMULATION MODELING OF THE GRAIN HARVESTING PROCESS**

*Abstract.* The modeling plan and features of constructing a simulation model of the grain harvesting process are considered, which is one of the main stages in developing the concept of an information and computing system for organizing mechanized work based on the principles of precision farming. The main features of constructing simulation models for the process of harvesting grain crops and diagrams of the state of basic and auxiliary operations are presented.

*Keywords:* modeling, state diagrams, harvesting process, basic and auxiliary operations.

### **Введение**

Интенсивное развитие электронно-вычислительной техники в последние десятилетия явились основой цифровизации многих отраслей экономики. Информационные и научные основы для формирования стратегии точного земледелия были заложены еще в конце 1980-х гг., когда на смену интенсивным и экстенсивным методам повышения урожайности сельскохозяйственных культур пришли принципы программирования урожая и получения экологически чистой продукции. Ученые сходились во мнении, что в пределах одного обрабатываемого поля плодородие почвы должно быть одинаковым и выровненным по всей площади.

Технологии, направленные на выравнивание пестроты плодородия почвы, назывались поддерживающими, а сама идея выравнивания явилась основой для последующего дифференцированного внесения удобрений и химических средств защиты растений, создания картограмм полей и карт урожайности убираемых культур. Дальнейшее развитие геоинформационных технологий позволило использовать данные со спутников и беспилотных летательных аппаратов для конкретных сельскохозяйственных предприятий.

Развитие датчиков, исполнительных механизмов и их объединение в Интернет вещей позволило собирать, накапливать и анализировать большие массивы данных, после обработки которых можно реализовать машинное обучение интеллектуальных систем, использовать полученные знания в системах под управлением компьютерного зрения при выполнении таких сельскохозяйственных операций, как сортировка клубней картофеля, автоматическое вождение по рядкам при посеве, уходе и уборке сельскохозяйственных культур.

Отправной точкой в разработке концепции информационно-вычислительной системы является всесторонний анализ и разработка классификации принципов и технических средств для реализации технологии точного земледелия, а одним из основных этапов – рассмотрение особенностей построения имитационной модели процесса уборки зерновых культур.

## Основная часть

Существует несколько принципов, на основе которых можно строить модели. Например, моделирование систем с дискретными событиями, системная динамика, построение динамических систем, а также агентное моделирование.

Анализ литературных источников [1–4] показал, что изучение процессов, связанных с механизацией сельскохозяйственного производства, проводится комбинированными методами, основанными на подходах агентного моделирования. В этой связи для исследования процесса уборки зерновых культур использовалась доработанная агентная модель Harvest Simulator [4] с уточненными параметрами и условиями выполнения технологического процесса. Модель состоит из агента верхнего уровня Main, на диаграмме которого располагаются геометрические примитивы, обозначающие рабочий участок, места стоянки техники, элеватор и другие объекты. Агентами являются зерноуборочный комбайн, перегрузчик зерна, который осуществляет забор материала от комбайна в поле и его транспортировку к месту перегрузки, а также зерновоз, который доставляет материал к месту послеуборочной доработки.

На рисунке 1 представлена диаграмма состояния процесса движения комбайна, для которой характерны следующие положения:

- находится в состоянии покоя на стоянке на машинном дворе;
- движется к полю в начале смены;
- осуществляет движение по убираемому полю (вложенные состояния отвечают за движение комбайна в необходимом направлении);
- приостанавливается в момент заполнения бункера в ожидании перегрузчика зерна;
- движется к стоянке по завершению уборки рабочего участка.

Параллельно с диаграммой состояния движения комбайна выполняется контроль за наполнением его бункера (рисунок 2). При этом для диаграммы наполнения бункера в момент уборки характерны состояния:

- заполнение бункера;
- ожидание перегрузчика;
- перегрузка материала с одновременным заполнением бункера при движении с перегрузчиком.

Согласно плану моделирования начальной точке соответствует левый нижний угол прямоугольника, обозначающего рабочий участок. Поэтому для определения координаты начала рабочего хода используется выражение:

$$\begin{cases} x = x_P + B / 2 \\ y = y_P + L \end{cases}, \quad (1)$$

где  $x_P, y_P$  – координаты точки, определяющей положение прямоугольника на диаграмме типа агента Main;  $B$  – ширина захвата жатки зерноуборочного комбайна, м.

При инициализации модели комбайн находится на стоянке, а затем начинает перемещение к полю. Поэтому при запуске модели вычисляются координаты положения центра фигуры, которая обозначает место стоянки.

Переходы в различные состояния во время движения комбайна и наполнения его бункера осуществляются при получении сообщений, которые генерируются во время моделирования в коде переходов и состояний. Переход из состояния пребывания на стоянке – к движению к полю осуществляется с помощью перехода по таймингу без задержки. Выход из состояния уборки – начало движения к стоянке осуществляется с помощью перехода по выполнению условия:

$$x \geq x_p + A + B / 2, \quad (2)$$

где  $A$  – ширина прямоугольника, обозначающего границы рабочего участка, м.

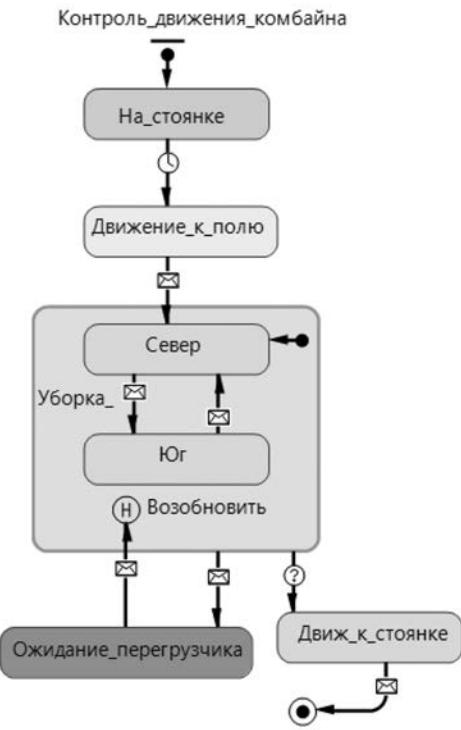


Рисунок 1 – Диаграмма состояния движения комбайна

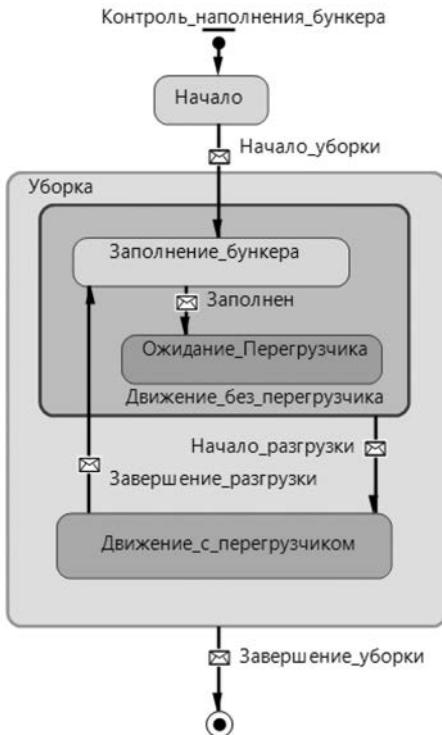


Рисунок 2 – Диаграмма состояния наполнения бункера комбайна

Поскольку на диаграмме типа агента Main поле задается с помощью графического примитива – прямоугольника, положение которого определяется координатами его верхнего правого угла, для отображения на поле в случайном порядке точек, обозначающих хлебостой, используются прямоугольники с координатами  $x_{hi}$ ,  $y_{hi}$ . При запуске модели их координаты генерируются в случайном порядке функцией uniform:

$$f(x_{hi}) = \frac{1}{A-2}, \quad 0 < x_{hi} < A-2,$$

$$f(y_{hi}) = \frac{1}{L-2}, \quad 0 < y_{hi} < L-2,$$
(3)

где  $L$  – длина гона (высота прямоугольника), м.

Диаграмма, характеризующая процесс движения перегрузчика, представлена на рисунке 3. Основными состояниями являются: ожидание команды, поступающей с диаграммы движения комбайна (рисунок 1) в момент его остановки; загрузка с одновременным движением с комбайном с учетом изменения направления его движения (для чего служит внутренний переход); движение к месту перегрузки, которое осуществляется при условии срабатывания сразу трех переходов при получении сообщений с других диаграмм. Состояние, когда данный агент находится на перегрузке, состоит из вложенных состояний – ожидание зерновоза и перегрузка зернового материала, переход между которыми осуществляется по таймингу с дополнительным условием, а также при получении сообщений.

Диаграмма, характеризующая процесс движения агента зерновоза, представлена на рисунке 4. Данный агент находится на месте перегрузки и имеет два вложенных состояния: загрузка, когда перегрузчик подвозит новую партию материала, и его ожидания при движении перегрузчика в поле за новой партией материала. Переходы осуществляются при получении сообщений с элементов диаграмм состояния. Когда кузов зерновоза заполнен, он перемещается к месту послеборочной обработки зерна и после разгрузки возвращается обратно. Данные события отражены на диаграмме состояния 4 в виде блоков: подготовка к переезду, выгрузка и возвращение.

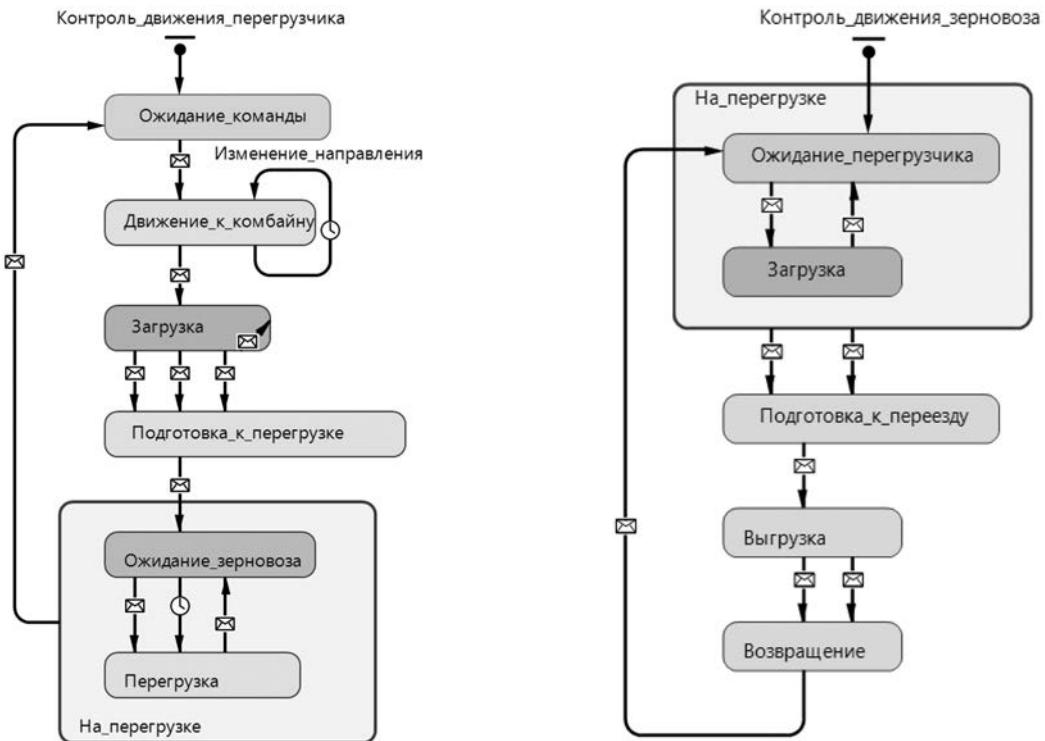


Рисунок 3 – Диаграмма состояния процесса движения перегрузчика

Рисунок 4 – Диаграмма состояния процесса движения зерновоза

Для дополнительного контроля за состоянием наполнения бункера комбайна, а также кузовов перегрузчика и зерновоза используются элементы библиотеки моделирования потоков. Для этих целей используется элемент Tank (бункер), при наполнении и опустошении которого генерируются соответствующие сообщения для диаграмм состояния. Максимальная скорость на выходе соответствует скорости пергрузки зерна. А также элементы Fluid Enter и Fluid Exit, которые направляют и принимают поток к бункеру соответственно (рисунок 5).

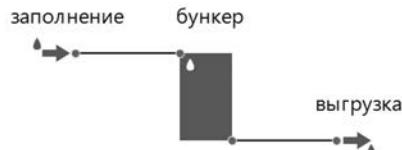


Рисунок 5 – Элементы библиотеки моделирования потоков

Для определения рациональной траектории движения уборочного агрегата по выбранному участку (рисунок 6), а также для точного определения коэффициента рабочих ходов, соотношения рабочих и холостых ходов и других эксплуатационных показателей в процессе моделирования использовались картографические сервисы [5–8].

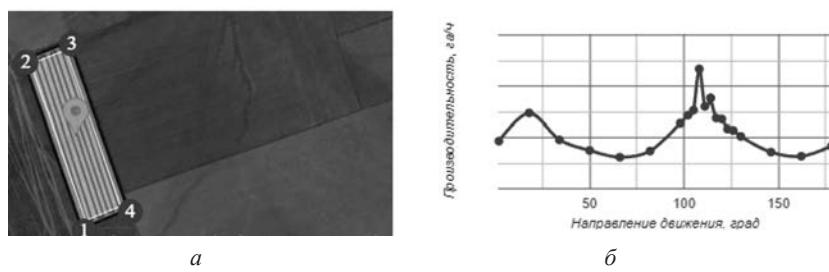


Рисунок 6 – Результаты построения траектории движения машинно-тракторного агрегата:  
а – оптимальная траектория движения; б – график изменения производительности

## **Заключение**

Согласно вычислениям имитационного моделирования и сопоставления полученных данных с протоколами испытаний зерноуборочных комбайнов была подтверждена сходимость полученных результатов. Например, для зерноуборочного комбайна расходжение по удельному расходу топлива составило 1,8 %, по производительности – 5,9 %.

## **Список использованных источников**

1. Ivanov, D. Operations and Supply Chain Simulation with AnyLogic. Decision-oriented introductory notes for management students in bachelor and master programs / E-Textbook, Berlin School of Economics and Law. – 2017. – P. 97.
2. Rukomoynikov, K. P. Modeling operation of forest harvester in AnyLogic simulation system / K. P. Rukomoynikov, T. V. Sergeeva, T. A. Gilyazova // Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin. – 2023. – Vol. 27, № 3. – P. 69–80.
3. Galimov, R. R. Crop harvesting model in Anylogic simulation tool / R. R. Galimov, V. V. Tikhonovsky, V. Garafutdinova // South Siberian scientific bulletin. – № 6 (46), December 2022. – P. 324–332.
4. AnyLogic simulation software / Transportation and Logistics. – URL: <https://cloud.anylogic.com/model/b9142b00-a801-4275-a4pdf> (date of access: 17.07.2024).
5. Rai, V. Implications of Nanobiosensors in Agriculture / V. Rai, S. Acharya, N. Dey // Biomater Nanobiotechnol. – 2012. – Vol. 27, № 3. – P. 315–324.
6. Nanofertilizer for precision and sustainable agriculture: Current state and future perspectives / R. Raliya, V. Saharan, C. Dimkpa, P. Biswas // J. Agricult. Food Chem. – 2018. – Vol. 66, № 26. – P. 6487–6503.
7. Energy neutral machine learning based IoT device for pest detection in precision agriculture / D. Brunelli, A. Albanese, D. Acunto, M. Nardello // IEEE Internet Things Mag. – 2019. – Vol. 2, № 4. – P. 10–13.
8. Dimitriadis, S. Applying machine learning to extract new knowledge in precision agriculture applications / S. Dimitriadis, C. Goumopoulos / 12th Panhellenic Conf. Informat. – 2008. – P. 100–104.

**Э. В. Дыба, Л. И. Трофимович**

*РУП «НПЦ НАН Беларусь по механизации сельского хозяйства»  
г. Минск, Республика Беларусь  
E-mail: dibua-18@mail.ru, trofimovich88@mail.ru*

## **АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА КАЧЕСТВО ЗАГОТАВЛИВАЕМЫХ ТРАВЯНЫХ КОРМОВ**

*Аннотация.* Представленная статья посвящена анализу основных факторов, влияющих на качество заготовляемых травяных кормов.

*Ключевые слова:* кормопроизводство, грабли-валкователи, сгребание, валкование, травяные корма, загрязнение кормов, качество травяных кормов, чистый и бережный подбор.

**E. V. Dyba, L. I. Trofimovich**

*RUE “SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization”  
Minsk, Republic of Belarus  
E-mail: dibua-18@mail.ru, trofimovich88@mail.ru*

## **ANALYSIS OF THE MAIN FACTORS INFLUENCING THE QUALITY OF HERBAL FORAGE**

*Abstract.* The presented article is devoted to the analysis of the main factors influencing the quality of harvested grass forage.

*Keywords:* forage production, rake-swarthers, raking, swathing, grass forage, forage contamination, grass forage quality, clean and careful selection.

### **Введение**

Заготовка травяных кормов, обладающих высокой питательной ценностью и соответствующих физиологической потребности крупного рогатого скота (КРС), – это прямой путь к снижению себестоимости продукции животноводства. Грубые корма составляют основную часть рациона КРС, от их качества зависят показатели привеса и надоя, а также здоровье животных.

Поэтому, чтобы обеспечить получение высококачественных травяных кормов, необходимо четко соблюдать основные принципы их заготовки.

### **Основная часть**

Заготовка кормов – сложный и длительный технологический процесс, на выполнение которого влияет большое количество факторов. Основными такими факторами являются:

- погодные условия;
- оптимальные сроки уборки трав;
- высота скашивания;
- продолжительность полевой сушки или провяливания скошенной массы до кондиционной влажности;
- качество сгребания провяленной травяной массы;
- степень измельчения закладываемой массы;
- качество закладываемого сенажа и силоса;
- быстрое уплотнение травяных кормов до требуемой величины;
- процесс ферментации;
- качественное хранение и выемка с минимальным окислением.

К наиболее существенным факторам, которые имеют стохастический характер и не поддаются управлению, относятся погодные условия.

Потеря качества кормов происходит в основном из-за повторного увлажнения травы осадками в период нахождения скошенной травы в поле, когда осуществляется операция по ее пропашиванию. При неблагоприятных погодных условиях значительное количество травы портится в прокосах и валках, что приводит к получению низкокачественного корма, созданию условий для развития гнилостных бактерий, а также ведет к ухудшению условий для последующего роста травы и ее уборки.

Кормовые растения следует убирать в оптимальные фазы вегетации:

- кукурузу – в конце молочной – начале восковой спелости зерна;
- многолетние бобовые травы – в фазу бутонизации, но не позднее начала цветения;
- злаковые травы – в конце фазы выхода в трубку до начала колошения (фаза флага-листа);
- травосмеси многолетних бобовых и злаковых трав – в названные выше фазы вегетации преобладающего компонента;
- однолетние бобовые и бобово-злаковые травосмеси – в фазе начала цветения бобового компонента, не дожидаясь завязывания в двух-трех нижних ярусах бобов, чтобы избежать полегания культуры и накопления клетчатки.

После начала фазы выхода в трубку у злаковых или фазы бутонизации у бобовых за каждый последующий день растения формируют 0,5 % клетчатки, при этом ежедневные средние потери энергии составляют 1 %, а протеина – 1,25 %. Необходимо отметить, что масса, заготовленная с опозданием от оптимальных сроков на 7–14 дней, содержит 30 % и более клетчатки и недостаточно обменной энергии [1].

Индикатор уборочной зрелости травы – содержание клетчатки не более 25 % в сухом веществе. Именно он помогает точнее всего определить оптимальный момент скашивания трав. Это соответствует фазе бутонизации для бобовых и трубкования для злаковых (таблица 1).

*Таблица 1 – Питательность трав в зависимости от фазы развития*

Фаза вегетации	Содержание клетчатки, %	Обменная энергия, МДж	Переваримость, %
Начало кущения	20,0	12,0	72,5
Выход в трубку	22,0	11,6	75,0
Конец выхода в трубку	23,0	11,2	72,0
Начало колошения	24,0	10,6	68,0
Середина колошения	26,0	10,1	65,0
Конец колошения	28,0	9,7	62,5
Начало цветения	30,0	9,3	50,0
Середина цветения	33,0	8,8	52,0
Конец цветения	35,0	8,3	54,0

Своевременная уборка трав первого укоса в течение 10 дней позволяет получить дополнительно не только второй, но и третий укос, за счет которого сбор сухого вещества, обменной энергии, протеина с 1 га увеличивается на 12–16 %, а выход молока и мяса в расчете на 1 га многолетних трав повышается в 1,3 и 1,5 раза соответственно при снижении затрат и стоимости кормов на единицу продукции на 9–13 %.

*Высота скашивания:*

- многолетних трав – 4–7 см (трав первого года пользования – 8–9 см);
- у однолетних бобово-злаковых смесей допускается высота среза до 6 см;
- кукурузы – 35–40 см.

Завышение среза всего на 1 см приводит к недобору урожая до 5 % [2].

При более низком срезе масса загрязняется землей, повреждаются ростовые почки, что приводит к снижению урожая второго и последующих укосов.

Высота среза, выровненность поля плюс способность подвески косилок поддерживать заданную высоту среза, а также применение ленточных валкообразователей – все эти факторы обеспечивают снижение загрязнения корма почвой и количества находящихся в ней патогенных бактерий.

*Продолжительность полевой сушки или провяливания скошенной массы до кондиционной влажности.* Однолетние травы, бобово-злаковые смеси, многолетние травы при урожайности до 150 ц/га скашивают в валки. Плотность массы свежескошенной травы в валке должна быть не более 10–12 кг/м, ширина валка – 1,2–1,25 м. При урожайности многолетних трав более 150 ц/га их скашивают в прокос. В прокосах массу провяливают до 65–70 %, собирают в валки и досушивают до 60 % влажности (оптимальная влажность трав с высоким качеством корма) [3].

Ворошение проводят через 1,5–2 ч после скашивания при высоком урожае (более 200 ц/га). При попадании скошенной массы под дождь прокосы ворошают, валки обворачивают.

При затяжной неблагоприятной погоде массу подбирают, измельчают и используют для заготовки корма с обязательным внесением химических консервантов.

Неустойчивые погодные условия, характерные для нашей республики в период сенокоса, еще более усложняют задачу получения качественного корма. Влияние погодных условий на величину потерь при заготовке кормов из провяленных трав приведено в таблице 2 [4].

*Таблица 2 – Потери при заготовке кормов из провяленных трав*

Виды трав	Сухих веществ, %	Всего потерь, %	В том числе, %		
			при подвяливании		при брожении
			хорошие погодные условия	плохие погодные условия	
Злаковые	35	8–16	2	8	6–8
	50	8–22	5	18	3–4
Бобово-злаковые	35	11–23	4	14	7–9
	50	11–28	7	23	4–5
Клевер красный	35	15–28	7	18	8–10
	50	18–37	12	30	6–7

Низкое содержание сухого вещества вследствие плохой погоды не является основанием для увеличения времени нахождения скошенной массы в поле. Для ускорения провяливания бобовые и бобово-злаковые травы плющат (бобовые – только в благоприятную погоду). Для злаковых трав наиболее приемлемы кондиционеры с билами Y-образной формы, для бобовых – профилированные резиновые вальцы. При плющении продолжительность провяливания трав сокращается на 30–50 %, при кондиционировании – в 2–2,5 раза. При кондиционировании ворошение трав не проводят. Продолжительность провяливания трав – не более одного светового дня; без плющения и кондиционирования – не более 36 ч [3].

*Качество сгребания провяленной травяной массы.* Сохранение энергетической ценности сена или сенажа во многом зависит от качества их сгребания в валки. Ротационные и колесно-пальцевые грабли-валкователи имеют существенный технологический недостаток – волочение травяной массы по поверхности поля, что увеличивает вероятность увлечения за собой камней и других инородных тел в валок. Следовательно, при уборке таких валков, увеличивается вероятность повреждения и выхода из строя кормоуборочной техники. Кроме того, высокая окружная скорость зубьев граблин (10–15 м/с) и постоянный их контакт с поверхностью почвы приводят к засорению формируемого валка землей и пылью (особенно при работе валкователя на сложном рельефе), а также к высоким потерям листьев и соцветий, особенно при многоукосной системе заготовки кормов.

*Степень измельчения закладываемой массы.* Для кукурузного силоса оптимальная степень измельчения – 4–10 мм, для силоса из злаковых и злаково-бобовых смесей – 20–40 мм, сенажа люцерны – 30–50 мм, зернового сенажа – 5–15 мм [5].

*Качество закладываемого сенажа и силоса.* Оно зависит от ряда факторов, в первую очередь от процента содержания сухого вещества. Высокая влажность сырья повышает буферную емкость, что мешает быстрому закислению массы. Нужно помнить, что из валков испарение влаги из 1 т зеленой массы составляет около 20 л/ч, а из рассыпанной массы – 100 л/ч. Кроме того, высокое содержание протеина также повышает буферную емкость закладываемой массы [5].

*Быстрое уплотнение травяных кормов до требуемой величины.* Перед закладкой в хранилище зеленую массу обязательно взвешивают. Для получения корма высокого качества необходимо

мо быстрое заполнение хранилища и уплотнение массы. Слой ежедневно укладываемой массы при загрузке башен должен быть не менее 5 м, траншей – не менее 80 см. Продолжительность загрузки зеленой массы в хранилища и ее трамбовки до полной герметизации зависит от высоты стен и не должна превышать:

- до 2,5 м – 1–2 суток (300–500 т);
- до 3,5 м – 2–3 суток;
- свыше 3,5 м – 5 суток.

Закладка проводится порционно. Плотность укладки сенажной массы:

- при влажности 50–60 % – 500–600 кг/м<sup>3</sup>;
- при влажности 40–50 % – 450–500 кг/м<sup>3</sup>.

Плотность укладки силажной массы:

- при влажности 60–65 % – 600–650 кг/м<sup>3</sup>;
- при влажности 65–70 % – 650–800 кг/м<sup>3</sup>.

Плотность укладки зерносенажной массы:

- при влажности 60–65 % – 600–650 кг/м<sup>3</sup>;
- при влажности 65–70 % – 650–800 кг/м<sup>3</sup>.

Плохо уплотненная сенажная масса сильно разогревается. Повышение температуры на каждые 5 °С сверх нормативной (37 °С) снижает переваримость протеина на 9 % [5].

*Процесс ферментации.* Весь процесс силосования или сенажирования подразделяется на четыре стадии:

- аэробную;
- бактериальную;
- стадию стабилизации;
- стадию скармливания.

Аэробная стадия характеризуется работой бактерий, использующих кислород и легкодоступные сахара. В результате выделяются углекислый газ, вода, повышается температура закладываемой массы и разрушаются белки. Вот почему необходимы качественная трамбовка и быстрое выдавливание кислорода из массы. Действие же собственно молочнокислых бактерий начинается со 2–3 дня изоляции от кислорода. При этом все молочнокислые бактерии, находящиеся на растениях, относятся к гетероферментативным бактериям.

Это означает, что такая бактерия, ферментируя молекулу глюкозы или фруктозы, прежде чем образовать молекулу молочной кислоты, проходит через ряд промежуточных реакций с образованием метанола, маннитола, углекислого газа, уксусной кислоты, которые накапливаются в заготовляемой массе, что и делает корма невкусными. Налицо неэффективное использование легкорастворимых сахаров и существенная потеря питательных веществ и энергетической ценности корма. Надо заметить, что есть и другие виды бактерий – прямого пути ферментирования или гомоферментативного, когда бактерия направляет, без промежуточных реакций, образует две молекулы молочной кислоты. Однако в растениях их ничтожное количество, поэтому в расчет они не берутся. Следовательно, применение качественных специализированных заквасок оправдано по всем показателям [5].

*Качественное хранение и выемка с минимальным окислением.* В практике кормления к этому вопросу относятся без должного внимания. Между тем даже заготовив качественные корма, из-за ошибок при вскрытии траншеи или кургана можно существенно снизить качество корма. Ни в коем случае нельзя открывать слишком большую поверхность, допустим, на 3–4 дня вперед. Корм на открытой площади соприкасается с воздухом, а кислород, как известно, сильнейший окислитель. Положение существенно усугубляется, если выемка корма производится неправильно. В отсутствие фрезы при выемке корма из траншеи ковшом снимают корм, отрывая куски и допуская разрыхление большого количества корма. Часто бывают случаи подвоза кормов заранее, например, вечерний завоз для приготовления кормосмеси и раздачи утром. Все эти и подобные нарушения существенно снижают качество корма на кормовом столе [5].

Таким образом, в процессе заготовки высококачественных кормов необходимо строгое соблюдение и учет всех факторов, влияющих на конечный результат.

## **Заключение**

Важным звеном технологического процесса заготовки травяных кормов является операция сгребания высушенной или провяленной зеленой массы в валки. Известно, что сохранение энергетической ценности травяных кормов в процессе уборки во многом зависит от качества их сгребания.

Анализ материалов [6–9], опубликованных в отечественной и зарубежной патентной и научно-технической литературе, показывает, что применяемые на сегодняшний день ротационные и колесно-пальцевые грабли-валкователи имеют существенный технологический недостаток – волочение травяной массы по полю, из-за чего велика вероятность попадания в валок камней и других посторонних предметов. Поэтому при уборке таких валков увеличивается вероятность повреждения кормоуборочной техники. Кроме того, существует проблема засорения формируемого валка землей и пылью, особенно при работе на неровном рельефе, а также высоких потерь листьев и соцветий, что лишает корм части питательных веществ.

Вышеприведенные недостатки ротационных и колесно-пальцевых граблей-валкователей доказывают актуальность проблемы и становится очевидным факт необходимости проведения исследований и разработки новых граблей-валкователей, принцип работы которых основан на минимальном контакте сгребающих пальцев с поверхностью поля, что обеспечит снижение потерь и повышение качества основных видов заготавливаемых травяных кормов.

## **Список использованных источников**

1. Станкевич, С. И. Современные технологии заготовки кормов : рекомендации / С. И. Станкевич, С. И. Холдеев. – Горки : БГСХА, 2016. – 29 с.
2. Пиуновский, И. И. Машины для уборки трав и силосных культур (теория и расчет рабочих органов) / И. И. Пиуновский, В. Р. Петровец, Н. И. Дудко. – Горки : БГСХА, 2016. – 325 с.
3. Технологический регламент, техническое обеспечение и технологические карты выращивания и заготовки кормов из трав: регламент // Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, РУП «НПЦ НАН Беларусь по земледелию», РУП «НПЦ НАН Беларусь по животноводству», РУП «НПЦ НАН Беларусь по механизации сельского хозяйства», РНДУП «Институт мелиорации». – Минск, 2011. – 74 с.
4. Техническое обеспечение технологий заготовки высококачественных кормов : рекомендации / М-во сельского хозяйства и продовольствия Респ. Беларусь, НАН Беларуси ; сост. В. В. Гракун [и др.]. – Минск : [б. и.], 2017. – 76 с.
5. Технологии кормозаготовки : офиц. сайт электронной версии издания «Агропромышленная газета юга России». – 2021. – URL: <https://www.agroprom.yug.com/kormlenie/1039-zavisimost-produktivnosti-krs-ot-kachestva-objomistykh-kormov> (дата обращения: 05.11.2024).
6. Дыба, Э. В. Анализ современных конструкций колесно-пальцевых граблей, применяемых для валкования травяных кормов / Э. В. Дыба, Л. И. Трофимович // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве : материалы Междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 100-летию со дня рождения М. М. Севернева, Минск, 21–22 окт. 2021 г. / редкол. П. П. Казакевич (глав. ред.), П. В. Божкова. – Минск : Беларус. наука, 2021. – С. 50–63.
7. Дыба, Э. В. Анализ известных типов граблей-валкователей / Э. В. Дыба, В. В. Микульский, Л. И. Трофимович // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве : материалы Междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 100-летию со дня рождения М. М. Севернева, Минск, 21–22 окт. 2021 г. / редкол. П. П. Казакевич (глав. ред.), П. В. Божкова. – Минск : Беларус. наука, 2021. – С. 104–109.
8. Дыба, Э. В. Поиск путей повышения качества травяных кормов / Э. В. Дыба, В. В. Микульский, Т. А. Непарко // Актуальные проблемы устойчивого развития сельских территорий и кадрового обеспечения АПК : материалы Междунар. науч.-практич. конф., Минск, 3–4 июня 2021 г. ; редкол.: Н. Н. Романюк [и др.]. – Минск : БГАТУ, 2021. – С. 408–413.
9. Дыба, Э. В. Предпосылки к изучению влияния параметров рабочего органа сдвоенного типа колесно-пальцевым граблям на качество валкования скошенных трав / Э. В. Дыба, В. В. Микульский // Механизация и электрификация сельского хозяйства : межвед. темат. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларусь по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2020. – Вып. 54. – С. 145–149.

**Э. В. Дыба, Л. И. Трофимович**

*РУП «НПЦ НАН Беларусь по механизации сельского хозяйства»  
г. Минск, Республика Беларусь  
E-mail: dibua-18@mail.ru, trofimovich88@mail.ru*

## **АКТУАЛЬНОСТЬ РАЗРАБОТКИ ГРАБЛЕЙ ВАЛКОВАТЕЛЕЙ ЛЕНТОЧНОГО ТИПА**

*Аннотация.* В статье представлены технологические схемы заготовки травяных кормов в Республике Беларусь, используемые в настоящее время, рассмотрены достоинства и недостатки технических средств, применяемых для сгребания (валкования) травяной массы, а также рассмотрена актуальность разработки граблей-валкователей ленточного типа.

*Ключевые слова:* кормопроизводство, валкование, ленточные валкователи, подборщик, ленточный транспортер, травяные корма, загрязнение кормов, качество травяных кормов, чистый и бережный подбор.

**E. V. Dyba, L. I. Trofimovich**

*RUE “SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization”  
Minsk, Republic of Belarus  
E-mail: dibua-18@mail.ru, trofimovich88@mail.ru*

## **RELEVANCE OF DEVELOPING BELT-TYPE RAKE-ROLLERS**

*Abstract.* The article presents technological schemes for harvesting grass forage in the Republic of Belarus at present, considers the advantages and disadvantages of the technical means used for raking (swathing) of grass mass, and also presents the relevance of developing belt-type rakes-swathers.

*Keywords:* forage production, swathing, belt swathers, pick-up, belt conveyor, grass forage, forage contamination, grass forage quality, clean and careful pick-up.

### **Введение**

Интенсификация сельскохозяйственного производства на основе внедрения ресурсосберегающих технологий является стратегическим направлением, обеспечивающим прирост объемов производства всех видов сельскохозяйственной продукции. Так, например, в животноводческой отрасли нашей страны до 2025 г. предусматривается достижение объемов производства молока на уровне не менее 8 959,5 тыс. т, выращивания крупного рогатого скота – 700,7 тыс. т [1]. Естественно, что производство намеченных объемов молока и мяса немыслимо без гарантированного обеспечения животных кормами, которые в структуре себестоимости продукции составляют около 55–70 % от общих затрат. Наличие кормов и их качество являются основными факторами, определяющими продуктивность животных и эффективность производства молока и мяса. Так, достигнутые на сегодняшний день результаты в молочной отрасли являются следствием обеспечения дойного стада основными видами кормов – сеном, сенажом, силосом и концентрированными кормами. Сегодня почти 30 % хозяйств обеспечено кормами на 1,5–2 года. Вместе с тем во многих регионах страны отмечается низкое качество кормов, особенно травяных, а также высокие энергозатраты при производстве всех видов кормов в целом. Так, низкое качество травяных кормов, как правило, приводит к перерасходу концентратов, стоимость кормовой единицы (к. ед.) которых в 3 раза выше, чем травяных кормов, что приводит к удорожанию животноводческой продукции.

### **Основная часть**

Для обеспечения животноводческой отрасли Республики Беларусь полноценными кормами в хозяйствах заготавливается до 20 млн т силоса, 13,0 млн т сенажа (в том числе около 1,4 млн т

сенажа в рулонах или крупногабаритных тюках, упакованных в стрейч-пленку) и до 700 тыс. т сена. При этом Минсельхозпрод считает целесообразным увеличить в ближайшие годы объемы заготавливаемых травяных кормов (таблица) [2], в том числе до 3,0 млн т сенажа в рулонах или крупногабаритных тюках, упакованных в стрейч-пленку, что позволит обеспечить потребности дойного стада в высококачественных кормах. Кроме того, на технологические нужды ежегодно используется до 7,0 млн т соломы.

**Планируемый объем заготовки травяных кормов  
в сельскохозяйственных организациях Республики Беларусь в 2024–2025 гг.**

Область	Планируемый объем заготовки травяных кормов, тыс. т			В том числе с упаковкой в полимерные материалы, тыс. т
	сено	сенаж	силос	
Брестская	120,0	2 801,6	4 730,5	275,0
Витебская	84,0	1 927,0	2 178,1	126,0
Гомельская	200,0	1 320,4	3 618,4	229,0
Гродненская	70,0	2 469,9	3 052,8	232,0
Минская	132,0	3 210,0	4 477,2	513,0
Могилевская	94,4	1 591,1	2 483,2	158,0
По Республике Беларусь	700,4	13 320,0	20 540,2	1 533,0

Заготовка кормов из скошенных травяных культур и травосмесей в современных условиях Республики Беларусь выполняется по трем основным схемам:

- заготовка сена путем прессования травяной массы рулонными или тюковыми пресс-подборщиками (рисунок 1);
- заготовка сенажа и силоса с закладкой травяной массы в траншейные хранилища (рисунок 2);
- заготовка сенажа и силоса в полимерной упаковке. Эта технология имеет несколько разновидностей:
  - заготовка сенажа путем прессования травяной массы рулонными или тюковыми пресс-подборщиками с последующей индивидуальной обмоткой стрейч-пленкой (рисунок 3);
  - упаковка рулона и тюка в полимерный рукав соответствующего диаметра и длиной до 70 м;
  - прием, прессование и упаковка измельченной сенажной и силосной массы в полимерный рукав диаметром от 2,2 до 3,6 м и длиной до 75 м с помощью специализированного пресс-упаковщика.

Сено, как и другие корма, является не только источником питательных веществ, но и структурным компонентом. Однако его стоимость в 3 раза превышает стоимость заготовки силоса из трав и в 7 раз – зеленой массы пастбищных трав. В последние годы во многих хозяйствах значительно уменьшена (зачастую до минимума) заготовка сена. Некоторые сельхозорганизации ведут заготовку в объемах, удовлетворяющих потребность только сухостойного поголовья коров и нетелей второй половины стельности. Надо отметить, что значение использования сена как основной составной части в кормлении жвачных животных в последние годы снизилось на всех фермах Европы. На практике стало легче, дешевле, а значит, и ресурсоэффективнее производить высококачественный силос из провяленных трав. И все же сено будет и в дальнейшем производиться в небольших количествах для обеспечения потребностей сухостойного поголовья коров и нетелей второй половины стельности [3].

Главный недостаток технологии заготовки сена (рисунок 1) – трудность сушки трав, скошенных в оптимальные сроки, когда сухое вещество имеет максимальную энергетическую и протеиновую питательность. Для бобовых трав – это фаза начала и полной бутонизации, для злаковых – выход в трубку, поэтому чаще травы ксят на сено в начале их цветения. В этом случае их легче высушивать, но качество ухудшается. Заготовка сена по новой технологии путем ускоренной сушки с использованием кондиционеров устраняет этот недостаток и дает возможность убирать в фазы вегетации при сокращении полевых потерь с 30 до 15 %.

В настоящее время не разделяют корма на силос и сенаж в зависимости от степени влажности, а объединяют в консервированный корм. К консервированным сочным кормам относится сенаж,

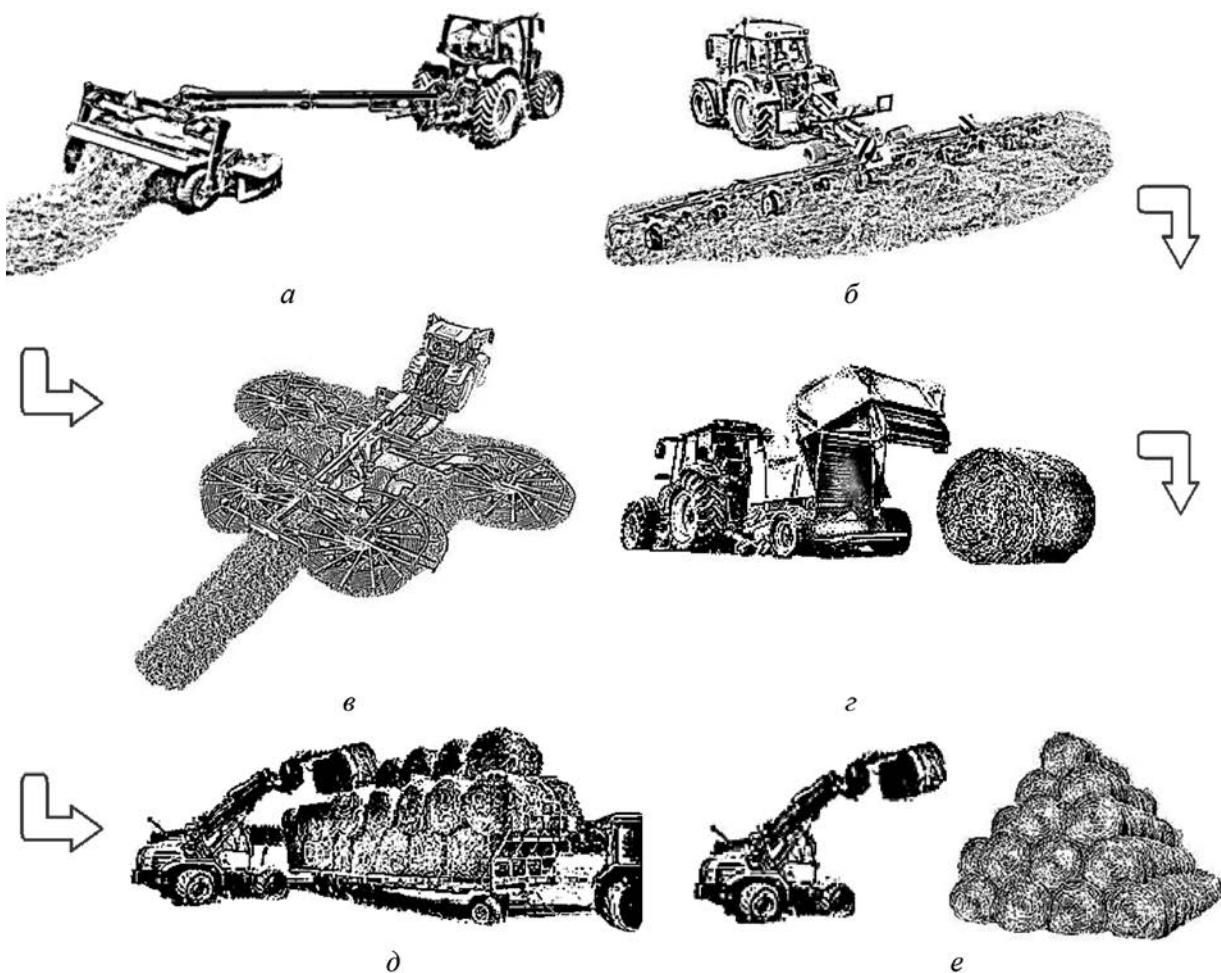


Рисунок 1 – Технологическая схема заготовки сена путем прессования травяной массы рулонными пресс-подборщиками: *а* – скашивание; *б* – ворошение; *в* – сгребание (валкование); *г* – прессование; *д* – погрузка и транспортировка; *е* – скирдование

силос, зерносенаж. Необходимость консервирования кормов продиктована тем, что животных с высокой продуктивностью и интенсивным откормом при круглогодичном стойловом содержании держат на этих кормах круглый год с использованием totally-smeшанных рационов.

Эти корма занимают большой удельный вес среди травянистых кормов. К ним относятся сенаж (влажностью 40–60 %), силос из провяленных трав (влажностью 60–70 %) и консервированный корм из провяленных трав (влажностью 70–75 %) с добавкой химических консервантов. Технологии заготовки этих кормов имеют в своей основе сходные операции, выполнение которых осуществляют на практике одним и тем же набором технических средств. Это косилки всех типов, ворошилки, грабли-валкователи, кормоуборочные комбайны, тракторные прицепы, автомобили-самосвалы, фронтальные погрузчики, колесные тракторы (рисунок 2).

Из всех стебельчатых кормов для сельскохозяйственных животных в стойловый период наиболее близким к свежескошенной траве по своему качеству и физиологическому состоянию является сенаж. Он имеет большую влажность, чем сено, меньшую кислотность, чем силос, пре-восходит оба эти корма по содержанию протеина, каротина, сахара и обменной энергии в пересчете на сухое вещество.

В последние годы все более распространенным становится прессование провяленной травяной массы в рулоны с упаковкой в пленку (рисунок 3). По сравнению с заготовкой сенажа в траншеях преимущество этой технологии заключается в полной механизации процесса, повышении в 1,5–2 раза производительности труда, возможности силосования трав в оптимальные сроки в любых количествах. Расход пленки в 4–6 слоев – 600–650 г на 1 т массы [3].

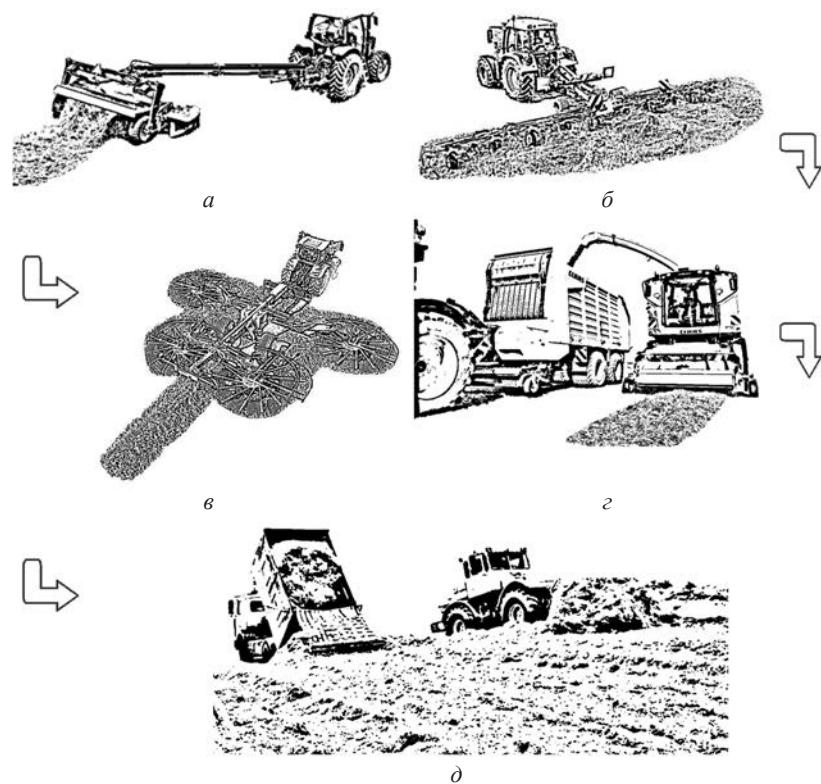


Рисунок 2 – Технологическая схема заготовки сенажа и силоса с закладкой травяной массы в траншейные хранилища: а – скашивание; б – ворошение; в – сгребание (валкование); г – подбор и измельчение массы; д – транспортировка, выгрузка и трамбовка массы

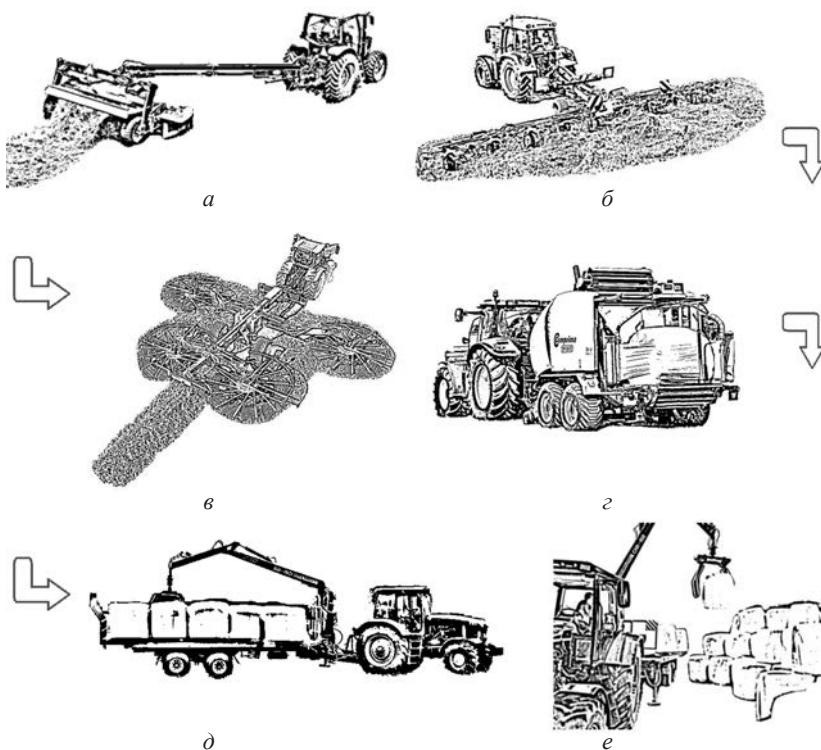


Рисунок 3 – Технологическая схема заготовки сенажа путем прессования травяной массы рулонными пресс-подборщиками с последующей индивидуальной обмоткой стрейч-пленкой: а – скашивание; б – ворошение; в – гребание (валкование); г – прессование с обмоткой; д – погрузка и транспортировка; е – скирдование

Данная технология прошла серьезную хозяйственную проверку, в результате которой подтверждена несомненная ее эффективность. А именно:

- меньшая зависимость от погодных условий позволяет сократить сроки заготовки кормов;
- комплексная механизация заготовки кормов наряду со значительным (25–30 %) снижением общих трудозатрат исключает ручной труд, экономит энергозатраты;
- исключены потери кормов при их заготовке и скармливании;
- обеспечивается высокое качество кормов.

Технология заготовки сенажа в рулонах с упаковкой в стрейч-пленку позволяет устраниТЬ как минимум четыре причины потери качества: некачественные измельчение и трамбовку, краевой эффект, вторичную ферментацию.

В настоящее время в Республике Беларусь технологическая операция сгребания высущенной или провяленной массы в валки выполняется преимущественно ротационными граблями (рисунок 4), которые сгребают травяные корма граблинами, установленными на вращающихся роторах с шириной захвата от 4 до 7 м (ГВР-420, ГВР-630, ГР-700П – производство ОАО «Управляющая компания холдинга «БобруйскАгроМаш»; ГВЦ-6,6, ГВБ-6,2 – производство ОАО «Лидагропроммаш»).

Основное достоинство ротационных граблей-валкователей – это минимальная чувствительность рабочих органов к плотности растительности, ее засорению и препятствиям в виде камней. Однако ротационные грабли-валкователи имеют существенный технологический недостаток, который заключается в принципе работы самой машины. Дело в том, что процесс сгребания травяной массы ротационными граблями-валкователями происходит путем волочения их по поверхности поля, что увеличивает вероятность увлечения за собой камней и других инородных тел в валок. Кроме того, высокая окружная скорость зубьев граблин (10–15 м/с) и постоянный их контакт с поверхностью почвы приводит к засорению формируемого валка землей и другими механическими включениями (особенно при работе валкователя на сложном рельефе), а также высоким потерям листьев и соцветий, особенно при многоукосной системе заготовки травяных кормов. Всё это приводит и к потере энергетической ценности травяных кормов.

Одновременно с использованием ротационных граблей-валкователей применяются колесно-пальцевые грабли (рисунок 5) производства ОАО «Минойтовский ремонтный завод» (ГРЛ-8,5; ГРЛ-9,6; ГРЛ-10,6; ГРЛ-11,7); ОАО «Управляющая компания холдинга «БобруйскАгроМаш» (ГК-630 и ГВ-7,2/9,6 «Берестье»), а также производства ОАО «Гомельоблагсервис» (ГВВП-6,0).



Рисунок 4 – Ротационные грабли-валкователи в работе



Рисунок 5 – Колесно-пальцевые грабли-валкователи в работе

Отличительной особенностью колесно-пальцевых граблей-валкователей от ротационных является то, что сгребание травяных кормов осуществляется с помощью вертикально вращающихся пальцевых рабочих колес, расположенных под углом в 45–50° к линии движения машины. При этом привод пальцевых колес осуществляется не от ВОМ трактора, как у ротационных, а от сил сцепления с растительной массой, расположенной на земле, что положительно отражается не только на стоимости машины, но и на качестве сгребания зеленої массы. Суть в том, что при работе колесно-пальцевых граблей-валкователей окружная скорость пальцев рабочих колес в несколько раз ниже, чем у зубьев ротационных граблей, благодаря чему режимы работы колесно-пальцевых граблей являются щадящими, а, следовательно, их можно применять для валко-

ния бобовых трав и бобово-злаковых смесей с многоукосной системой их заготовки. Кроме того, благодаря наличию в каждом рабочем колесе пружинной подвески пальцы колес хорошо адаптируются к неровностям почвы, включая склоны и холмистые угодья, при этом, в сравнении с ротационными граблями, несколько снижая засорение формируемого валка камнями, землей, пылью и другими инородными включениями [4].

Однако полностью исключить засорение формируемого валка при использовании колесно-пальцевых граблей не представляется возможным, так как и им присущ тот же недостаток, что и ротационным граблям, заключающийся в принципе их работы – волочении. Понятно, что процесс волочения травяной массы колесно-пальцевыми граблями неразрывно связан с необходимостью постоянного контакта пальцев рабочих колес с поверхностью почвы. Отсутствие выполнения данного условия приводит к прекращению работы пальцев колес ввиду особенности их привода, а следовательно, и процесса сгребания травяной массы в валок.

Известно, что роторные и колесно-пальцевые грабли формируют валок, перемещая зеленую массу по полю, поднимая пыль, повреждая скошенные растения и оставляя часть урожая на поле [5–8]. Потери могут быть слишком значительными и даже равняться стоимости новой машины [9]. В связи с чем действительно назрела необходимость использования новых машин для выполнения работ по формированию валков, обеспечивающих минимальные потери и загрязнение кормов.

Чтобы собрать грубые корма с минимальными потерями и наименьшим загрязнением, а также щадяще по отношению к последующей генерации растений травостоя, в США и Западной Европе на протяжении нескольких лет уже используют валкователи ленточного типа.

В результате проведенного обзора лучших промышленно-освоенных объектов техники было установлено, что фирмами Reiter (RT Engineering) (Австрия), ROC (Италия), POTTINGER (Австрия), KUHN (Франция), SIP (Словения), Oxbo International Corp (США) и другими разработаны и реализуются сельхозпроизводителям валкователи травяных кормов ленточного типа, предназначенные для подбора и укладки скошенной массы в один или два валка для последующей уборки пресс-подборщиком или кормоуборочным комбайном (рисунки 6–9).



Рисунок 6 – Ленточный валкователь RESPIRO R 9 PROFI фирмы Reiter (RT Engineering) (Австрия)



Рисунок 7 – Ленточный валкователь RT 1000 фирмы ROC (Италия)



Рисунок 8 – Ленточный валкователь MERGE MAXX 950 фирмы KUHN (Франция)

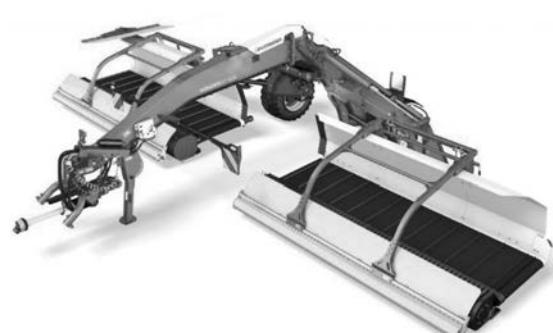


Рисунок 9 – Ленточный валкователь Mergento VT 9220 фирмы POTTINGER (Австрия)

Принцип действия ленточных валкователей можно сравнить с принципом работы подборщика кормоуборочного комбайна или прицепных косилок с ленточным транспортером – скошенная масса не стягивается в валок по земле, а без дополнительного соприкосновения с почвой подхватывается и укладывается в него. В этом заключается первое преимущество рассматриваемых машин. Корма в меньшей степени подвергаются загрязнению в сравнении с другими технологиями валкования, прежде всего, при работе роторными валкообразователями и колесно-пальцевыми граблями. К тому же благодаря этому снижается износ машин во всей последующей уборочной цепочке, независимо от того, какие машины она включает – кормоуборочный комбайн, прицеп-подборщик или пресс-подборщик. Кроме того, в валок попадает меньше камней.

Щадящий режим уборки приобретает особое значение при работе на подборе низкоурожайной массы и сведении ее с нескольких прокосов в один валок. В этом контексте ленточные валкователи идеально подходят для работы с люцерной. Благодаря деликатному подбору скошенной массы листва люцерны, богатая белками, остается на стебле и попадет в валок, что существенно повышает ценность и качество кормов из этой культуры. Кроме того, такие машины не повреждают молодые побеги люцерны, которые могут уже начать отрастать в процессе, когда идет валкование, это ускоряет срок созревания растений нового урожая [10].

Еще один плюс в копилку ленточных валкователей – более высокая максимальная рабочая скорость. В зависимости от конфигурации поля и урожайности скошенной массы изготовители говорят об увеличении рабочей скорости по сравнению с другими решениями на 2–8 км/ч и указывают максимально возможную – до 20 км/ч [11]. На низких рабочих скоростях ленточные валкователи великолепно справляются с большим количеством скошенной массы.

При подборе ленточными валкователями лучше перемешиваются уже сухие и еще влажные компоненты, в дальнейшем травяная масса просушивается равномерно благодаря рыхлости образуемого валка. Но такое интенсивное перемешивание при работе с длинностебельчатой массой может привести к сильному ее переплетению в валке. Поэтому скошенный материал лучше укладывать стеблями по направлению движения.

Сформированный ленточным валкователем богатый валок удобен для кормоуборочного комбайна: его производительность и эффективность работы повышаются за счет сокращения числа проходов. По данным отдельных производителей оптимальный валок способствует увеличению скорости работы комбайна на 20 % [11].

Важно отметить, что для всех ленточных валкователей характерен гидравлический привод подборщика и поперечных ленточных транспортеров. Гидравлика позволяет регулировать частоту вращения вала и скорость работы в зависимости от условий уборки. В прицепных вариантах орудий с большой шириной захвата масло по гидроконтуру гонится одним или двумя масляными насосами, приводимыми от вала отбора мощности и имеющими собственный запас масла. Во фронтально навешиваемых орудиях циркуляция масла обеспечивается системой управления фронтальными агрегатами трактора.

## Заключение

Анализ материалов, опубликованных в отечественной и зарубежной патентной и научно-технической литературе, показывает, что применяемые на сегодняшний день ротационные и колесно-пальцевые грабли-валкователи имеют существенный технологический недостаток – волочение травяной массы по полю, из-за чего велика вероятность попадания в валок камней и других посторонних предметов. Поэтому при уборке таких валков увеличивается вероятность повреждения кормоуборочной техники. Кроме того, существует проблема засорения формируемого валка землей и пылью, особенно при работе на неровном рельфе, а также высоких потерь листьев и соцветий, что лишает корм части питательных веществ.

Вышеприведенные недостатки ротационных и колесно-пальцевых граблей-валкователей привели ряд зарубежных стран к изысканию нового принципа их работы, обеспечивающего получение максимально «чистого» корма. В результате проведенного обзора лучших промышленно-освоенных объектов техники было установлено, что фирмами Reiter (RT Engineering) (Австрия), ROC (Италия), POTTINGER (Австрия), KUHN (Франция), SIP (Словения), Oxbo International Corp (США)

и другими разработаны и реализуются сельхозпроизводителям валкователи травяных кормов ленточного типа, предназначенные для подбора и укладки скошенной массы в один или два валка для последующей уборки пресс-подборщиком или кормоуборочным комбайном.

Применение ленточного валкователя позволит также:

- формировать один большой валок без потери качества каждые 9, 18, 27, 36 и 45 м, что позволяет существенно экономить топливо и обеспечить необходимую загрузку кормоуборочного комбайна, пресс-подборщика и прицеп-подборщика;
- осуществлять заготовку кормов в более сжатые сроки, так как производительность ленточного валкователя выше, чем у традиционных граблей-валкователей;
- обеспечить эффективную заготовку кормов при втором, третьем и последующих укосах, когда объем массы с гектара снижается;
- получать корма с высоким качеством, что в свою очередь повышает и качество конечной продукции;
- снизить ветеринарные расходы: животные, получающие качественный корм, более здоровы, менее подвержены желудочным инфекциям и смерти от клостридиоза;
- повышать продуктивность коров: согласно исследованиям, улучшение качества корма позволяет получать в сутки на 1–1,5 л молока больше, а это дополнительная прибыль.

Таким образом, учитывая весьма убедительные достоинства новых валкователей ленточного типа и их явное превосходство перед ротационными и колесно-пальцевыми граблями, становится абсолютно очевидной актуальность создания и освоения в производстве отечественного аналога валкователя, внедрение которого обеспечит повышение качества основных видов кормов, а значит – приблизит выполнение планов в кормопроизводстве Республики Беларусь.

### Список использованных источников

1. Программный комплекс мер по развитию кормопроизводства на 2021–2025 годы : утв. заместителем Премьер-министра Республики Беларусь от 16 марта 2021 г. № 06/217-261/220.
2. Рабочий план по заготовке травяных кормов в 2024 году : офиц. сайт Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь. – Минск, 2007–2025. – URL: <https://mshp.gov.by/uploads/Files/documents/plant/rplan-korma2024.pdf> (дата обращения: 15.01.2025).
3. Станкевич, С. И. Современные технологии заготовки кормов : рекомендации / С. И. Станкевич, С. И. Холдеев. – Горки : БГСХА, 2016. – 29 с.
4. Техническое обеспечение кормоуборочных работ. Состояние и перспективы / И. М. Лабоцкий, П. В. Яровенко, Н. А. Горбацевич [и др.] // Механизация и электрификация сельского хозяйства : межвед. темат. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2013. – Вып. 46. – Т. 2. – С. 3–10.
5. Дыба, Э. В. Предпосылки к изучению влияния параметров рабочего органа сдвоенного типа к колесно-пальцевым граблям на качество валкования скошенных трав / Э. В. Дыба, В. В. Микульский // Механизация и электрификация сельского хозяйства : межвед. темат. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2020. – Вып. 54. – С. 145–149.
6. Дыба, Э. В. Анализ современных конструкций колесно-пальцевых граблей, применяемых для валкования травяных кормов / Э. В. Дыба, Л. И. Трофимович // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве : материалы Междунар. науч.-техн. конф. РУП «НПЦ НАН Беларусь по механизации сельского хозяйства», посвящ. 100-летию со дня рождения М. М. Севернева. – Минск. – 2021. – С. 50–63.
7. Дыба, Э. В. Анализ известных типов граблей-валкователей / Э. В. Дыба, В. В. Микульский, Л. И. Трофимович // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве : материалы Междунар. науч.-техн. конф. РУП «НПЦ НАН Беларусь по механизации сельского хозяйства», посвящ. 100-летию со дня рождения М. М. Севернева. – Минск. – 2021. – С. 104–109.
8. Дыба, Э. В. Поиск путей повышения качества травяных кормов / Э. В. Дыба, В. В. Микульский, Т. А. Непарко // Актуальные проблемы устойчивого развития сельских территорий и кадрового обеспечения АПК : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 3–4 июня 2021 г. ; редкол.: Н. Н. Романюк [и др.]. – Минск : БГАТУ, 2021. – С. 408–413.
9. Почему ленточный валкообразователь стоит внимания : офиц. сайт электронной версии журнала «Молоко и Ферма». – 2008–2025. – URL: <http://milkua.info/ru/post/posetmu-lentocnyj-valkoobrazovatel-stoit-vnimania> (дата обращения: 12.09.2024).
10. Ленточные валкообразователи : офиц. сайт компании «ROC». – 1998–2024. – URL: <https://roc-rus.ru> (дата обращения: 12.09.2024).
11. Чисто, бережно и быстро : офиц. сайт электронной версии журнала «Новое сельское хозяйство». – 1998–2024. – URL: <https://www.nsh.ru/selhoztehnika/chisto-berezhno-i-bystro> (дата обращения: 12.09.2024).

**А. Н. Перепечаев, В. В. Зыбайло, А. М. Хартанович**

*РУП «НПЦ НАН Беларусь по механизации сельского хозяйства»*

*г. Минск, Республика Беларусь*

*E-mail: info@belagromech.by*

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРЕССОВАНИЯ КОРОТКОГО ЛЬНОВОЛОКНА**

*Аннотация.* В статье рассматриваются преимущества использования прессовальных машин в производстве льноволокна, а также их роль в повышении эффективности производства и снижении затрат.

*Ключевые слова:* лен, льноволокно, прессование, переработка, короткое льноволокно, машина прессовальнаяная.

**A. N. Perepechayev, V. V. Zybailo, A. M. Khartanovich**

*RUE “SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization”*

*Minsk, Republic of Belarus*

*E-mail: info@belagromech.by*

## **AUTOMATION OF PRESSING SHORT FLAX FIBER**

*Abstract.* The article discusses the advantages of using pressing machines in flax fiber production as well as their role in increasing production efficiency and reducing costs.

*Keywords:* flax, flax fiber, pressing, processing, short flax fiber, pressing machine.

### **Введение**

Лен – важная техническая культура, играющая значительную роль в развитии сельского хозяйства и легкой промышленности. По данным открытых источников, льноводство является основой текстильной отрасли во многих странах.

С увеличением потребностей мирового рынка в экологически чистых материалах, таких как льноволокно, перед сельским хозяйством стоит задача повысить эффективность его производства и переработки. Однако обработка короткого льноволокна требует специальных технологий и оборудования, обеспечивающих его уплотнение и подготовку к последующей обработке [1].

Машина прессовальная для короткого льноволокна играет ключевую роль в этом процессе, позволяя увеличить производительность и снизить затраты. Именно прессование обеспечивает удобство транспортировки, компактное хранение и сохранение качества волокна.

### **Основная часть**

В условиях современного производства льноволокна особое значение приобретает использование инновационных технологий и оборудования, направленных на повышение эффективности переработки сырья и снижение экологического воздействия.

Короткое льноволокно, являющееся побочным продуктом при обработке льна, зачастую остается невостребованным или утилизируется с трудом, что приводит к потере ценных ресурсов и увеличению отходов. Для решения этих проблем были разработаны специальные прессовальные машины – оборудование, позволяющее превращать отходы льноволокна в компактные кипы или брикеты, которые удобно хранить и транспортировать. Такие устройства не только способствуют рациональному использованию сырья, но и открывают новые возможности для производства экологичных материалов, биотоплива и утеплителей [2].

Прессовальная машина короткого льноволокна предназначена для уплотнения короткого льноволокна: в результате процесса формируются кипы, обладающие высокой плотностью

и стабильными характеристиками. В зависимости от конструкции и типа привода различают гидравлические, пневматические и механические прессы [3].

После получения короткого льноволокна на линии оно направляется для уплотнения и формирования кип. Процесс изготовления кип включает следующие операции: формирование партии определенной массы; загрузка партии в прессовальную камеру; сжатие, уплотнение и формирование кип; обвязка сформированной кипы; выталкивание кип из прессовальной камеры и транспортировка на склад [4].

В основном на существующих льнозаводах применяют вертикальный пресс.

Пресс пакетировочный вертикальный предназначен для прессования льняного волокна в кипы. Масса кипы льна – 80 кг. Размеры кипы в миллиметрах – 714 x 570 x 580–800. Обвязка кипы – ручная, выталкивание кипы – механическое [5].

Данная машина не отвечает современным требованиям к процессу прессования и требует много ручного труда: ручная порционная загрузка и формирование партии в камере пресса, ручная обвязка кип и выталкивание из прессовальной камеры.

Поэтому целесообразно создать пресс, обеспечивающий прессование и обвязку кипы в потоке на линии короткого льноволокна, что позволит автоматизировать данный процесс.

Теоретическое определение производительности пресса и время формирования одной кипы данного пресса можно представить следующим образом. Зная количество кип  $N$ , запрессованных за время  $T$ , можно рассчитать производительность пресса  $A$  по формуле:

$$A = \frac{N}{T},$$

или поскольку  $N = T/T_1$ , где  $T_1$  – продолжительность изготовления одной кипы:

$$A = \frac{1}{T_1}.$$

Время формирования одной кипы  $T_1$  определяется как совокупность времени, затраченного на транспортировку и формирование навески  $T_\phi$ , загрузки ее в камеру  $T_3$ , непосредственного прессования  $T_{\text{пр}}$ , обвязки  $T_o$ , выталкивания паковки из прессовочной камеры  $T_b$  и транспортирования кипы до места хранения  $T_{xp}$ :

$$T_1 = T_\phi + T_3 + T_{\text{пр}} + T_o + T_b + T_{xp}.$$

Время непосредственного прессования навески в общем времени изготовления кипы занимает небольшую долю: около 12–13 % [6].

Для увеличения производительности пресса следует сокращать время выполнения трудоемких вспомогательных операций, таких как:

- формирование и загрузка навески в прессовочную камеру;
- обвязка и выталкивание паковки из камеры.

Для сокращения времени выполнения вспомогательных операций необходимы разработка и внедрение автоматизации процесса прессования в зависимости от производительности линии короткого волокна, а следовательно, необходимо внедрить механизацию и автоматизацию прессования короткого льноволокна в потоке, связанную с линиями короткого волокна, что обеспечит экономию трудозатрат, улучшит качество обслуживания линии короткого волокна и создаст хорошие условия работы на месте прессования короткого волокна.

С этой целью учеными и конструкторами РУП «НПЦ НАН Беларусь по механизации сельского хозяйства» разрабатывается конструкторская документация на опытный образец автоматизированной машины прессовальной для короткого льноволокна.

Данная прессовальная машина короткого льноволокна для прессования в потоке разрабатывается впервые.

## Заключение

Готовая продукция заводов первичной обработки лубяных волокон представляет собой длинное волокно, которое поставляется на РУПТП «Оршанский льнокомбинат» для текстильных нужд. Короткое льноволокно получается в результате переработки отходов линии выра-

ботки длинного волокна и в кипах поставляется для дополнительной переработки на заводы Республики Беларусь, а также в Китай и другие страны [7].

Для улучшения качества продукции, облегчения труда и повышения производительности линии короткого льноволокна целесообразно переходить на механизированный и автоматизированный процессы производства короткого волокна, конечным этапом которого является прессование короткого волокна в кипы. В связи с этим требуется обеспечить оснащение соответствующим оборудованием предприятий, входящих в эту отрасль.

Современная прессовальная машина, которая будет иметь высокую производительность, надежность и простоту в обслуживании, значительно повысит эффективность производства короткого льноволокна, снизит трудозатраты на прессование и транспортировку кип. Совершенствование таких машин является приоритетным направлением для отечественного машиностроения в области переработки льнотресты, способствует эффективному использованию льна и получению ценных видов продукции.

### **Список использованных источников**

1. Оборудование первичной переработки льна / А. Н. Перепечаев, Е. В. Кислов, А. И. Тарима, В. И. Карпунин // Механизация и электрификация сельского хозяйства : межвед. темат. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларусь по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2022. – Вып. 55. – С. 30–35.
2. Живетин, В. В. ХХI век – век льна / В. В. Живетин // Наука и жизнь. – 1999. – № 4. – С. 16–18.
3. Ипатов, А. М. К вопросу о создании проходного пресса непрерывного действия для прессования льняного волокна : метод. рекомендации // А. М. Ипатов, Г. Л. Бобков. – Кострома, 1989. – Ч. 3. – 67 с.
4. Бобков, Г. Л. Формирование кип порционным способом. Технические культуры / Г. Л. Бобков, А. М. Ипатов. – Кострома, 1990. – 34 с.
5. Пресс для льноволокна : офиц. сайт компании «Пульс цен». – URL: [https://mogilev.pulscen.by/products/press\\_dlya\\_lnovolokna\\_uzhim\\_560\\_niistromavtoliniya\\_248384612](https://mogilev.pulscen.by/products/press_dlya_lnovolokna_uzhim_560_niistromavtoliniya_248384612) (дата обращения: 08.07.2025).
6. Справочник по заводской первичной обработке льна / под общ. ред. А. А. Разуваева. – 2-е изд. – М. : Ростехиздат, 1962. – 756 с.
7. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины : учеб. пособие для высш. с.-х. учеб. заведений / Г. Е. Листопад, Г. К. Демидов, Б. Д. Зонов [и др.] ; под общ. ред. Г. Е. Листопада. – М. : Агропромиздат, 1986. – 688 с.

**В. В. Микульский, Н. Д. Лепешкин, П. П. Бегун**

*РУП «НПЦ НАН Беларусь по механизации сельского хозяйства»  
г. Минск, Республика Беларусь  
E-mail: mehposev@mail.ru*

## **ПЕРСПЕКТИВА ПРИМЕНЕНИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ПНЕВМАТИЧЕСКОГО ВЫСЕВАЮЩЕГО АППАРАТА С АВТОМАТИЗИРОВАННЫМ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИМ ПРИВОДОМ В СЕЯЛКАХ ТОЧНОГО ВЫСЕВА**

*Аннотация.* В данной статье представлена актуальность разработки высокоскоростных пневматических высевающих аппаратов с автоматизированным электромеханическим приводом на сеялках для высева семян кукурузы. Проведен анализ конструкций высевающих аппаратов отечественных сеялок точного высева, показывающий их несостоительность в обеспечении высокого качества высева семян, а также невысокую производительность по сравнению с зарубежными образцами. Предложен электромеханический привод высевающих аппаратов, позволяющий увеличить рабочую скорость сеялки и не снизить при этом качество высева семян.

*Ключевые слова:* сеялка точного высева, механический привод, электромеханический привод, неравномерность высева, высевающий аппарат.

**V. V. Mikulski, N. D. Lepeshkin, P. P. Behun**

*SUE “SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization”  
Minsk, Republic of Belarus  
E-mail: mehposev@mail.ru*

## **PROSPECTS FOR USING HIGH-SPEED PNEUMATIC SEEDING UNIT WITH AUTOMATED ELECTROMECHANICAL DRIVE IN PRECISION SEEDING DRILLS**

*Abstract.* This article presents the relevance of developing high-speed pneumatic seeding units with an automated electromechanical drive on seeders for sowing corn seeds. An analysis of the designs of seeding units of domestic precision seeding seeders is carried out, showing their inconsistency in ensuring high quality of seeding, as well as low productivity, compared with foreign models. An electromechanical drive of seeding units is proposed, allowing to increase the operating speed of the seeder without reducing the quality of seeding.

*Keywords:* precision seeding drill, mechanical drive, electromechanical drive, uneven seeding, seeding unit.

### **Введение**

Интенсификация сельскохозяйственного производства на основе внедрения ресурсосберегающих технологий является стратегическим направлением, обеспечивающим прирост объемов производства всех видов сельскохозяйственной продукции. Так, например, в животноводческой отрасли до конца 2025 г. предусматривается достижение объемов производства молока на уровне не менее 9 200 тыс. т, выращивания крупного рогатого скота – 713 тыс. т [1].

Естественно, производство намеченных объемов молока и мяса немыслимо без гарантированного обеспечения животных кормами, в структуру которых по-прежнему входят основные виды кормов, заготавливаемые из трав и силосных культур – сено, сенаж, силос. При этом необходимо отметить, что около 55 % от всех видов кормов были и остаются стратегическими для нашей страны силосные корма кукурузы [2].

Для реализации программного комплекса мер на нынешнюю пятилетку за последние 5 лет посевные площади кукурузы были увеличены более чем на 19 % и в настоящее время на зерно и на силос отведено 330 и 920 тыс. га соответственно. Это около 24 % площадей от всей пашни сельскохозяйственных организаций [3].

Для посева кукурузы в Республике Беларусь используют специальные сеялки, обеспечивающие точный их высев, как правило, с припосевым внесением удобрений. По данным Минсельхозпрода, в настоящее время в стране имеется 2 265 сеялки точного высева. С учетом посевых площадей и технической возможности сева кукурузы нынешним численным составом сеялок точного высева расчетные сроки их посева в 2025 г. в зависимости от области составили от 26 до 39 дней, что в 2–3 раза превышает регламентируемые сроки их посева: 10–12 дней при устойчивом прогревании почвы до 8–10 °C на глубине заделки семян [4; 5].

Вместе с тем, чтобы приблизить сроки посева к агротехнически необходимым, многие сельскохозяйственные предприятия используют для посева кукурузы комбинированные почвообрабатывающие посевые агрегаты, которые заметно снижают качество всходов и, соответственно, урожайность. В связи с этим для обеспечения качественного высева семян кукурузы в требуемые агротехнические сроки в условиях недостаточности квалифицированных кадров на селе сельхозпредприятиям Беларуси необходимы высокопроизводительные сеялки точного высева.

### Основная часть

Ведущими отечественными производителями сеялок точного высева являются ОАО «Управляющая компания холдинга «Лидсельмаш» (6-секционная сеялка СПЧ-6ЛТ) (рисунок 1), ОАО «Лидагропроммаш» (8- и 12-секционные сеялки СТВ-8КУ и СТВ-12У) (рисунок 2), ОАО «Брестский электромеханический завод» (6-, 8- и 12-секционные сеялки СКП-6К/ СКП-8КУ, СКП-12 КУ «Берестье») (рисунок 3) и ООО «Элезер» (8- и 12-секционные сеялки точного высева СТВ-8/70, СТВ-12/70) (рисунок 4).

Основная задача данных сеялок заключается в равномерном размещении на установленную глубину заданного количества семян на единице площади поля. В этом случае можно ожидать получение максимального урожая. Однако для отечественных сеялок данное требование справедливо лишь при рабочих скоростях 6–8 км/ч, в то время как сеялки зарубежного производства способны точно высевать семена на рабочих скоростях 15–20 км/ч.

В ходе анализа конструкций отечественных сеялок было установлено, что основными причинами низкой их производительности являются применение пневматических высевающих аппаратов вакуумного типа с гравитационным сбросом семян в семяпровод, а также применение механического их привода.

Негативное влияние механического привода высевающих аппаратов на производительность заключается в проскальзывании ведущих колес и цепей, что приводит к повышению просевов и, соответственно, к снижению точности раскладки семян в рядке. Наибольшее влияние указанного недостатка проявляется при несоблюдении оператором энергосредства стабильного скоростного режима во время выполнения технологической операции посева [6].



Рисунок 1 – 6-секционная сеялка СПЧ-6ЛТ (ОАО «Управляющая компания холдинга «Лидсельмаш»)



Рисунок 2 – 8-секционная сеялка СТВ-8КУ ОАО «Лидагропроммаш»



Рисунок 3 – 12-секционная сеялка СКП-12 КУ «Берестье» ОАО «Брестский электромеханический завод»



Рисунок 4 – 8-секционная сеялка СТВ-8/70 ООО «Элазер»

Кроме того, при использовании механического привода высевающих аппаратов, при пересеве семян у края поля из-за отсутствия возможности посекционного отключения секций и компенсации высева на поворотах наблюдается угнетение семян, приводящее, в зависимости от сложности конфигурации поля, к снижению урожайности от 5 до 17 %, а также к повышению затрат на посевной материал в среднем на 5 %, цена которого в настоящее время варьируется от 80 до 200 руб/га [7].

Недостатком механического привода высевающих аппаратов являются и повышенные затраты времени при перенастройке нормы высева, а также повышенные материальные и временные затраты на техобслуживание редукторов и цепных передач.

Основным недостатком пневматических вакуумных высевающих аппаратов, снижающих точность высева семян на более высоких скоростях, является повышенная чувствительность к вибрациям из-за неровности поля, приводящая к задержке свободного падения вышедших из дозатора семян в семяпровод и в самом семяпроводе.

В ходе обзора и анализа тенденции развития ведущих мировых брендов сеялок точного высева было установлено, что ряд зарубежных стран уже смогли решить схожие недостатки: такими фирмами, как HORSCH (Германия), Väderstad (Швеция), MASCHIO GASPARDО (Италия), John Deere (США), Amazonen-Werke (Германия) и другими были разработаны целые серии нового поколения сеялок точного высева с высокоскоростными высевающими аппаратами, привод которых осуществляется электромеханическим способом.

Суть работы данных высевающих аппаратов заключается в приеме от дозированных семян диском в точке их сброса и полном контроле при последующем их перемещении по семяпроводу сошника до укладки в борозду: таким образом снижается негативное влияние вибрации и уклонов поля на точность высева и в несколько раз повышается производительность сеялки.

В настоящее время реализация данной технологии осуществляется двумя способами. Первый способ заключается в применении классических вакуумных высевающих аппаратов с перемещением семян от момента их сброса из высевающего диска до укладки в борозду по транспортерной ленте (рисунок 5). Второй способ заключается в применении высевающих аппаратов с подачей разделенного потока избыточного воздуха в дозирующую систему, где первый поток прижимает семена к отверстиям дозирующих дисков, а второй поток в момент сброса семян в трубку сошника подхватывает и «выстреливает» их в почву (рисунок 6).



Рисунок 5 – Высевающий аппарат True Speed Blue Drive (Kinze, США)

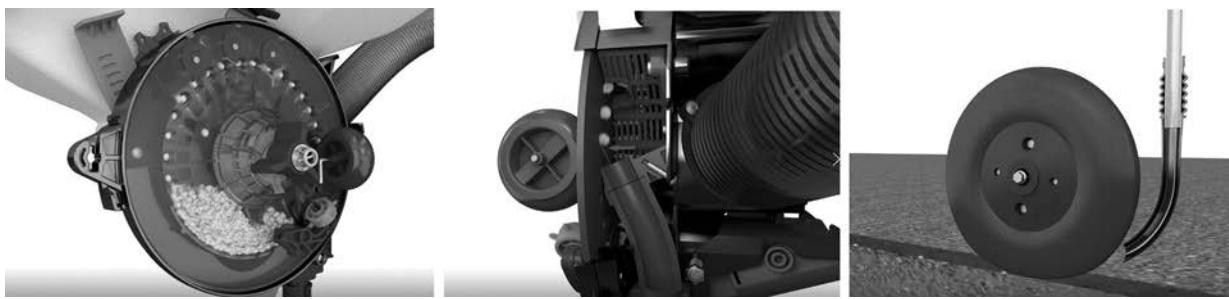


Рисунок 6 – Высевающий аппарат Gilstring Seed Meter (Väderstad, Швеция)

Что касается электромеханического привода высевающих аппаратов, то он позволяет исключить прямую связь с колесом сеялки и вместо этого применить в данном приводе элементы с числовым программным управлением, что, в свою очередь, позволяет точно синхронизировать скорость перемещения сеялки с частотой вращения высевающего аппарата, стабилизировать установленные нормы высева семян, обеспечивая, таким образом, резерв к увеличению рабочей скорости сеялки без потерь качества высева семян, которая в данном случае будет ограничивающей уже техническими возможностями высевающих аппаратов (рисунок 7). Кроме того, применение электромеханического привода открывает возможность дистанционного управления каждым высевающим аппаратом с автоматизированным отключением одного или группы аппаратов на полях со сложной конфигурацией, поворотных полосах и на засеянных участках поля с помощью системы спутниковой навигации. При этом на поворотных полосах и при развороте сеялки обеспечивается одинаковое расстояние между семенами как в центральной части окружности, так и в дальней.

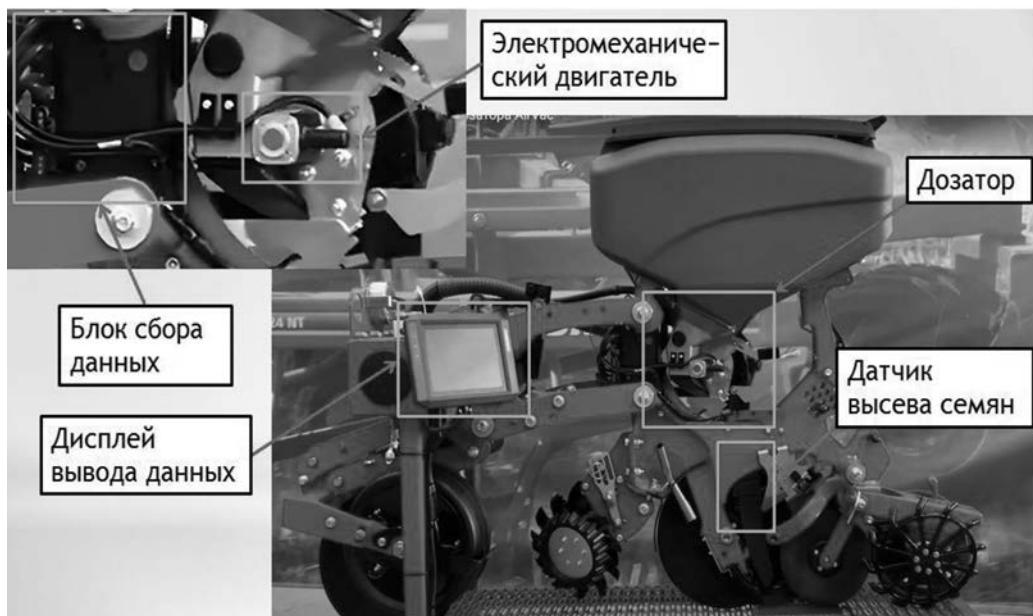


Рисунок 7 – Высевающая секция сеялки точного высева MAESTRO (HORSCH, Германия)

### **Заключение**

Подводя итог вышесказанному, можно заключить, что существующие отечественные сеялки точного высева с механическим приводом высевающих аппаратов не в состоянии обеспечить высокое качество высева семян кукурузы. Кроме того, они имеют небольшую производительность в силу невысокой рабочей скорости 6–8 км/ч, ограниченной техническими возможностями высевающих аппаратов качественно распределять высеваемые семена в рядках. Поэтому разработка и внедрение в производство высокоскоростных пневматических высевающих аппаратов

с автоматизированным электромеханическим приводом на сейлках для высева семян кукурузы позволит устранить данные недостатки отечественных сеялок точного высева, и, соответственно, повысить качество высева семян, обеспечивая при этом высокую производительность.

### **Список использованных источников**

1. О Государственной программе «Аграрный бизнес» на 2021–2025 годы : постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 1 февр. 2021 г. № 59 / Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – Минск, 2003–2025. – URL: <https://www.mshp.gov.by/documents/ab2025.pdf> (дата обращения: 20.05.2025).
2. Рабочий план по заготовке травяных кормов в 2024 году : офиц. сайт Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь. – Минск, 2007–2025. – URL: <https://mshp.gov.by/uploads/Files/rasten/rp-korma2025.pdf> (дата обращения: 20.05.2025).
3. Рабочий план по подготовке и проведению весенних полевых работ в 2021 году : офиц. сайт Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь. – Минск, 2007–2025. – URL: <https://mshp.gov.by/uploads/Files/docu-ments/plan-vpr2021.pdf> (дата обращения: 20.05.2025).
4. Рабочий план по подготовке и проведению весенних полевых работ в 2025 году : офиц. сайт Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь. – Минск, 2007–2025. – URL: <https://mshp.gov.by/uploads/Files/documents/plant/rp-vpr-2025.pdf> (дата обращения: 20.05.2025).
5. Организационно-технологические нормативы возделывания кормовых и технических культур : сб. отраслевых регламентов / НАН Беларуси, НПЦ НАН Беларуси по земледелию ; рук. разраб. Ф. И. Привалов [и др.] ; под общ. ред. В. Г. Гусакова, Ф. И. Привалова. – Минск : Беларус. наука, 2012. – 469 с.
6. Литвинов, М. А. Разработка автоматизированного привода высевающего аппарата селекционной сеялки : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Литвинов Максим Алексеевич ; ФГБНУ ФНАЦ ВИМ. – М., 2022. – С. 5.
7. Vega 8 Profi с электроприводом : офиц. сайт компании «Эльворті». – Кропивницкий, 2003–2025. – URL: <https://elvorti.com/catalog/sivalki-prosapni/vega-8-profi-z-elektroprivodom.html?lang> (дата доступа: 28.05.2025).

**В. В. Микульский, Н. Д. Лепешкин, П. П. Бегун**

РУП «НПЦ НАН Беларусь по механизации сельского хозяйства»  
г. Минск, Республика Беларусь  
E-mail: mehposev@mail.ru

## **АКТУАЛЬНОСТЬ РАЗРАБОТКИ ШТАНГОВОГО АДАПТЕРА ДЛЯ ВНЕСЕНИЯ ХИММЕЛИОРАНТОВ К СЕРИЙНО ВЫПУСКАЕМЫМ ПОЛУПРИЦЕПАМ**

*Аннотация.* В статье рассмотрены вопросы известкования кислых почв. Показаны технические средства для внесения доломитовой муки, указаны их узкие места, не позволяющие достичь качественного распределения материала по поверхности поля. Представлены разработанные РУП «НПЦ НАН Беларусь по механизации сельского хозяйства» машины для транспортировки и внесения известковых материалов МШХ-9 и МХС-10, которые решают проблему некачественного внесения химмелиорантов. Предложена перспектива применения штанговых адаптеров для внесения химмелиорантов на серийно выпускаемых многофункциональных прицепах.

*Ключевые слова:* известкование, кислотность, химмелиоранты, неравномерность внесения, пневматические разбрасыватели, штанговые рабочие органы.

**V. V. Mikulski, N. D. Lepeshkin, P. P. Behun**

SUE “SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization”  
Minsk, Republic of Belarus  
E-mail: mehposev@mail.ru

## **RELEVANCE OF DEVELOPING A ROD ADAPTER FOR APPLYING CHEMICALS TO SERIALLY PRODUCED SEMI-TRAILERS**

*Abstract.* The article considers the issues of liming acidic soils. It shows the technical means for applying dolomite flour, and points out their bottlenecks that prevent high-quality distribution over the field surface. It presents the developments of the SUE “SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization” of machines for transporting and applying lime materials MSHX-9 and MXC-10, which solve the problem of poor-quality application of chemical meliorants. It suggests the prospect of using boom adapters for applying chemical meliorants on serially produced multifunctional trailers.

*Keywords:* liming, acidity, chemical meliorants, uneven application, pneumatic spreaders, boom working elements.

### **Введение**

Создание оптимальной кислотности почв – необходимый и незаменимый агротехнический прием сельскохозяйственного производства, направленный на поддержание экологически, экономически и социально сбалансированной агросистемы.

В результате внесения в почву известковых материалов снижается кислотность почвы, устраняется вредное воздействие алюминия, повышается степень насыщенности почвы основаниями.

Улучшение реакции почвы и пищевого режима под влиянием известкования увеличивает урожай большинства сельскохозяйственных культур. Кроме того, известкование влияет и на качество урожая сельскохозяйственных культур. В условиях Республики Беларусь установлено, что в клубнях картофеля при известковании повышается содержание крахмала с 0,5 до 2,2 %, увеличивается содержание сырого протеина в зерне с 0,5 до 1 % [1].

На основании исследований РУП «Институт почвоведения и агрохимии» установлена зависимость между эффективностью удобрений и кислотностью почвы. Так, эффективность азотных удобрений при смещении pH с первой до четвертой группы кислотности увеличивалась для зерновых культур в 2–2,5 раза и в 1,5–2 раза для картофеля и сахарной свеклы [2; 3]. Положительное действие известковых удобрений сохраняется на протяжении нескольких лет.

Эффективность известкования кислых почв может быть обеспечена только при поверхностном равномерном внесении известковых материалов с обязательной последующей их заделкой. И чем равномерней они перемешаются с почвенной средой, тем больше будет их эффективность.

### Основная часть

В Республике Беларусь ежегодно известкуется 200–250 тыс. га кислых почв, вносится до 1,25 млн т известковых удобрений, основным из которых является пылевидная доломитовая мука производства Витебского комбината «Доломит». В настоящее время для их внесения используют в основном центробежные полуприцепные разбрасыватели типа РМУ-8000, МВУ-8, реже физически устаревшие самоходные разбрасыватели на базе «КАМАЗ» и «УРАЛ» типа РМУ-10, МХА-7 и пневматические разбрасыватели АРУП-8 и РУП-8 (рисунок 1), неравномерность внесения которыми в разы превышает допустимые значения. Многочисленные испытания показали, что даже в идеальных условиях (наличие ровного поля, отсутствие ветра) пневматические машины вносят пылевидные известковые удобрения с неравномерностью, превышающей 50 %. При такой высокой неравномерности внесения прибавка урожая от известкования снижается на 20–25 %. Центробежные машины вообще не предназначены для внесения пылевидных удобрений и неравномерность внесения также в разы превышает допустимые значения. Более того, при работе всех этих машин образуется большое облако пыли объемом свыше 500 м в длину и до 70 м в высоту. В этих условиях значительная часть известковых материалов уносится за пределы обрабатываемого поля, загрязняя окружающую среду.



Рисунок 1 – Машины, используемые для внесения химмелиорантов:

*а* – рассеиватель минеральных удобрений РМУ-8000; *б* – разбрасыватель минеральных удобрений и извести МВУ-8; *в* – разбрасыватель минеральных удобрений МХА-7; *г* – рассеиватель минеральных удобрений РМУ-10; *д* – автомобильный разбрасыватель пылевидных химмелиорантов АРУП-8; *е* – разбрасыватель пылевидных химмелиорантов РУП-8

Для повышения качества внесения пылевидных известковых материалов и снижения запыленности окружающей среды в РУП «НПЦ НАН Беларусь по механизации сельского хозяйства» разработаны две принципиально новые машины для транспортировки и внесения известковых материалов: полуприцепная – МШХ-9 и самоходная машина химизации МХС-10 (рисунок 2). Данные машины оснащены механическими штанговыми распределяющими рабочими органами шнекового типа с высевными отверстиями в нижней части кожуха шнека, через которые осуществляется внесение пылевидных известковых материалов. По данным ГУ «Белорусская МИС», неравномерность внесения мелиорантов этими машинами по ширине захвата не превышает 20 %, что значительно ниже, чем у ранее приведенных машин. Кроме того, при работе данных штанговых распределяющих рабочих органов запыленность окружающей среды отсутствует. Таким образом, нормализуется экологическая ситуация за пределами санитарной зоны, и сокращаются потери пылевидных мелиорантов до минимума.



Рисунок 2 – Машины штанговые для внесения химмелиорантов: а – МШХ-9; б – МХС-10

В настоящее время в Республике Беларусь ответственность за реализацию государственной программы по известкованию кислых почв сельхозпредприятий в основном возложены на районные агросервисы, которые осуществляют транспортировку известковых материалов к месту их внесения на расстояние до 25 км. В этих условиях при применении прямоточной технологии внесения эффективное применение штанговой машины МШХ-9 грузоподъемностью 10 т оправдывается при транспортировании известковых материалов на расстояние до 10 км, так как при большем расстоянии значительно снижается коэффициент использования времени смены машины (при средней дозе внесения 5 т/га бункер у МШХ-9 опорожняется за 15 мин). Поэтому при увеличении плеча транспортирования свыше 10 км наиболее рационально МШХ-9 применять по перевалочной либо перегрузочной технологии. Для применения перевалочной технологии необходимо наличие в хозяйствах специальных складов, особенно для хранения пылевидных известковых материалов, однако из-за низкой обеспеченности ими данная технология в стране практически не применяется. Применение перегрузочной технологии оправдывается только путем использования автомобильных разбрасывателей АРУП-8. Однако, учитывая их очень малое количество по стране и несогласованность по грузоподъемности (8 т против 10 т), машина МШХ-9, несмотря на свою актуальность, так и не нашла широкого применения. В этой связи наиболее выгодно отличается самоходная штанговая машина МХС-10, которая по сравнению с МШХ-9 за счет большей скорости транспортирования известковых материалов к месту внесения может применяться по прямоточной технологии на расстояние до 20 км. Однако высокая стоимость и отсутствие возможности круглогодично использовать шасси на других видах работ привело к тому, что данная машина также не нашла широкого применения.

Таким образом, очевидно, что применение штанговых рабочих органов является на сегодняшний день единственным способом качественного внесения пылевидных известковых материа-

лов. Что касается технологии транспортировки известковых материалов, то при использовании штанговых распределяющих рабочих органов единственным правильным способом является прямоточная технология, рациональность применения которой находится в прямой зависимости от двух факторов: скорости транспортировки известковых материалов от места накопления к месту внесения и грузоподъемности машины. Чем выше значения данных факторов, тем больше можно увеличить плечо транспортировки. Как отмечалось ранее, для увеличения скорости транспортирования известковых материалов потребуется вложение значительных денежных средств, что для условий Республики Беларусь не всегда является окупаемым. Разработка для таких целей специальных полуприцепов большой грузоподъемности с годовой загрузкой всего 100 ч также нецелесообразно. Соответственно для транспортирования известковых материалов наиболее рационально применять уже существующие большегрузные полуприцепные машины, которые используются в хозяйстве круглый год. Одним из таких видов машин являются многофункциональные полуприцепы грузоподъемностью от 15 до 36 т производства ОАО «Вороновская сельхозтехника» (ПСС-15, ПСС-20, ПСС-25, ПСС-36); ОАО «Амкодор» (ПМФ-20, AMKODOR STS212B, AMKODOR US213W, AMKODOR US303W); а также ООО «ТОРГТЕХМАШ» (ПТСС-15, ПТСС-20, ПТСС-25). Благодаря наличию сменных адаптеров различного специального назначения (перегрузчик, разбрасыватель, платформа) многофункциональные полуприцепы используются для транспортировки и механизированной разгрузки навоза, компоста, опилок, щепы, зерна, сахарной, кормовой и столовой свеклы, снега, травяного, кукурузного силоса и других сыпучих грузов в круглогодичном режиме (рисунок 3).

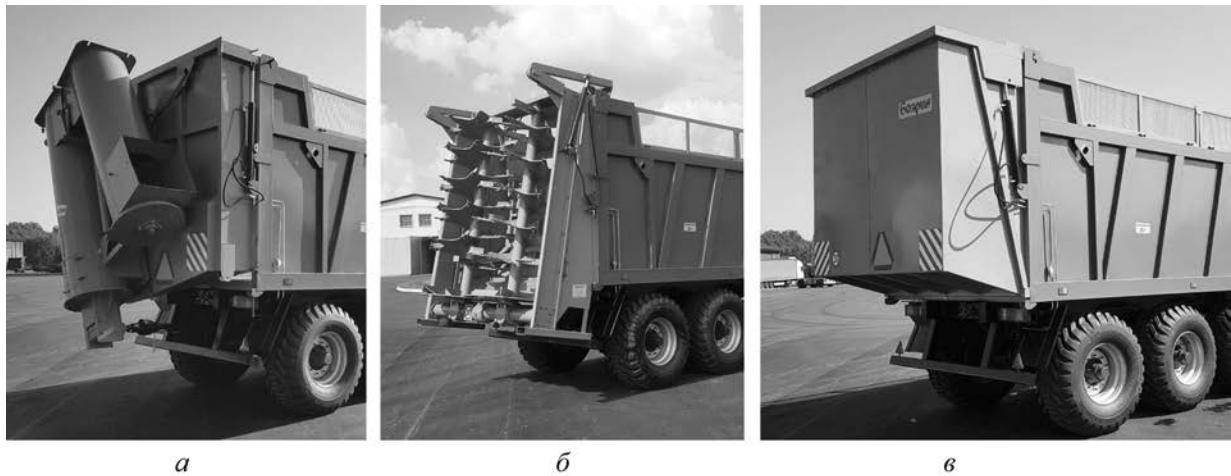


Рисунок 3 – Полуприцеп тракторный специальный со сменными приспособлениями ПСС-20 (ОАО «Вороновская сельхозтехника»): *а* – полуприцеп с перегрузчиком; *б* – полуприцеп с разбрасывателем; *в* – полуприцеп с платформой

К слову, в Российской Федерации уже ведутся работы по данному направлению и в настоящее время Департаментом сельскохозяйственных машин ООО «Челябинский компрессорный завод», который производит агротехнику под брендом «ЧКЗ-Агро», разработано навесное устройство для внесения пылевидных мелиорантов УВМ-10 рабочей шириной захвата 10 м к их серийно выпускаемым многофункциональным прицепам серии ПТВ (рисунок 4). Данное устройство представляет собой две металлические штанги, внутри которых с помощью гидромоторов врачаются шнековые рабочие органы, перемещающие высевной материал по всей длине. По мере его перемещения происходит высев материала через высевные отверстия, расположенные в нижней части штанги. Излишки материала, а также комки, не прошедшие через высевные отверстия, высеваются через большое отверстие, расположенное в конце штанги. Для обеспечения стабильной работы и бесперебойного высева материала в загрузочных горловинах обеих штанг установлены активные мешалки, что исключает сводообразование доломитовой муки, которое, как известно, имеет место быть, особенно с изменением ее влажности.



Рисунок 4 – Устройство для внесения мелиорантов УВМ-10 ООО «Челябинский компрессорный завод» (Россия)  
к полуприцепу серии ПТВ

### **Заключение**

Таким образом, становится абсолютно очевидной актуальность разработки штангового адаптера для качественного внесения пылевидных известковых материалов к многофункциональным полуприцепам, который позволит расширить спектр применения последних, а также повысить производительность внесения за счет большой их грузоподъемности.

### **Список использованных источников**

1. Тиво, П. Ф. К вопросу известкования кислых почв / П. Ф. Тиво, В. Н. Филиппов // Мелиорация. – 2018. – № 2 (84). – С. 33–42.
2. Степук, Л. Я. Состояние и перспективы механизации применения известковых материалов в Республике Беларусь / Л. Я. Степук, В. В. Барабанов // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 18–19 окт. 2013 г. – Минск, 2013. – С. 75–82.
3. Влияние известкования на плодородие почвы и потребление элементов питания растениями : интернет-портал «АгроВестник». – 2017. – URL: <https://agrovesti.net/lib/tech/reclamation-tech/vliyanie-izvestkovaniya-na-plodorodie-pochvy-i-potreblenie-elementov-pitaniya-rasteniyami.html> (дата обращения: 22.07.2025).

**Н. Д. Лепешкин, В. В. Микульский**

*РУП «НПЦ НАН Беларусь по механизации сельского хозяйства»  
г. Минск, Республика Беларусь  
E-mail: mehposev@mail.ru*

## **ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБА И АГРЕГАТА, ПОВЫШАЮЩИХ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВНЕСЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ**

*Аннотация.* В статье приведены недостатки твердых гранулированных и преимущества жидких минеральных удобрений. Установлено, что внесение в почву жидких минеральных удобрений с помощью инъекционных колес является на сегодня одним из самых прогрессивных и эффективных способов, применяемых в агропромышленном комплексе. Поскольку на данный момент в Республике Беларусь производство машин для точечного внесения жидких минеральных удобрений с помощью инъекционных колес отсутствует, то в качестве прототипов при разработке отечественного агрегата можно использовать агрегаты зарубежного производства такие, как Ликвилайзер 12000 (Россия), растениепитатель ЛиквилайРус ИКП-12550 (Россия), почвенный инъектор ИП-12 Harrier (Россия), ликвилайзер SW12048 Duport (Нидерланды), инжекторный аппликатор Cultan C15 фирмы KWD (Германия).

*Ключевые слова:* жидкие минеральные удобрения, точечное внесение, аппликатор, инъекционное колесо, ликвилайзер.

**N. D. Lepeshkin, V. V. Mikulski**

*RUE “SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization”  
Minsk, Republic of Belarus  
E-mail: mehposev@mail.ru*

## **JUSTIFICATION OF A METHOD AND UNIT THAT INCREASES THE EFFICIENCY OF APPLYING MINERAL FERTILIZERS**

*Abstract.* The article presents the disadvantages of solid granulated and advantages of liquid mineral fertilizers. It has been established that the introduction of liquid mineral fertilizers into the soil using injection wheels is today one of the most progressive and effective methods used in the agro-industrial complex. Since at the moment in the Republic of Belarus there is no production of machines for the point application of liquid mineral fertilizers using injection wheels, then as prototypes in the development of a domestic unit, foreign-made units can be used, such as liquilazer Altai 12000 (Russia), plant feeder liquilaiRus IKP-12550 (Russia), soil injector IP-12 Harrier (Russia), liquilazer SW12048 Duport (Netherlands), injector applicator Cultan C15 companies KWD (Germany).

*Keywords:* liquid mineral fertilizers, spot application, applicator, injection wheel, liquilazer.

### **Введение**

Одним из направлений повышения урожайности сельскохозяйственных культур, в том числе и в Республике Беларусь, является применение минеральных удобрений. Поэтому Государственной программой «Аграрный бизнес» на 2021–2025 гг. предусматривается ежегодное внесение не менее 1,7 млн т действующего вещества минеральных удобрений, из них 0,7 млн т – азотных; 0,3 млн т – фосфорных и 0,7 млн т – калийных.

Однако, несмотря на значительные объемы внесения минеральных удобрений, окупаемость 1 кг действующего вещества этих удобрений зерном колеблется от 4 до 6 кг, хотя потенциальная возможность составляет 8–12 кг и более [1].

Цель исследований – обоснование способа и агрегата для внесения минеральных удобрений, повышающих эффективность их использования в хозяйствах Республики Беларусь.

## Основная часть

Основными производителями минеральных удобрений в Республике Беларусь являются ОАО «Гродно Азот» (азотные удобрения), ОАО «Гомельский химический завод» (фосфорсодержащие удобрения) и ОАО «Беларуськалий» (калийные удобрения). Минеральные удобрения выпускаются в двух формах: твердые гранулированные и жидкие.

Существенным недостатком при внесении гранулированных минеральных удобрений является то, что даже самый современный разбрасыватель не дает возможности на 100 % равномерно распределить гранулированные удобрения по полю. В первую очередь это связано с физическим отличием гранул удобрений во фракциях – они разные по весу и размеру. Даже если идеально выполнены все технические настройки разбрасывателя, более мелкая гранула будет перемещаться вниз бункера, а более крупная – оставаться наверху. Это явление приводит к высокой нестабильности нормы внесения. Погода, влажность, ветер – также влияют на равномерность распределения удобрений. При отсутствии осадков под прямыми солнечными лучами полезное действующее вещество азота испаряется. Потеря удобрений в действующем веществе может достигать более 30 %.

В связи с этим в последние годы начали более широко применяться жидкие минеральные удобрения. Основными преимуществами данной формы минеральных удобрений являются возможность более точного дозирования и равномерного распределения удобрений по площади поля, автоматического контроля заданной дозы, возможность совместного внесения гербицидов, пестицидов и микроэлементов путем растворения в жидком комплексном удобрении. Жидким удобрениям не нужна дополнительная влага для растворения, поэтому после внесения они сразу доступны для растения. Кроме того, производство этих удобрений связано со значительно меньшими капитальными затратами, что объясняется сокращением ряда стадий технологического процесса производства (сушка, грануляция) [2–5].

В странах с высокоразвитым сельским хозяйством, например, в США, Канаде, данные удобрения используются более чем на 33 % сельхозугодий, при этом 55 % азотных удобрений производится в жидком виде. В странах Европы используется 10–15 % жидких удобрений (в наибольшем количестве – во Франции и Австрии). В странах СНГ наибольшее количество минеральных удобрений в жидком виде используется в Республике Беларусь. При этом большая часть потребления жидких минеральных удобрений приходится на КАС и ЖКУ.

Жидкие минеральные удобрения вносятся под основную обработку почвы, под предпосевную обработку и в виде подкормки в период вегетации растений.

Основные удобрения обеспечивают питание растений во все время вегетационного периода, в том числе в период интенсивной вегетации, когда растение потребляет максимальное количество элементов питания. Они содержат большую часть общей дозы (80–100 %) питательных веществ. Предпосевное удобрение предназначено для улучшения питания молодых растений на критических ранних стадиях роста. Молодые растения имеют слабые корни и не могут обеспечить достаточное количество питательных веществ, а их нехватка в этот период сильно влияет на размер будущего урожая. Подкормки в период вегетации растений применяют для улучшения их питания в периоды максимального потребления питательных веществ. Обычно их используют, когда по разным причинам нецелесообразно добавлять в основное удобрение полную норму питательных веществ. Внесение удобрений может производиться в разные сроки – осенью, весной и летом – на определенных фазах развития растения [5].

По сравнению с жидкими азотными удобрениями жидкие минеральные удобрения не содержат свободного аммиака, а, следовательно, их можно распылять по поверхности поля, а затем заделывать различными почвообрабатывающими орудиями. Поэтому существует несколько методов внесения жидких минеральных удобрений, таких как поверхностное внесение и внутрипочвенное.

В настоящее время жидкие минеральные удобрения в хозяйствах Республики Беларусь в основном вносят поверхностным методом полевыми опрыскивателями ОТМ-2-3, Мекосан 2000-12, Мекосан 2000-18, ОП-2000-2, ОПШ «РОСА» и др., машинами для внесения жидких органиче-

ских удобрений МЖУ-16, МЖУ-20, а также многофункциональными полуприцепами, адаптированными для внесения жидких удобрений.

Заделка поверхности внесенных удобрений под основную и предпосевную обработку почвы осуществляется орудиями для сплошной обработки почвы. При этом удобрения заделываются некачественно, глубина их размещения в почве не всегда соответствует агротехническим требованиям, часть питательных веществ удобрений улетучивается в атмосферу.

При подкормке растений жидкими минеральными удобрениями путем опрыскивания по сравнению с подкормкой гранулированными удобрениями некоторые негативные моменты исчезают, но появляются новые – такие как ожог и стресс растений. Порывы ветра влияют на равномерность опрыскивания. При движении по неровному полю штанги опрыскивателя могут наклоняться, и тогда в одном месте будет вноситься повышенная дозировка, в другом – наоборот, внесение будет гораздо ниже заданной нормы. В итоге ожоги и неравномерность распределения удобрений приводят к потере урожайности. При поверхностном внесении корням доступно всего 60 % действующего вещества, остальное – потери.

По данным РУП «НПЦ НАН Беларусь по земледелию», Института экспериментальной ботаники НАН Беларусь, а также многих НИИ Российской Федерации и зарубежных фирм, одним из основных путей повышения эффективности и снижения негативного воздействия на окружающую среду минеральных удобрений является их внутрипочвенное инъекционное внесение [6–20].

Внутрипочвенное инъекционное внесение жидких минеральных удобрений может осуществляться ленточным способом, т. е. в борозды, образованные дисками, сошниками или точечно путем инъекции с помощью инъекционных колес (рисунок 1).

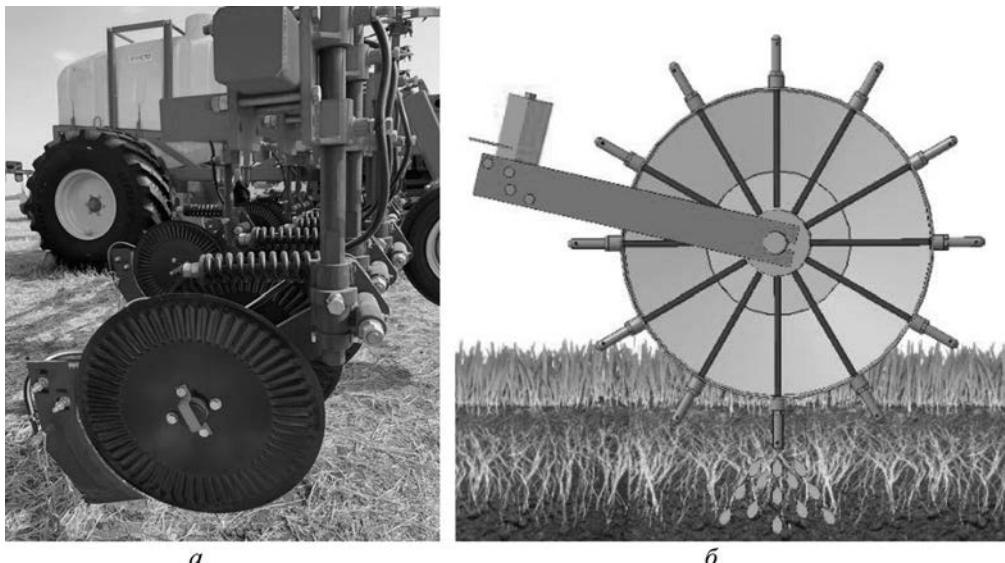


Рисунок 1 – Рабочие органы для инъекционного внесения жидких минеральных удобрений:  
а – диск; б – инъекционное колесо

#### Преимущества инъекционного метода:

- минеральные удобрения вносятся непосредственно в прикорневую зону растений, что позволяет значительно повысить их эффективность, особенно во время засухи;
- максимальная эффективность использования удобрений (они не испаряются, поскольку вносятся непосредственно в почву), что позволяет сократить их норму на 30–40 %;
- можно вносить жидкие минеральные удобрения под различные культуры: зерновые, кукурузу, сахарную свеклу, многолетние травы;
- происходит лучшая аэрация почвы через отверстия от инъекционных игл;
- жидкие удобрения легко достигают корней, усиливая рост корневой системы, улучшают усвоение других питательных веществ и формируют более крепкий стебель;

- возможность внесения других веществ, таких как сера, фосфат, углерод и др.;
- больший период для внесения удобрения, сокращение пиковых нагрузок;
- уменьшение вероятности механического повреждения и химического ожога растений даже при высоких дозах (по сравнению с листовой подкормкой), никакого избытка питательных веществ;
- высокая приспособленность способа к технологиям mini-till и no-till, так как растительные остатки не препятствуют проникновению удобрений в почву;
- возможность вносить точное количество удобрений при высоких дозах.

Для инъекционного внесения жидких минеральных удобрений ленточным способом ООО НПП «Белама Плюс» выпускает агрегат BelamaHarvest (рисунок 2).



Рисунок 2 – Агрегат для внесения жидких минеральных удобрений ленточным способом BelamaHarvest

Важнейшее преимущество инъекционных колес перед дисками и сошниками – минимальное повреждение инъекционным колесом поверхностного слоя почвы. Поэтому точечное внесение жидких минеральных удобрений в почву с помощью инъекционных колес сегодня является одним из самых прогрессивных и эффективных способов, применяемых в агропромышленном комплексе.

Использование машинно-тракторного агрегата для внутрив почвенного точечного внесения жидких минеральных удобрений позволяет существенно улучшить режим питания растений возделываемых культур, показатели их развития в период вегетации, формирование урожая и качества зерна. Ожидаемое повышение урожайности сельскохозяйственных культур – на 25–35 % при повышении качества зерна на 15–20 % и снижении себестоимости его производства на 20–25 % [20; 21].

Технологический процесс внесения в почву жидких минеральных удобрений с помощью инъекционных колес состоит в том, что инъекционные колеса снабжены полыми иглами из твердых сплавов и через инъекционную иглу жидкое удобрение впрыскивается в грунт. Игла работает по принципу форсунки: через встроенные клапаны в ступице инъекционного колеса под давлением 3–6 бар выдавливается в почву определенная доза удобрений, которая зависит от рабочей скорости движения машинно-тракторного агрегата и предусмотренной нормы внесения.

На данный момент в Республике Беларусь производство машин для точечного внесения жидких минеральных удобрений с помощью инъекционных колес отсутствует. Вместе с тем во всем мире популярность точечного внесения жидких минеральных удобрений растет, а также расширяется и номенклатура агрегатов для его осуществления. Из известных инъекционных растениепитателей (ликвидайзеров), которые можно использовать в качестве прототипов при разработке отечественного агрегата, отметим агрегаты российского производства ликвидайзер «Алтай 12000» завода «Комплекс Агро», растениепитатель «ЛиквидайРус» компании «Агристо», почвенный инъектор ИП-12 Harrier ООО «Промышленная группа «ЮМЗ», ликвидайзер SW12048 компании DUPORT (Нидерланды), инжекторный аппликатор Cultan C15 фирмы KWD (Германия).



Рисунок 3 – Инъекционные растениепитатели: *а* – ликвилайзер «Алтай 12000»;  
*б* – растениепитатель «ЛиквилайРус»; *в* – почвенный инъектор ИП-12 Harrier; *г* – ликвилайзер SW12048 DUPORT;

*д* – инжекторный аппликатор Cultan C15

### Заключение

С учетом представленного выше анализа установлено, что одним из путей повышения эффективности использования минеральных удобрений является увеличение объемов их производства в жидком виде с последующим внутрипочвенным точечным внесением агрегатами с инъекционными колесами.

### Список использованных источников

- Степук, Л. Я. Недобор и потери урожая как следствие отсутствия стратегии технического обеспечения сельского хозяйства / Л. Я. Степук, П. П. Бегун, Н. Д. Лепешкин // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве : материалы Междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 70-летию со дня образования РУП «НПЦ НАН Беларусь по механизации сельского хозяйства», Минск, 18–20 окт. 2017 г. / редкол.: П. П. Казакевич (гл. ред.), Л. Ж. Кострома. – Минск : Беларус. наука, 2017. – С. 53–59.

2. Байкаснов, Р. К. Реакция яровой пшеницы сорта Саратовская 42 на применение регуляторов роста и жидких удобрений в условиях центральной зоны Оренбургской области / Р. К. Байкаснов [и др.] // Достижения и перспективы научно-инновационного развития АПК : материалы Всероссийской (национальной) науч.-практ. конф., Курган, 18 февраля 2021 г. – Курган : КГСА имени Т. С. Мальцева, 2021. – С. 588–592.
3. Потетня, К. М. Факторы, влияющие на реакцию пшеницы на внесение азотных удобрений / К. М. Потетня, О. М. Вырова // Научно-технический вестник : технические системы в АПК. – 2021. – № 1 (9). – С. 11–19.
4. Сычёв, В. Г. Эффективность применения жидких фосфорных удобрений / В. Г. Сычёв, Э. Н. Аканов, Н. И. Аканова // Плодородие. – 2020. – № 2 (113). – С. 3–6.
5. Ягодин, Б. А. Агрохимия : учебник / Б. А. Ягодин, Ю. П. Жуков, В. И. Кобзаренко. – М. : Колос, 2002. – 584 с.
6. Астахов, В. С. К вопросу значимости минеральных удобрений в управлении производственным процессом и повышение их эффективности при использовании различных машин и способов внесения / В. С. Астахов, Г. О. Иванчиков // Вестник БГСХА. – 2022. – № 2. – С. 192–194.
7. Босак, В. Н. Без «минералки» не обойтись / В. Н. Босак // Хозяин. – 2011. – № 4. – С. 16–17.
8. Босак, В. Н. Оптимизация питания растений / В. Н. Босак. – Saarbrücken : Lambert Academic Publishing, 2012. – 203 с.
9. Босак, В. Н. Система удобрения в севооборотах на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах / В. Н. Босак. – Минск, 2003. – 176 с.
10. Булаев, В. Е. О классификации приемов локального внесения удобрений / В. Е. Булаев // Бюллетень ВИУА. – М., 1983. – Вып. 63. – С. 3–7.
11. Доминго, Э. Н. Внутрипочвенное внесение минеральных удобрений комбинированными агрегатами с усовершенствованным выравнивателем и уплотнителем : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Доминго Эбанг Нсанг ; БСХА, Опытная станция БСХА. – Горки, 1993. – 17 с.
12. Козловская, И. П. Производственные технологии в агрономии : учеб. пособие / И. П. Козловская, В. Н. Босак. – М. : Инфра-М, 2016. – 336 с.
13. Кудряков, М. Л. Механизация внесения удобрений / М. Л. Кудряков, А. Н. Кругляков. – М. : Колос, 1965. – 210 с.
14. Лапа, В. В. Минеральные удобрения и пути повышения их эффективности / В. В. Лапа, В. Н. Босак ; БелНИИПА. – Минск, 2002. – 184 с.
15. Лапа, В. В. Сравнительная эффективность различных способов заделки минеральных удобрений при возделывании зерновых культур / В. В. Лапа, В. Н. Босак // Весці НАН Беларусі. Серыя аграрных наукаў. – Минск, 2002. – № 4. – С. 39–42.
16. Найдин, П. Г. Сроки и способы внесения удобрений под зерновые культуры: справочник по удобрениям / П. Г. Найдин. – М. : Колос, 1960. – 295 с.
17. Научно-технические основы построения машин химизации земледелия / Л. Я. Степук, В. Р. Петровец, П. П. Бегун [и др.]. – Горки : БГСХА, 2022. – 410 с.
18. Петровец, В. В. Допосевное ленточное внесение минеральных удобрений сошниками на упругих стойках : автореф. дис. ... канд. техн. наук / В. В. Петровец. – Торни, 1983. – 18 с.
19. Пронин, А. Ф. Заделка минеральных удобрений почвообрабатывающими машинами / А. Ф. Пронин // Известия ТСХА. – 1964. – № 6. – С. 30–35.
20. Сендряков, О. В. Качество и способы внесения удобрений – важные факторы повышения их эффективности / О. В. Сендряков, Л. С. Кубарева // Основные условия эффективного применения удобрений. – М. : Колос, 1983. – С. 256–265.
21. Технологические приемы оптимизации минерального питания сельскохозяйственных культур: рекомендации / Институт почвоведения и агрохимии НАН Беларуси ; сост. В. В. Лапа [и др.]. – Минск, 2005. – 14 с.

**А. А. Жешко**

*РУП «НПЦ НАН Беларусь по механизации сельского хозяйства»  
г. Минск, Республика Беларусь  
E-mail: azeshko@gmail.com*

## **АНАЛИЗ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ СПОСОБОВ ВНЕСЕНИЯ ТВЕРДЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ**

*Аннотация.* В статье проанализированы основные способы внесения твердых минеральных удобрений и рассмотрена их классификация.

*Ключевые слова:* твердые минеральные удобрения, механизированное внесение, распределение по поверхности, неравномерность, физико-механические свойства.

**A. A. Zheshko**

*RUE “SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization”  
Minsk, Republic of Belarus  
E-mail: azeshko@gmail.com*

## **ANALYSIS OF MECHANIZED METHODS OF APPLYING SOLID MINERAL FERTILIZERS**

*Abstract.* The analysis of the main methods of applying solid mineral fertilizers is performed, and the classification of solid mineral fertilizers is considered.

*Keywords:* solid mineral fertilizers, mechanized application, surface distribution, unevenness, physical and mechanical properties.

### **Введение**

Рабочие органы современных технических средств для внесения минеральных удобрений взаимодействуют с широким спектром кристаллов и гранул, существенно различающихся по размерным характеристикам, фрикционным и аэродинамическим свойствам. По этой причине важной задачей является разработка подающих, дозирующих, распределяющих и заделывающих рабочих органов, которые способны обеспечивать требуемое качество в широком диапазоне. Помимо вариабельности физико-механических свойств существенно изменяются и нормы вносимых удобрений, что зависит от особенностей конкретных сельскохозяйственных культур, наличия питательных элементов в почве и других факторов. В этой связи анализ механизированных способов внесения твердых минеральных удобрений является важной задачей.

Сбалансированное применение химических мелиорантов, органических и минеральных удобрений нацелено на окультуривание почвы, т. е. улучшение режимов питания растений, биологических и физических свойств, что повышает продуктивность сельскохозяйственных культур. При достижении стадии окультуренности раскрывается потенциал почвенного плодородия и создаются оптимальные условия для развития культурных растений. Планируемой урожайности на окультуренных почвах можно достигнуть внесением меньших доз удобрений, что в конечном итоге позволяет снизить экологическую нагрузку, затраты на возделывание сельскохозяйственных культур и перейти к ресурсосберегающей системе внесения минеральных удобрений.

В настоящее время к удобрениям относят не только элементы питания и их сочетания, но также бактериальные препараты и вещества, внесение которых улучшает структуру и свойства почвы, повышает подвижность питательных элементов и способствует повышению урожай-

ности сельскохозяйственных культур. Таким образом вынос питательных элементов из почвы с каждым убираемым урожаем культурных растений компенсируется за счет своевременного внесения научно обоснованных доз удобрений.

## Основная часть

Классификацию удобрений проводят по агрономическому назначению, способу получения и «конструкции» удобрений [1, с. 5]. В зависимости от агрономического назначения выделяют *прямые и косвенные* минеральные удобрения. Первые содержат один или несколько питательных элементов. В случае содержания нескольких питательных элементов *прямые* удобрения являются *комплексными* [2; 3]. На рисунке представлена классификация минеральных удобрений прямого действия. Удобрения прямого действия делятся на азотные, фосфорные, калийные, комплексные, а также микроудобрения [4, с. 24].

Основной характеристикой минеральных удобрений является содержание действующего вещества. В азотных удобрениях – это азот N, в фосфорных – окись фосфора  $P_2O_5$ , в калийных – окись калия  $K_2O$ .

Азотные удобрения делят на группы в зависимости от содержания азота и агрегатного состояния. Нитратные удобрения, такие как кальциевая и натриевая селитра содержат азот в нитратной форме. Аммонийные, такие как сульфат аммония и хлористый аммоний содержат азот в аммонийной форме. Жидкие минеральные удобрения, такие как карбамид-аммонийно-нитратные, амиачная вода и безводный аммиак хорошо усваиваются растениями [5; 6, с. 145].

Фосфорные удобрения бывают водорастворимые и нерастворимые в воде. К водорастворимым удобрениям данной группы относятся все суперфосфаты. Фосфоритная мука относится к нерастворимым в воде фосфорным удобрениям.

В соответствии с рисунком калийные удобрения делятся на концентрированные, к которым относятся хлористый калий и калийная соль, сырье калийные соли.

Микроудобрения содержат один или несколько микроэлементов [7, с. 210–216].

Комплексные удобрения содержат от двух до нескольких питательных элементов или микроэлементов, делятся на *сложные, сложно-смешанные, смешанные и жидкие комплексные* удобрения.

К косвенным удобрениям относятся бактериальные препараты, которые позволяют усилить биологические процессы в почве, а также химические мелиоранты, предназначенные для улучшения свойств почвы [8; 9].

По способу и месту получения выделяют *местные* – органические удобрения, а также производимые промышленно,  *заводские* – к ним относятся минеральные удобрения.

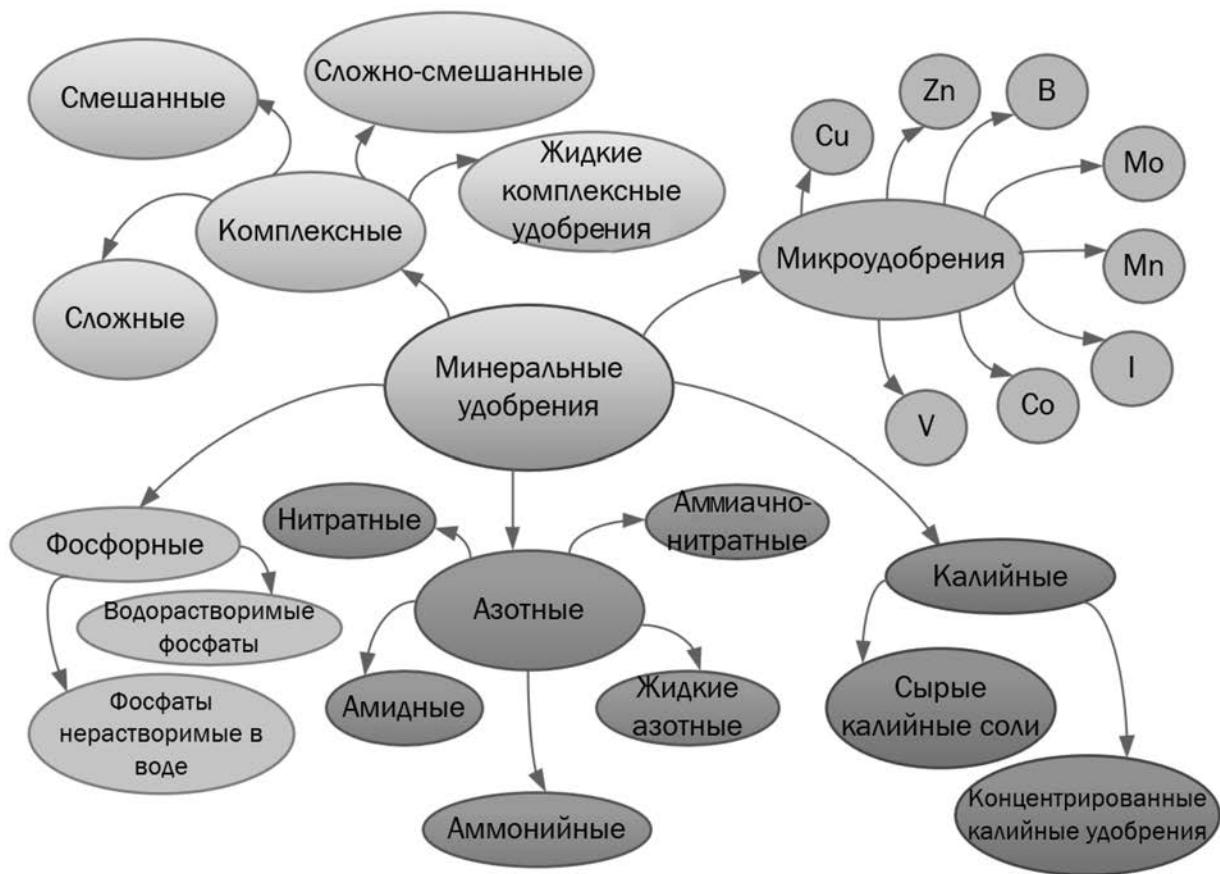
По «конструкции» удобрения делят на *простые, сложные, смешанные и комбинированные*. Наибольшее распространение получило деление удобрений на *минеральные и органические*.

В зависимости от агрегатного состояния выделяют *твердые, жидкие и газообразные* удобрения. Твердые удобрения делят на *активно сыпучие*, к которым относятся большинство минеральных удобрений и *пассивно сыпучие* – большинство органических и минеральных удобрений с высокой влажностью. В свою очередь активно сыпучие удобрения делятся на *неаэрируемые и аэрируемые (пылевидные)*, такие как фосфоритная и доломитовая мука.

Для эффективного использования удобрений необходимо учитывать биологические особенности сельскохозяйственных культур, почвенно-климатические, агротехнические и ландшафтные условия, а также состав и свойства самих удобрений, что в совокупности представляет собой систему удобрений, т. е. комплекс научно-обоснованных организационных и агротехнических мероприятий по эффективному применению минеральных удобрений [10, с. 5].

Основными задачами, решаемыми системой удобрений, являются повышение урожайности сельскохозяйственных культур, сохранение и преумножение плодородия почв, эффективное и экологически безопасное использование удобрений.

Применительно к конкретным сельскохозяйственным предприятиям разрабатывают систему удобрений для многолетних насаждений, пастбищ и лугов, сельскохозяйственных культур. Таким образом, система удобрений для сельскохозяйственного предприятия представляет собой комплекс взаимосвязанных мероприятий, направленных на накопление, временное хранение



Классификация минеральных удобрений прямого действия

и распределение удобрений по объектам их использования, подготовку, транспортировку, внесение и контроль их эффективного использования [10, с. 5].

Для количественной оценки системы удобрений в хозяйстве используют массу вносимых удобрений на единицу площади поля, а для качественной оценки – окупаемость затрат и рентабельность. Важнейшим показателем является также коэффициент биоэнергетической эффективности – отношение энергии, накопленной в прибавке урожая, к энергетическим затратам на внесение удобрений.

В зависимости от способа внесения удобрений выделяют сплошное (основное) их распределение, припосевное (местное) внесение и подкормку сельскохозяйственных культур.

При сплошном внесении разбрасывателями или беспилотными летательными аппаратами удобрения распределяются по полю и заделываются почвообрабатывающими машинами. Данным способом вносят значительную часть химических мелиорантов и 70 % минеральных удобрений.

Важнейшим показателем, характеризующим качество основного внесения удобрений, является равномерность их распределения, оцениваемая коэффициентом вариации. Также основополагающую роль играет качество заделки удобрений почвообрабатывающими орудиями.

Местное внесение предполагает размещение удобрений в гнездах или рядках и осуществляется одновременно с посадкой или посевом основных сельскохозяйственных культур. В данном случае основным показателем качества является рациональное размещение удобрений относительно корневой системы культурных растений. В зависимости от вида растений требуется располагать удобрения с прослойкой или как можно ближе к корням. Соответствующие показатели, характеризующие распределение удобрений относительно корневой системы растений, задаются агротехническими требованиями. Например, при посеве сахарной свеклы между семенами и удобрениями должна оставаться прослойка от 0,5 до 1 см.

Подкормки выполняются в различных фазах роста культурных растений. Для пропашных культур, как правило, выполняется корневая подкормка [11; 7, с. 244–273], когда удобрения за-деляются в почву вдоль рядков на расстоянии от корневой системы растений, которое регла-ментируется агротехническими требованиями. Чаще всего данные технологические операции совмещают с прополкой или культивацией междуурядий и выполняются они специальными ма-шинами [12; 13]. При возделывании зерновых культур по интенсивной технологии во время по-сева оставляют технологическую колею, что позволяет реализовать технологические операции по уходу, в том числе внесение подкормочных доз удобрений. Для этих целей могут использо-ваться центробежные и штанговые разбрасыватели [14, с. 109–111].

## Заключение

В процессе выполнения технологических операций рабочие и вспомогательные органы ма-шин химизации взаимодействуют с удобрениями различного вида и гранулометрического со-става и от их свойств во многом зависят правильность выбора параметров, закладываемых на стадиях проектирования, и настроек машин в процессе эксплуатации.

## Список использованных источников

1. Догановский, М. Г. Машины для внесения удобрений. Конструкция, теория, расчет и испытания / М. Г. До-гановский, Е. В. Козловский. – М. : Машиностроение, 1972. – 272 с.
2. Lewu, F. B. Controlled Release Fertilizers for Sustainable Agriculture / F. B. Lewu. – Netherlands, Elsevier Science, 2020. – Р. 185–187.
3. Fertilizer Manual. Austria / International Fertilizer Development Center, United Nations Industrial Development Organization : Springer Netherlands, 1998. – Р. 2–18.
4. Корчагин, А. А. Система удобрений : учеб. пособие / А. А. Корчагин, М. А. Мазиров, Н. А. Комарова. – Владимирир : ВлГУ, 2018. – 116 с.
5. Fernández, V. S. Foliar Fertilization: Scientific Principles and Field Practices / V. S. Fernández, B. Thomas // International Fertilizer Industry Association. – Paris, France, 2013. – Р. 106–111.
6. Михайлова, Л. А. Агрохимия : курс лекций : в 3 ч. / Л. А. Михайлова ; Пермская гос. с.-х. акад. им. акад. Д. Н. Прянишникова. – Пермь, 2015. – Ч. 1. – 426 с.
7. Шеуджен, А. Х. Агрохимия : учеб. пособие / А. Х. Шеуджен, В. Т. Куркаев, Н. С. Котляров. – 2-е изд., перераб. и доп. – Майкоп : Афиша, 2006. – 1075 с.
8. Grinsven, H. Establishing long-term nitrogen response of global cereals to assess sustainable fertilizer rates / Hans J. M. van Grinsven, Peter Ebanyat Margaret Glendining // Nature Food. 3. – Nature Food. – Vol. 3. – February 2022. – Р. 122–132.
9. Степук, Л. Я. Недобор и потери урожая как следствие наличия проблем в сфере технического обеспечения сельского хозяйства / Л. Я. Степук, В. Р. Петровец, И. В. Барановский // Вестник Белорусской государственной сель-скохозяйственной академии : сб. ст. – Горки, 2017. – № 2. – С. 132–136.
10. Система применения удобрений : учеб. пособие / В. В. Лапа, В. Н. Емельянова, Ф. Н. Леонов [и др.] ; под ред. В. В. Лапы. – Гродно : ГГАУ, 2011. – 416 с.
11. Картофель. Выращивание, уборка, хранение / Д. Шпаар, А. Быкин, Д. Дрегер [и др.]. – Торжок : Вариант, 2004. – С. 187–213.
12. Заявка RU 147 013 U1. Почвообрабатывающая машина для полосовой обработки почвы : заявлено 21.05.2014 : опубл. 27.10.2014 / Евмененко О. Л. ; заявитель ЗАО Торговый дом «Восток». – URL: <https://patents.google.com/patent/RU147013U1/ru> (дата обращения: 10.05.2025).
13. Алдошин, Н. В. Пневмомеханический туковысыевающей аппарат для культиватора-растениепитателя / Н. В. Алдошин // Известия СПбГАУ, 2022. – № 3 (68). – С. 139–149.
14. Маслов, Г. Г. Обоснование коэффициента использования рабочего времени смены агрегата для боронования озимых с одновременной подкормкой / Г. Г. Маслов, А. С. Сергунцов, Н. В. Малашин // Известия ОГАУ, 2017. – № 6 (68). – С. 109–111.

**Е. Л. Жилич, Ю. Н. Рогальская, В. В. Никончук, Д. В. Бернацкая**

*РУП «НПЦ НАН Беларусь по механизации сельского хозяйства»*

*г. Минск, Республика Беларусь*

*E-mail: npr\_mol@mail.ru*

## **СУЩЕСТВУЮЩИЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ЗООТЕХНИЧЕСКОГО УЧЕТА СВИНЕЙ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ**

**Аннотация.** На основании проведенных исследований, обзора существующих импортных устройств для зоотехнического учета свиней в режиме реального времени на фермах Республики Беларусь, а также исходя из потребности в импортозамещении, в статье обосновывается необходимость разработки отечественных устройств для зоотехнического учета свиней.

**Ключевые слова:** племенной учет, метод, камера, RFID-метка, подсчет поголовья, программно-аппаратный комплекс, система подсчета, роботизированная каретка.

**E. L. Zhilich, Yu. N. Rogalskaya, V. V. Nikonchuk, D. V. Bernatskaya**

*RUE “SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization”*

*Minsk, Republic of Belarus*

*E-mail: npr\_mol@mail.ru*

## **EXISTING DEVICES FOR REAL-TIME PIG CATTLE ACCOUNTING**

**Abstract.** Based on the conducted research, the availability of imported devices for real-time livestock accounting in the Republic of Belarus, and the need for import substitution, there is a need to develop domestic devices for livestock accounting.

**Keywords:** breeding records, method, camera, RFID tag, livestock count, software and hardware complex, counting system, and robotic carriage.

### **Введение**

Зоотехнический учет – это система регистрации племенных и производственных показателей в животноводстве. Практика ведения высокопродуктивного скотоводства показала, что только в тех стадах на фермах, заводах, а также регионах добиваются выдающихся результатов, где имеется хорошо налаженный зоотехнический и племенной учет. Прочный первичный зоотехнический учет является фундаментом для племенного скотоводства, который, в свою очередь, определяет эффективность всех селекционно-племенных мероприятий, связанных с совершенствованием разводимых пород, массивов, популяций крупного рогатого скота молочного, комбинированного и мясного направлений продуктивности. Без правильно организованного учета невозможно вести работу по повышению продуктивных и племенных качеств животных.

Как зоотехнический, так и тем более племенной учет зиждется, в первую очередь, на мечении животных. Без достоверного, своевременного и четкого учета нельзя осуществлять эффективное производство продукции скотоводства, а без мечения невозможно проводить четкий учет. Важным элементом учета является идентификация каждого животного. В этом отношении разработка надежного метода мечения крупного рогатого скота пока остается нерешенной задачей, так как известные способы имеют существенные недостатки, снижающие их эффективность.

В племенном учете присутствует первичная и сводная учетная работа. Нужно учитывать расход на оплату труда персонала, налоги, расходы на корма. В рамках племенного разведения учету подлежат осеменения и случки, роды и прибавление в поголовье, выращивание молодняка. Племенной учет включает ведение карточек животных – хряков и свиноматок.

Для качественного зоотехнического контроля каждая особь в свиноводстве должна легко идентифицироваться. Свиней метят, присваивают им индивидуальные номера. При этом используют два варианта – применяют ушной выщип либо татуировки. Поросятам мужского пола в свиноводстве принято присваивать нечетные номера, а свинкам – четные.

При ведении учета в свиноводстве важно не допустить искажений информации, неточностей, которые потом могут внести хаос в работу фермы или предприятия. Ранее обе формы учетной деятельности велись на бумажных носителях. Племенной учет был зоной ответственности бухгалтерии, а зоотехнический – обязанностью зоотехников. Для каждого вида использовали более трех десятков видов журналов, книг и карточек, которые нужно было заполнять ежедневно.

Но этот метод устарел, поскольку точность информации при его применении вызывает резонные сомнения. Сотрудник может забыть внести сведения, перепутать графы, допустить математическую ошибку в расчетах. Все это непременно скажется на сводном учете – цифры попросту не сойдутся, данные будут противоречить друг другу. Чтобы свиноводство было успешным, рентабельным, приносило прибыль и развивалось вне зависимости от экономической обстановки в стране, информация для управления бизнесом всегда должна быть точной и поступать своевременно. Этому способствует автоматизация учета. Если заниматься учетной работой с применением специальных программ, то информационных потерь не будет, и обе формы учета в свиноводстве будут вестись одновременно и профессионально [1; 2].

## Основная часть

Учет свиней – это важная задача, которая становится еще более сложной при переводе свиней с доращивания на откорм, отгрузку и приемку. Задача актуальна как для небольших ферм, так и для крупных предприятий убоя и мясопереработки.

Хаотичное движение животных, высокая скорость передвижения, затаптывание сородичей, еще не убранные туши падежа в коридоре и другие факторы могут затруднить процесс. Учет требует высокой концентрации работника, но все равно неизбежны ошибки в счете. Неверный учет может привести к значительным потерям дохода и нарушениям в работе фермы.

Существуют следующие способы подсчета свиней на ферме:

- самый простой – визуальный (ручной) подсчет, когда нужно пройти по помещению и посчитать свиней вручную. Этот метод может быть эффективен для небольших ферм. Недоучет каждой туши животного критичен для предприятия;

- использование электронных систем учета. На крупных фермах часто применяются автоматизированные системы учета, которые могут включать в себя RFID-метки. Каждой свинье присваивается уникальный идентификатор, который считывается с помощью специальных устройств;

- фотографический учет. Использование камер для мониторинга свиней. Системы компьютерного зрения могут автоматически подсчитывать количество свиней на основе видеопотока;

- метод выборки. Если количество свиней велико, можно провести выборочный подсчет. Например, подсчитать свиней в нескольких клетках и экстраполировать данные на всю ферму;

- регулярные отчеты и записи. Ведение учета в специальных журналах или таблицах, где фиксируются данные о количестве свиней, их возрасте, весе и других характеристиках [3].

При помощи простого сервиса можно учитывать поголовье, а при помощи универсального продукта не только считать прирост животных, но и вести планирование рациона, проводить операции по реализации продукции, координировать и контролировать работу персонала, анализировать, планировать деятельность и совершать другие операции в зависимости от потребностей управления. Программа для учета поголовья – современный инструмент управления деятельностью в животноводстве. Программы могут быть узкоспециализированными и универсальными. Узкоспециализированные сервисы обслуживаю одну или несколько областей хозяйства, а универсальные охватывают максимально возможные участки трудовой деятельности. Программа учета поголовья животных дает возможность вести своевременный учет поголовья при приросте и убытии особей на ферме. Универсальные программы могут разрабатываться специально под пользователя системы, т. е. с учетом потребностей хозяйства.

Используемые программные системы позволяют производить учет свиней по полному циклу: от этапа осеменения свиноматок до откорма и передачи поголовья на убой предприятиям по переработке. Каждый цикл производства имеет важное значение, в каждом цикле существуют свои особенности содержания и кормления поголовья и, соответственно, особенности учета животных.

Известна умная видеоаналитика для автоматического учета свиней Vmx SILA: LSI (AI and CV for Pigs Inventory) фирмы Videomatrix (рисунок 1).



Рисунок 1 – Умная видеоаналитика для автоматического учета свиней Vmx SILA: LSI (AI and CV for Pigs Inventory)

Videomatrix – компания-разработчик, которая предлагает агропромышленным комплексам решение Vmx SILA: LSI на базе ИИ и машинного зрения. Эта система ведет автоматический учет количества свиней (рисунок 2) в режиме реального времени при переводе животных на доращивание, а затем передает данные во внутренние системы учета. Точность работы системы – до 99 % [4].

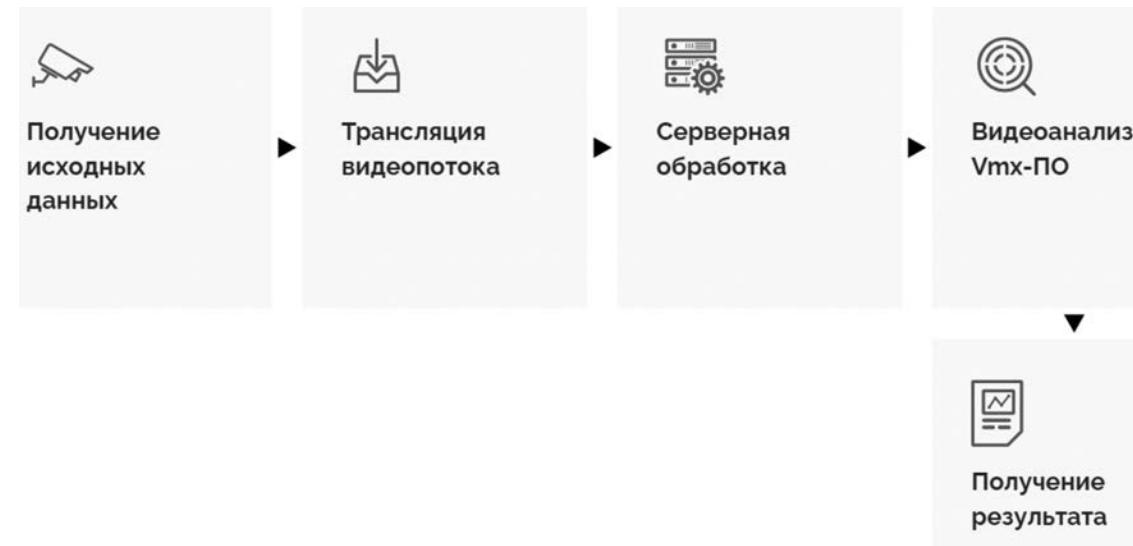


Рисунок 2 – Принцип работы системы

Российская компания «Центр Программ Систем: CPS» (рисунок 3) также выпускает систему подсчета поголовья. В основе программно-аппаратного комплекса – программное обеспечение, обрабатывающее видеоизображение, производящее распознавание и подсчет животных.



Рисунок 3 – Система подсчета поголовья компании «Центр Программ Систем: CPS»

Физически система представляет собой набор, в состав которого входят блок управления и видеокамера. Данное оборудование может быть установлено в любом месте, где необходимо произвести подсчет. Система автоматического подсчета поголовья может быть успешна применена на свиноводческих и мясоперерабатывающих предприятиях.

Решение по подсчету количества животных может применяться на крупных фермерских хозяйствах, специализирующихся на свиноводстве, и быть задействована в таких бизнес-процессах, как, например, отгрузка продукции покупателям.

На мясоперерабатывающих предприятиях система может быть использована в бизнес-процессе приемки свиней и легко интегрирована в учетную систему предприятия [5].

Также разработан сервис по распознаванию и подсчету животных по видео с роботизированной кареткой для перемещения видеокамеры (рисунок 4).

Сервис представляет собой специальное оборудование: IP-камеры, тепловизоры и роботизированные каретки, на которых эти сенсоры расположены.



Рисунок 4 – Видеоаналитический сервис с роботизированной кареткой для перемещения видеокамеры

Ежедневно системы сбора данных получают тысячи фотографий и видео, а затем используют их для обучения нейросетей. Не потеряться в таком объеме данных им помогает S3-совместимое хранилище MinIO и базы данных – в них лежат файлы с метаданными по каждому видео и фото. Таким образом, сотрудники знают, что и где было снято, когда, на какой сенсор, для какого про-

екта и где это хранится. Что позволяет оперативно фильтровать данные, генерировать новые датасеты, забирать новые фото и видео в сервисы.

Хранилище данных занимает центральное место в двух рабочих процессах: в инференсе и трейнинге (рисунок 5).



Рисунок 5 – Схема организаций рабочих ML-процессов

Сборщики сохраняют данные в хранилище. Далее Инференс пайплайн забирает данные и генерирует результаты. Затем эти результаты получают ветеринары, служба безопасности и все, кому нужна эта информация. А Тренинг пайплайн позволяет регулярно обновлять модели для сервисов с учетом новых данных.

Чтобы сервисы выдавали стабильный качественный результат, нужно непрерывно обучать модели. Для этого CV-инженеры при помощи методов активного обучения оценивают новые изображения и проверяют, с какими из них сервисы справляются хуже. Далее эти фото и видео забирают для переобучения системы. Процесс инференса строится при помощи оркестратора Prefect – он легко разворачивается и настраивается, в нем удобно планировать и управлять задачами для сервисов по видеоаналитике. То есть фактически результаты работы модели генерируются на одном из шагов Prefect-пайплайна. Также в работе помогают Grafana, Prometheus и Телеграм-боты для мониторинга и оперативного реагирования на возникающие инциденты.

На работу камеры влияют следующие внешние факторы:

– освещение. В загонах есть не только искусственное освещение, но и естественное – из окон. А так как естественный свет меняется в течение дня и календарного года, сотрудникам приходится подбирать настройки для камер;

– окклюзии. Каретка перемещается под потолком, поэтому в поле зрения постоянно попадают посторонние предметы. Чтобы они не мешали съемке, специалисты выбирают области для съемки, где животных лучше видно;

– загрязнение камеры. В загонах с животными этого не избежать, поэтому камеры приходится протирать;

– поведение животных. Все животные разные: поросыта юркие и любят бегать, а взрослые свиньи группируются и наваливаются друг на друга, из-за чего некоторых особей не видно и это усложняет работу трекера;

– дальние животные. Особенно сложно считать в дальних углах загона, потому что таких животных хуже видно.

Группа компьютерного зрения провела исследование и установила, что для человека точность подсчета поголовья свиней составляет 96–97 %. У сервиса видеоаналитики этот показатель должен быть не менее 99 %.

Для начала группа компьютерного зрения ввела кросс-проверку. Для съемки стали использовать три независимых разметчика – каждый на видео подсчитывает животных. Четвертый разметчик собирает данные, находит ошибки в подсчетах и усредняет. Такое усредненное значение принимается за истинное. Практически сразу сервис по подсчету показал точность 97 %. Оставалось только снизить количество ошибок.

Еще один процент точности дал тюнинг гиперпараметров после оптимизации пороговых значений для алгоритмов детекции, трекинга и счета животных.

Активная зона (рисунок 6) – это область на изображении, в котором подсчитывается животное с уникальным ID. Для разных по размерам загонов нужна разная область. Но так как сервис знает, какой загон снят, то может выбрать необходимую.



Рисунок 6 – Активная зона (выделена зеленым)

И последнее – усреднение данных. Группа компьютерного зрения прокатывает каретку три раза в день, а данные усредняет. Съемка выполняется с разницей в несколько часов. Это дает больше шансов увидеть тех животных, которые были перекрыты другими во время одного из проездов. А алгоритм подсчета может отбросить аномальные данные, которые появились из-за севших на объектив насекомых во время съемки [6].

Также шведская компания Smart Agritech создала Pigxcel – программно-аппаратный комплекс для автоматического взвешивания свиней (рисунок 7). Система с помощью камер и искусственного интеллекта отслеживает, как растут свиньи, чтобы оптимизировать их вес и количество корма. Система Pigxcel заранее предупреждает о любых проблемах.

Использование программно-аппаратного комплекса избавляет от необходимости вручную взвешивать животных, снижая тем самым риск стресса и травм для свиней и облегчая труд работников фермы. Система незаметно для животных взвешивает их несколько раз в день. Персонал может легко узнать вес свиней через компьютер, планшет или телефон [7].



Рисунок 7 – Программно-аппаратный комплекс для автоматического взвешивания свиней Pigxcel

Известна система взвешивания камерами iDOL 65 – это составная часть системы ProGrow от компании SKOV (рисунок 8).

Ручное взвешивание откормочных свиней является сложной процедурой, которая отнимает много времени. Система ProGrow определяет вес свиней с помощью камеры, установленной над одним или несколькими загонами в помещении. Система анализирует изображения, используя определенный алгоритм, и определяет вес свиней.

Система взвешивания с использованием камер предоставляет работникам фермы ценную информацию о текущем среднем весе свиней в загоне, а также распределении веса животных. Это позволяет производителю реагировать на факторы, влияющие на привес свиней.



Рисунок 8 – Система взвешивания с использованием камер iDOL 65

К преимуществам можно отнести отсутствие необходимости в ручном взвешивании свиней; возможность получать данные взвешивания в любое время – 24 ч в сутки, 7 дней в неделю, круглый год; данные в реальном времени всегда доступны для системы управления; нет необходимости в механических весах в загоне; экономически эффективные решения – простота реализации в большинстве загонов.

Целью применения методики является измерение веса животного без прямого контакта с ним. Стресс при такой процедуре при ручном взвешивании неминуем, и из-за него животные теряют привес. В то же время обойтись без регулярного взвешивания нельзя, потому что за весом животных нужно тщательно следить, чтобы на ранних стадиях определить тех свиней, которые плохо набирают вес, и не тратить ресурсы на их откорм.

Система предполагает размещение видеокамер над зоной кормления перпендикулярно поверхности пола. Камера фиксирует длину свиньи, обхват туловища под грудиной, упитанность [8].

### Заключение

Отсутствие должного уровня автоматизации в хозяйствах влечет за собой возникновение ошибок в оформлении первичных документов и систематизации сведений. Даже небольшие ошибки в регулировании вопросов зоотехнического учета животных могут в значительной степени негативно отразиться на показателях эффективности, нарушить систему управления отраслью животноводства.

### Список использованных источников

1. Методические указания по дисциплине зоотехнический и племенной учет : учеб.-метод. пособие / Е. Н. Чернобай [и др.]. – Ставрополь : АГРУС, 2023. – 61 с.
2. Деко, А. Ф. Зоотехнический учет в племенном животноводстве / А. Ф. Деко, А. И. Луценко // докл. Междунар. семинара для стипендиатов ФАО «Статистика численности скота и производства продукции животноводства», Москва, окт. 1968 г. – М. : [б. и.], 1968. – 16 с.

3. Агейкин, А. Г. Основы зоотехнии : практикум / А. Г. Агейкин, Т. А. Удалова, А. А. Нагибина. – Красноярск : Красноярский государственный аграрный университет, 2022. – 285 с.
4. Учет животных в АПК : [сайт]. – Екатеринбург, 2022–2025. – URL: <https://videomatrix.ru/solutions/pigs/> (дата обращения: 15.07.2025).
5. Система подсчета поголовья животных : офиц. сайт компании «Центр Программ Систем: CPS». – Белгород, 2022–2025. – URL: <https://sps.lcps.ru/> (дата обращения: 15.07.2025).
6. Как оптимизировать видеоналитические сервисы : офиц. сайт АО «Селектел». – Санкт-Петербург, 2008–2025. – URL: <https://selectel.ru/blog/ml-rusagro/> (дата обращения: 15.07.2025).
7. Автоматическое взвешивание свиней : сайт ООО «ТЕНЧАТ». – М., 2021–2025. – URL: <https://tenchat.ru/media/2847793-avtomaticheskoye-vzveshivaniye-sviney> (дата обращения: 15.07.2025).
8. Система взвешивания камерами iDOL 65 : офиц. сайт компаний «SKOV». – URL: <https://www.skov.com/ru/produkty/vzveshivanie-i-zapis/sistema-vzveshivaniya-kamerami-idol-65/> (дата обращения: 15.07.2025).

**В. В. Голдыбан, В. П. Селиванова, М. И. Курилович**

*РУП «НПЦ НАН Беларусь по механизации сельского хозяйства»*

*Минск, Республика Беларусь*

*E-mail: labpotato@mail.ru*

## **ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ АВТОНОМНОГО МОБИЛЬНОГО АГРЕГАТА**

**Аннотация.** В ходе исследования изучен метод системного проектирования при разработке транспортных средств. На основе изученной информации о системном подходе при проектировании транспортных средств был сделан выбор в пользу метода декомпозиции как основного при разработке проекта мобильной роботизированной платформы.

**Ключевые слова:** системный подход, подсистема, декомпозиция, формализация, системное проектирование, автономный мобильный агрегат.

**V. V. Goldyban, V. P. Selivanova, M. I. Kurylovich**

*SUE “SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization”*

*Minsk, Republic of Belarus*

*E-mail: labpotato@mail.ru*

## **APPLICATION OF A SYSTEM APPROACH IN DESIGNING AN AUTONOMOUS MOBILE UNIT**

**Abstract.** The study examined the method of system design in the development of vehicles. Based on the studied information on the system approach in the design of vehicles, a choice was made in favor of the decomposition method as the main one in the development of the project of a mobile robotic platform.

**Keywords:** systems approach, subsystem, decomposition, formalization, systems design, autonomous mobile unit.

### **Введение**

Системный подход при проектировании автономного мобильного агрегата предоставляет множество преимуществ, ключевым из которых является комплексное и целостное восприятие проекта. Он позволяет учитывать все взаимосвязанные компоненты и их взаимодействие, что обеспечивает более точное предсказание поведения системы в различных условиях. Такой подход способствует оптимизации ресурсов, улучшению надежности и эффективности агрегата, а также упрощает процесс выявления и устранения потенциальных проблем на ранних стадиях разработки. В результате конечный продукт становится более адаптивным, устойчивым и способным к выполнению поставленных задач в разных условиях [1].

### **Основная часть**

Основополагающая идея системного подхода – следует рассматривать любой объект, явление или процесс как систему и во взаимосвязи с другими объектами, явлениями или процессами, оказывающими влияние на них.

Сущность системного подхода раскрывается также через понятия и свойства сложной системы.

Понятия, относящиеся к сложным системам: элементы системы, свойства элементов, связи между элементами, ограничения системы (отношения, регулирование, контроль, стабильность, эквивалентность, надежность и др.).

С позиций системного подхода большинство объектов и явлений следует рассматривать, как целостную систему. В самом широком смысле система – это совокупность объектов, обладаю-

ших связями между собой, общими свойствами и связями между свойствами. Эти объекты представляют собой элементы системы. Элемент – это минимальный компонент системы, предел ее дробления. Элемент рассматривается без дальнейшего его деления, как единое целое.

Свойства элементов – это определенные их качества. Связи соединяют элементы и их свойства в систему, в системный процесс. Они определяют порядок функционирования, взаимодействия элементов. Связи между элементами могут быть обусловлены взаимными ограничениями на действия друг друга. Если функционирование элементов происходит независимо друг от друга, то связи между ними отсутствуют [2].

Связи между элементами системы могут быть жесткими и гибкими, которые меняются в процессе функционирования.

Выделяют связи первого, второго и третьего порядка. Связи первого порядка – это функционально необходимые связи. Второго порядка – это дополнительные связи, которые не являются функциональными, но они улучшают работу системы. Связи третьего порядка являются избыточными. Их еще называют противоречивыми.

Функционально необходимые связи представляют собой системообразующие связи, которые совместно со связями развития составляют связи управления.

Связи управления позволяют установить важную характеристику системы. В системе подсистемы любого уровня управляемы извне, с более высокого уровня, должны дать результат, необходимый для этой подсистемы.

Ограничения сложной системы складываются из двух частей: целей и принуждающих связей. Ограничения влияют на работу системы и в существенной степени определяют ее функционирование.

Существует достаточно много классификаций сложных систем. Первая классификация – по свойствам элементов системы. Различают материальные и абстрактные системы. Материальные сложные системы состоят из искусственных и естественных элементов. Абстрактные системы состоят из элементов-символов [3–4].

Вторая классификация – по признаку происхождения систем. Различают естественные и искусственные системы. Естественные сложные системы возникают в естественных процессах и явлениях (климат, почва и др.). Некоторые естественные системы могут быть адаптивными. В них происходит постоянное приспособление к изменяющейся окружающей среде. Если естественные системы обмениваются регулярным образом веществом или энергией с окружающей средой, то они называются открытыми системами. При отсутствии таких обменов системы являются закрытыми. Искусственные сложные системы создаются человеком. Они могут также быть открытыми, закрытыми и адаптивными. Чаще искусственные системы – открытые. Закрытость сложной системы означает постоянство входа и возможность статистического прогноза информации на выходах из системы.

Третья классификация систем основывается на признаке сложности, исходя из особенностей поведения сложной системы. Различают три класса систем – простые, сложные и очень сложные по количеству элементов, входящих в сложную систему. Увеличение числа элементов и усложнение связей внутри системы часто приводят к качественным скачкам. Еще по степени сложности взаимосвязей различают детерминированные и вероятностные системы.

Во многих технических системах взаимосвязи элементов обусловлены их структурой, например, конструкцией механизма. Особенno сложно управлять системой, в которой одним из элементов является человек.

Особенности системного подхода отражаются в его принципах, следующих из свойств системы. Выделяют такие принципы:

- сложный объект необходимо рассматривать как систему элементов, а не единым целым;
- при изучении или создании сложная система разбивается на подсистемы (декомпозиция системы). Подсистемы являются автономными – они имеют свои цели, относительно слабо связаны с другими подсистемами по сравнению с внутренними связями в самих подсистемах. Связи, существующие между элементами системы, способны усиливать действия отдельных подсистем. Из-за этого система в целом может приобретать новые свойства, не присущие подсистемам;

– структурная упорядоченность сложной системы следует из свойства делимости системы и наличия вертикальных и горизонтальных связей. Вертикальные связи определяют уровни системы и их иерархию. Смысл иерархической структуры состоит в относительной самостоятельности уровней и подчиненности более низких уровней более высоким. Горизонтальные связи – это связи между элементами одного уровня. Они обеспечивают выполнение определенной функции;

– целевая ориентация сложной системы заключается в необходимости организации отдельных частей системы для реализации общей цели системы в целом. Эффективность управления системой тем выше, чем выше согласованность между частными целями подсистем и их соответствие общей цели.

Названные принципы являются только основными. С развитием системного подхода могут появляться новые принципы, отражающие установленные позднее особенности новых сложных систем и применение к ним данного подхода. Системный подход существенно преобразовал традиционные способы научного исследования и изучения сложных явлений и объектов, что позволяет проводить это более результативно. Особенностью системного подхода является также комплексное рассмотрение явления или объекта на основе комплекса их свойств и характеристик. Комплексность в изучении сложных систем повышает объективность и уточняет влияние и роль каждого элемента и подсистемы.

Схематично системное исследование можно представить состоящим из нескольких этапов:

– четкая формулировка цели исследования за счет изучения внутренней структуры и свойств объекта, создания его адекватной модели, выявления нерешенных проблем. Это позволяет в последующем найти эффективные пути решения проблем;

– формирование системной характеристики объекта, т. е. выделение таких его свойств, которые связаны с целью исследования;

– создание модели объекта, адекватно отражающей реальный объект;

– проведение самого исследования модели, как сложной системы: разбиение сложной системы на части – декомпозиция, выделение элементов и связей в подсистемах, изучение отдельных подсистем и их последующий синтез, оценка адекватности системы, как модели объекта, анализ результатов исследования и эффективности выбранного направления решения задачи [5].

Сложная система, моделирующая реальный объект, является отражением реальности, абстракцией объекта. Главное требование к модели – ее адекватность. Можно сказать, что модель – это упрощенная конструкция реального объекта, его огрубление, это инструмент для изучения и создания объекта. С помощью модели можно более точно отразить реальное явление, чем через непосредственное ее восприятие. Степень приближенности модели к объекту – это не отказ от точного отображения объекта, а прием, позволяющий удовлетворительно добиться цели исследования.

При системном подходе к решению сложной проблемы реализуется структурная организация исследования, широко используются количественные методы и другие формальные средства. Формализация выступает как способ представления логики функционирования процесса, углубления знаний о его природе. Формализация – это инструмент для получения знания об изучаемом процессе, позволяющий применять математические методы и компьютерные технологии. При формализации выделяется главное и отбрасывается второстепенное.

Приведем основные методы, применяемые при проектировании [6]:

- эвристические методы: метод итераций (последовательного приближения);
- метод декомпозиции;
- структурно-функциональный подход, построение структуры системы на основе описания ее функциональности, и представление ее в структурном виде;
- метод контрольных вопросов;
- метод мозговой атаки (штурма);
- теория решения изобретательских задач (ТРИЗ);
- метод морфологического анализа;
- функционально-стоимостной анализ;
- методы конструирования;
- экспериментальные методы: планирование эксперимента; машинный эксперимент; мысленный эксперимент;

– формализованные методы: методы поиска вариантов решений, методы автоматизации процедур проектирования, методы оптимального проектирования.

Системное проектирование комплексно решает поставленные задачи, принимает во внимание взаимодействие и взаимосвязь отдельных объектов-систем и их частей как между собой, так и с внешней средой, учитывает социально-экономические и экологические последствия их функционирования. Системное проектирование основывается на тщательном совместном рассмотрении объекта проектирования и процесса проектирования, которые в свою очередь включают еще ряд важных частей (рисунок 1).



Рисунок 1 – Основные составляющие системного подхода

Проектирование – один из видов работ, результатом которых является комплект проектной документации на материальный объект или выполнение работы, или оказание услуги.

Проектирование, как осознанная целенаправленная деятельность, обладает определенной структурой, последовательностью и составом стадий и этапов разработки проекта, совокупностью процедур и привлекаемых технических средств, взаимодействием участников процесса.

В настоящее время существуют два представления структуры проектирования подобные по форме, но различные по целям и подходам к деятельности. Это структура в виде стадий разработки проектной документации (стадий проектирования) и структура процесса проектирования.

Структура этапов проектирования регламентирована следующими стандартами:

- ГОСТ 2.102-68 Единая система конструкторской документации. Виды и комплектность конструкторских документов;
- ГОСТ 14.004-83 Технологическая подготовка производства. Термины и определения основных понятий;
- СТБ 1019-2000 Разработка и постановка продукции на производство. Термины и определения.

Данная структура устанавливает стадии разработки конструкторской документации изделий всех отраслей промышленности и этапы выполнения работ. Эта документация необходима для отчета перед заказчиком о проделанной работе, возможности проверки или повторения разработок другими исполнителями, подготовки производства и обслуживания изделия в период эксплуатации. Основные стадии (этапы) структуры представлены на рисунке 2 [7].



Рисунок 2 – Стадии разработки проектной документации

Техническое задание (ТЗ) устанавливает основное назначение, технические и тактико-технические характеристики, показатели качества и технико-экономические требования к разрабатываемому объекту, предписание по выполнению необходимых стадий создания документации и ее состав, а также специальные требования к изделию.

Техническое предложение (ПТ) – совокупность документов, содержащих техническое и технико-экономическое обоснование (ТЭО) целесообразности разработки проекта. Такое заключение дается на основании анализа ТЗ заказчика и различных вариантов возможных решений, их сравнительной оценки с учетом особенностей разрабатываемого и существующих изделий, а также патентных материалов.

Согласованное и утвержденное в установленном порядке (на предприятии, в министерстве и т. п.) ПТ является основанием для разработки эскизного проекта.

Эскизный проект (ЭП) – совокупность документов, содержащих принципиальные решения и дающих общее представление об устройстве и принципе работы разрабатываемого объекта, а также данные, определяющие его назначение, основные параметры и габаритные размеры. В случае большой сложности объекта этому этапу может предшествовать аванпроект (предпроектное исследование), обычно содержащий теоретические исследования, предназначенные для обоснования принципиальной возможности и целесообразности создания данного объекта.

При необходимости на стадии ЭП проводят изготовление и испытание макетов разрабатываемого объекта.

Технический проект (ТП) – совокупность документов, которые должны содержать окончательные технические решения, дающие полное представление об устройстве проектируемого объекта, исходные данные для разработки рабочей документации.

На стадии рабочего проекта (РП) сначала разрабатывают подробную документацию для изготовления опытного образца и последующего его испытания. Испытания проводят в несколько этапов (от заводских до приемо-сдаточных), по результатам которых корректируют проектные документы. Далее разрабатывают рабочую документацию для изготовления установочной серии, ее испытания, оснащения производственного процесса основных составных частей изделия. По результатам этого этапа снова корректируют проектные документы и разрабатывают рабочую документацию для изготовления и испытания головной (контрольной) серии. На основе документов окончательно отработанных и проверенных в производстве изделий, изготовленных по зафиксированному и полностью оснащенному технологическому процессу, затем разрабатывается завершающая рабочая документация установленного производства.

В процессе разработки проектной документации в зависимости от сложности решаемой задачи допускается объединять между собой ряд этапов. Этапы постановки ТЗ и технического проектирования могут входить в цикл научно-исследовательских работ (НИР), а этапы технического предложения и эскизного проектирования – образовывать цикл опытно-конструкторских работ (ОКР).

Завершает цикл работ этап, подводящий итог проектной деятельности, – сертификация. Ее назначение – определение уровня качества созданного изделия и подтверждение его соответствия требованиям тех стран, где предполагается его последующая реализация. Необходимость выделения этого этапа в виде самостоятельного вызвана тем, что в настоящее время экспорт продукции или ее реализация внутри страны во многих случаях недопустимы без наличия на нее сертификата качества.

Сертификация может быть обязательной или добровольной. Обязательной сертификации подлежат товары, на которые законами или стандартами установлены требования, обеспечивающие безопасность жизни и здоровья потребителей, охрану окружающей среды, предотвращение причинения вреда имуществу потребителя. Добровольная сертификация проводится по инициативе предприятий. Обычно это делается с целью официального подтверждения характеристик продукции, изготавливаемой предприятием, и, как следствие, повышения доверия к ней потребителей [8].

На основе изученной информации о системном подходе при проектировании транспортных средств был сделан выбор в пользу метода декомпозиции как основного при разработке проек-

та мобильной роботизированной платформы. Схема декомпозиции структурных элементов мобильной роботизированной платформы представлена на рисунке 3.



Рисунок 3 – Схема декомпозиции структурных элементов мобильной роботизированной платформы

## Выводы

В результате проведенного исследования установлено, что применение системного подхода при проектировании автономного мобильного агрегата позволяет обеспечить комплексное рассмотрение всех элементов системы и их взаимодействий, что способствует повышению надежности, адаптивности и эффективности создаваемой платформы. Анализ существующих методов системного проектирования показал целесообразность использования метода декомпозиции, который обеспечивает структуризацию процесса разработки, выделение ключевых подсистем и упрощение последующей интеграции компонентов в единую функциональную систему. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании аналогичных мобильных роботизированных комплексов для решения задач в сельском хозяйстве, промышленности и других отраслях, требующих автономного выполнения технологических операций в различных условиях.

## Список использованных источников

1. Афанасьев, В. Г. Системный подход и общая теория систем / В. Г. Афанасьев. – М. : Наука, 1980. – 272 с.
2. Чубисов, В. Ф. Проектирование робототехнических систем : учеб. пособие / В. Ф. Чубисов, А. Ю. Шилов. – М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2019. – 148 с.
3. Лаптев, А. Н. Автоматизация и роботизация мобильных машин : монография / А. Н. Лаптев, С. В. Семенов. – СПб. : Политехника, 2017. – 234 с.
4. Спивак, В. А. Системный подход и системное мышление как универсальная компетенция специалиста и руководителя : монография / В. А. Спивак. – Чебоксары : Среда, 2022. – 136 с.
5. Engineering Design: A Systematic Approach / G. Pahl, W. Beitz, J. Feldhusen, K.-H. Grote. – 3rd ed. – London : Springer, 2007. – 617 p.
6. ISO/TC 184/SC 2 Robotics – Vocabulary. ISO 8373:2012 Robotics – International Organization for Standardization.
7. Титов, В. М. Системный анализ и проектирование сложных технических систем / В. М. Титов. – М. : Высшая школа, 2015. – 289 с.
8. Wang, L. Collaborative design and planning for digital manufacturing / Lihui Wang, Andrew Y. C. Nee. – London : Springer, 2009. – 413 p.

**В. В. Голдыбан<sup>1</sup>, В. В. Азаренко<sup>2</sup>, В. П. Селиванова<sup>1</sup>, М. И. Курилович<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>РУП «НПЦ НАН Беларусь по механизации сельского хозяйства»*

*Минск, Республика Беларусь*

*E-mail: labpotato@mail.ru*

*<sup>2</sup>Президиум НАН Беларусь*

*г. Минск, Республика Беларусь*

*E-mail: azarenko@presidium.bas-net.by*

## **РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОНОМНЫХ РОБОТИЗИРОВАННЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ АГРЕГАТОВ**

*Аннотация.* В работе представлен новый подход к проектированию систем безопасности автономных роботизированных транспортных средств, используемых в сельском хозяйстве. Предлагаемая методология описывает процедуру разработки системы безопасности на этапе анализа опасностей. Разрабатываемая система выполняет двойную функцию: во-первых, обеспечивает верификацию корректности реализации ограничений безопасности и отсутствие конфликтов, выявленных на стадии анализа опасностей; во-вторых, служит высокоуровневым инструментом управления безопасностью, контролируя действия автономной платформы и предотвращая выполнение потенциально опасных операций на уровне управления.

*Ключевые слова:* автономная сельскохозяйственная платформа, системы безопасности, анализ опасностей, предотвращение опасных ситуаций, проектирование систем безопасности, автономное вождение.

**V. V. Goldyban<sup>1</sup>, V. V. Azarenko<sup>2</sup>, V. P. Selivanova<sup>1</sup>, M. I. Kurylovich<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>SUE “SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization”*

*Minsk, Republic of Belarus*

*E-mail: labpotato@mail.ru*

*<sup>2</sup>Presidium of the National Academy of Sciences of Belarus*

*Minsk, Republic of Belarus*

*E-mail: azarenko@presidium.bas-net.by*

## **DEVELOPMENT OF A SAFETY CONCEPT FOR THE EXPLOITATION OF AUTONOMOUS ROBOTIC AGRICULTURAL AGGREGATES**

*Abstract.* This paper presents a novel approach to designing safety systems for autonomous robotic vehicles used in agriculture. The proposed methodology outlines the procedure for developing a safety system at the hazard analysis stage. The developed system performs a dual function: first, it ensures verification of the correct implementation of safety constraints and the absence of conflicts identified during hazard analysis; second, it serves as a high-level safety management tool, controlling the actions of the autonomous platform and preventing the execution of potentially hazardous operations at the control level.

*Keywords:* autonomous agricultural platform, safety systems, hazard analysis, hazardous situation prevention, safety system design, autonomous driving.

### **Введение**

Современный этап научно-технического прогресса, дефицит трудовых и материальных ресурсов, ужесточение экологических требований, последствия глобальных эпидемиологических и климатических изменений формируют перед механизацией сельского хозяйства новые задачи. Требуется обеспечить высокий уровень интенсификации агропроизводства при росте эффективности капиталовложений и сокращении потребления ресурсов.

Согласно стратегии Национальной академии наук Беларусь «Наука и технологии до 2040 года», решение этих задач возможно за счет внедрения индустриальных технологий – бес-

пилотной техники, роботизированных комплексов и мехатронных систем мониторинга, контроля и управления агропроцессами (п. 3.1 и п. 3.2.2).

Развитие мобильных роботов и автономных транспортных средств для сельского хозяйства призвано повысить эффективность выполнения операций по сравнению с традиционными машинно-тракторными агрегатами, что, в свою очередь, требует разработки новых методов обеспечения безопасности эксплуатации роботизированных систем.

## Основная часть

Сельскохозяйственные роботы автоматизируют трудоемкие операции (посев, прополка, опрыскивание, уборка, транспортировка), работают круглосуточно даже в неблагоприятных погодных условиях и обеспечивают мониторинг состояния почвы и культур в реальном времени.

Компактные электрические роботы повышают производительность малых и средних хозяйств, особенно при координированной работе нескольких машин под контролем одного оператора.

Наиболее распространены конструкции на базе самоходного шасси с электрическим колесным или гусеничным приводом.

Для эффективного взаимодействия между роботами и людьми требуется проектирование с учетом минимизации рисков аварий и травм. В рамках проекта предусматривается разработка системы безопасности движения модульной системы управления автономной роботизированной платформой.

Отсутствие специализированной стратегии проектирования и эксплуатации таких систем с требуемым уровнем безопасности определяет необходимость создания базы для их дальнейшей стандартизации.

Одно из направлений исследований по обеспечению безопасности эксплуатации автономных роботизированных агрегатов в сельском хозяйстве связано с формированием безопасной траектории его движения с учетом характеристик окружающей среды (рельеф, препятствия, семантика человека). Один из методов достижения этого заключается в том, чтобы сосредоточиться на сотрудничестве человека и робота [1; 2]. Ограничением этого метода является то, что ошибочное взаимодействие человека может привести к сбоям, травмируя человека. Другой подход основан на оценке риска, метод оценки риска определяется, как взвешенная сумма элементов риска, дает количественное измерение любого потенциального риска [3].

В работах [4; 5] представлена архитектура, ориентированная на безопасность, для систем управления роботами. Она предназначена для того, чтобы всегда переводить робота в безопасное состояние. Безопасные состояния зависят от функций, которые должны выполнять роботы. Они могут сильно различаться, поэтому в работах [4; 5] предлагается политика безопасности, которая содержит иерархическую структуру правил, обеспечивающих безопасную работу робота.

Для оценки и снижения рисков возникновения опасной ситуации разработаны международные стандарты безопасности. Интеграция безопасности в роботизированные приложения, согласно международному стандарту безопасности ISO-13489 [6], – обязательная функция любого автономного мобильного приложения для обеспечения безопасности человека, она является одним из основных компонентов. Кроме того, в стандарте ISO-13489-1-2014 говорится, что любое оборудование должно применять защитные меры в качестве процедуры снижения риска для функций управления, связанных с безопасностью. Международные стандарты безопасности, такие как ГОСТ ISO 12100-2013 [7], ISO-18497-1:2024 [8] или ГОСТ ISO-13489-1-2014 подчеркивают необходимость систем расчета и снижения рисков, связанных с безопасностью.

В работах [9; 10] рассматривается стратегия безопасного использования автономных роботов. Она содержит требования безопасности в отношении программного обеспечения, сенсорных устройств и датчиков, электрооборудования, стадий эксплуатации роботов, статических и динамических характеристик, структурных компонентов, механической прочности и информации для пользователя.

Работа [11] посвящена типизации фактических уровней опасности эксплуатируемых полевых роботов; обзору стандарта безопасности; концепции оценки жизненного цикла в безопасности сельскохозяйственных машин; оценке риска; концепции систем управления, связанных с безо-

пасностью для машин; спецификациям аппаратного и программного обеспечения; рекомендациям по устранению систематических неисправностей и определению функций безопасности; доступным процедурам обнаружения, изоляции и прогнозирования неисправностей; обзору уровня проверки безопасности при проектировании сельскохозяйственной машины; концепции строительных блоков для интеллектуального мобильного оборудования.

В работе [12] предложен подход мониторинга безопасности во время выполнения работ роботизированной автономной системой в сельском хозяйстве, который использует монитор безопасности на основе правил для наблюдения за системой на предмет критических для безопасности отклонений. Подход ведет себя как механизм отказоустойчивости, где система непрерывно контролирует себя и активирует корректирующие меры в случае критических для безопасности сбоев, тем самым помогая системе поддерживать безопасное поведение во время выполнения.

На основании проведенного аналитического исследования была разработана концепция стратегии безопасности, которая основана на оценке возникновения риска опасных ситуаций.

Целью стратегии по оценке риска является максимально возможное снижение рисков, выявление любых опасностей, которые может представлять автономное транспортное средство, принятие соответствующих мер безопасности и информирование операторов о любых остаточных рисках. Схематичное отображение стратегии по оценке риска представлено на рисунке 1.



Рисунок 1 – Схема итеративного процесса снижения риска

Разработка системы безопасной навигации предполагает объединение двух ключевых направлений: управления рисками и автономного движения. Оба компонента требуют совершенствования уже на этапе проектирования, когда проводится анализ всех требований к безопасности. Этот шаг имеет принципиальное значение, так как позволяет снизить вероятность возникновения потенциальных рисков в течение всего жизненного цикла системы.

Предлагаемая методология рассматривает систему безопасности как многоэтапный процесс управления рисками, адаптированный для работы в реальном времени. Такой подход подчеркивает важность переноса анализа возможных угроз в начальную стадию проектирования (рисунок 2).

Первым этапом является идентификация опасностей, включающая выявление всех потенциальных угроз. Далее полученные данные передаются в подсистему обнаружения, которая непрерывно контролирует рабочую среду. После этого формируется план реагирования на риск, определяющий действия в соответствии с заранее установленными правилами. На заключительном этапе система оценивает результаты предпринятых мер и определяет, является ли уровень

риска допустимым. При превышении допустимого уровня робот обязан прекратить работу для предотвращения аварийных ситуаций.

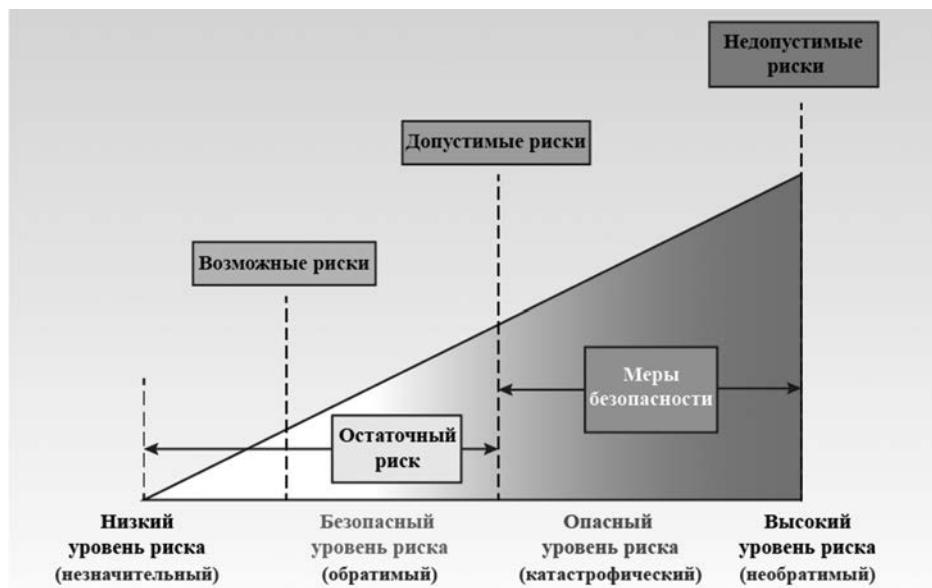


Рисунок 2 – Оценка рисков

Определение опасностей начинается с описания сценария и задач, которые должен выполнять робот. В условиях сельскохозяйственного применения речь идет об открытых полевых операциях: посеве, сборе урожая, скашивании или высеве семян и др. С учетом сложности выполняемых экспериментов и ранней стадии разработки платформы в проектный этап включается лишь ограниченный набор угроз. Для более глубокого понимания причин их возникновения проводится анализ видов и последствий отказов, который разделяет их на сбои верхнего уровня, связанные с функциональными модулями системы, и нижнего уровня, вызванные ошибками сенсоров. После идентификации угроз становится возможна корректная работа цикла обнаружения, при котором все достоверно выявленные события обрабатываются в соответствии с планом реагирования.

План реагирования на риски реализуется в два этапа: сначала формируются общие политики управления рисками, охватывающие все возможные угрозы, затем каждая политика привязывается к конкретному риску. В результате создается адаптированный план минимизации рисков для сельскохозяйственных приложений. Для учета ситуаций, когда направление движения робота влияет на степень тяжести последствий, применяется система зонирования рисков, определяемая в рамках политики безопасности.

Безопасная навигация рассматривается как автономный процесс выполнения задач, в котором обеспечение безопасности выступает базовым принципом проектирования. В отличие от традиционного подхода, где безопасность трактуется как вспомогательный исполнительный модуль, в данном исследовании она понимается как основная функция системы.

Система, которую можно считать безопасной, должна включать четыре взаимосвязанных модуля: исполнение, коммуникацию, безопасность и мониторинг. Совместная работа этих компонентов обеспечивает устойчивое функционирование на различных уровнях программного обеспечения.

Исполнение отвечает за выполнение следующих задач: локализацию, построение карты, планирование траектории и управление движением. В сельскохозяйственной робототехнике для локализации обычно применяются GPS-решения. Для выполнения задач может быть использован широкий спектр контроллеров и планировщиков, выбор которых зависит от характеристик конкретного применения. При нарушении работы модуля безопасности исполнительный модуль обязан остановить все действия.

Коммуникация обеспечивает взаимодействие человека и робота. К этому могут относиться визуальные, голосовые, тактильные интерфейсы или мобильные приложения. Данный модуль вводит возможность вмешательства человека, формируя безопасный канал для человеко-машинного взаимодействия.

Безопасность осуществляет мониторинг внешних событий, способных нарушить безопасное состояние робота. Обнаружение объектов или людей, находящихся под угрозой столкновения или повреждения, является обязательным условием для предотвращения критических ситуаций.

Мониторинг контролирует работу всех остальных модулей и отслеживает корректность их функционирования в процессе работы. При выявлении отклонений способен остановить выполнение задачи.

Функции, связанные с исполнением и коммуникацией, достаточно глубоко разработаны и активно применяются в робототехнике. Однако модуль безопасности зачастую рассматривается лишь как часть системы восприятия, ограниченной базовыми правилами. Более надежные решения становятся возможны только при условии предварительного анализа угроз и детального понимания выполняемой задачи. В рамках данного исследования формулируются четкие определения модулей исполнения и безопасности как ключевых элементов общей концепции безопасной навигации.

Исследования по разработке концепции безопасности проводятся совместно с Монгольским университетом естественных наук в рамках проекта БРФФИ «Разработка концепции безопасности при эксплуатации автономных роботизированных сельскохозяйственных агрегатов» (договор Т25МН-001 от 02.05.2025 г.). Основой для проведения данных исследований является макетный образец мобильной роботизированной платформы с технологической колеей 1 500 мм. Макетный образец был разработан лабораторией механизации производства овощей и корнеклубнеплодов РУП «НПЦ НАН Беларусь по механизации сельского хозяйства» в рамках НИР 1 «Создание прототипа мобильной роботизированной платформы для ухода за посадками овощных культур» задания 6.9 «Научное обоснование применения элементов цифровых технологий и роботизированных систем при возделывании овощей и картофеля» ГПНИ на 2021–2025 гг. «Сельскохозяйственные технологии и продовольственная безопасность». Совместно с ГНУ «Объединенный институт проблем информатики Национальной академии наук Беларусь» разработано аппаратно-программное обеспечение для управления движением макетного образца мобильной роботизированной платформы в междуурядьях пропашных культур на основе технического зрения. Макетный образец автономной роботизированной платформы представлен на рисунке 3.



Рисунок 3 – Макетный образец автономной роботизированной платформы

Автономная роботизированная платформа является многомерным нелинейным объектом управления, состоящим из базовых подсистем:

- исполнительной;
- информационной (сенсорной);
- управляющей;
- коммуникационной.

Исполнительная подсистема включает в себя ходовую систему, систему внесения пестицидов, системы питания и безопасности движения. Информационная подсистема состоит из датчиков внутренней информации, конструктивно встроенных в ходовую систему, и внешней информации о состоянии окружающей среды (видеокамеры, датчики наземного лазерного сканирования и др.). Управляющая подсистема или подсистема управления включает в себя преобразователи информации, контроллеры и программное обеспечение, а также средства интерфейса оператора. Коммуникационная система состоит из каналов прямой и обратной связи внутри роботизированной платформы и внешнего интерфейса для связи с оператором.

В рамках задания 6.22 «Исследование локального позиционирования автономной роботизированной платформы методом наземного лазерного сканирования» ГПНИ на 2021–2025 гг. «Сельскохозяйственные технологии и продовольственная безопасность» с IV квартала 2024 г. начаты работы по обоснованию способа локального позиционирования сельскохозяйственной автономной роботизированной платформы (АРП) на основе метода наземного лазерного сканирования и расчета преодолеваемого пути, обеспечивающего эффективное беспилотное управление платформой на поворотных полосах и распознавание препятствий ее движению при возделывании пропашных культур. Впервые для управления беспилотными роботизированными транспортными средствами на поворотных полосах и объезда ими препятствий при возделывании пропашных культур будет применена технология наземного лазерного сканирования, основанная на использовании лазерного луча для построения в режиме реального времени полноценной карты рельефа местности и целевого объекта.

## Выводы

В исследовании предложена концепция безопасной навигации автономных сельскохозяйственных роботов, в основе которой лежит интеграция методов управления рисками и автономного движения. Безопасность рассматривается как ключевая функция системы, что позволяет выявлять и минимизировать потенциальные угрозы еще на стадии проектирования. Разработанный подход опирается на многоэтапный процесс анализа рисков и использование структурной модели, включающей модули исполнения, коммуникации, безопасности и мониторинга.

Применение предложенной методологии обеспечивает повышение надежности и устойчивости робототехнических платформ к отказам различного уровня, а также формирует основу для разработки универсальных политик реагирования на риски. Такой подход способствует расширению возможностей использования автономных систем в агротехнологиях и их интеграции в практику прецизионного земледелия.

## Список использованных источников

1. Basic, M. Safety issues in human robot interactions / M. Basic, A. Billiard // In: 2013 IEEE International Conference on Robotics and Automation. – 2013. – P. 197–204. – URL: [https://www.google.com/search?scas\\_evs=fa8e374c3da64ae1&q=Basic,+ %D0 %9C.+Safety+issues+in+human+robot+interactions/M.+Basic,+A.+Billiard//+In:+2013+IEEE+International+Conference+on+Robotics+and+Automation.+ %E2 %80 %93+2013. %E2 %80 %94+ %D0 %A0.+197+%E2%80%93204. &spell=1&sa=X&ved=2ahUKEwidlsOd7JiPAxVGRvEDHYKRC4EQBSgAegQIDRAB&biw=1680&bih=923&dpr=1](https://www.google.com/search?scas_evs=fa8e374c3da64ae1&q=Basic,+ %D0 %9C.+Safety+issues+in+human+robot+interactions/M.+Basic,+A.+Billiard//+In:+2013+IEEE+International+Conference+on+Robotics+and+Automation.+ %E2 %80 %93+2013. %E2 %80 %94+ %D0 %A0.+197+%E2%80%93204. &spell=1&sa=X&ved=2ahUKEwidlsOd7JiPAxVGRvEDHYKRC4EQBSgAegQIDRAB&biw=1680&bih=923&dpr=1) (date of access: 20.07.2025).
2. Przemyslaw, A. Lasota. A Survey of Methods for Safe Human-Robot Interaction. In: Foundations and Trends in Robotics 5.3 (2017) / A. Lasota Przemyslaw, Fong Terrence, A. Shah. Julie. – P. 261–349.
3. Rob Dupre and Vasileios Argyriou. Risk Estimation in Robotics and the Impact of Human Behaviour. In: Legal, Ethical and Socioeconomic Impacts, George Dekoulis, IntechOpen, Dec. – 2017.

4. Safety control architecture for personal robots: Behavioural suppression with deliberative control / R. Woodman, A. F. Winfield, C. Harper, M. Fraser // The Seventh IARP Workshop on Technical Challenges for Dependable Robots in Human Environments. – Toulouse, France. – 2010.
5. Building safer robots: Safety driven control / R. Woodman, A. F. Winfield, C. Harper, M. Fraser// The International Journal of Robotics Research. – 2012. – 31 (13). – P. 1603–1626.
6. Безопасность оборудования. Элементы системы управления, связанные с безопасностью : ГОСТ ISO-13489-1-2014. – Ч. 1. – Общие принципы конструирования ; введ. 01.01.2016. – М. : Стандартинформ, 2015. – 78 с.
7. Безопасность машин. Основные принципы конструирования. Оценка риска и снижение риска : ГОСТ ISO 12100-2013 ; введ.01.01. 2015. – М. : Стандартинформ, 2015. – 75 с.
8. Сельскохозяйственные машины и тракторы – Безопасность частично автоматизированных, полуавтономных и автономных машин : ГОСТ ISO 18497-1-2024. – Взамен ISO 18497:2018 ; введ. 05.12. 2024. – Международный стандарт. – 24 с.
9. Mitka, E. Strategy for Safer Agricultural Robots / E. Mitka // Economics World, Nov.-Dec. 2018. – Vol. 6, № 6. – P. 472–481. – DOI: 10.17265/2328-7144/2018.06.006.
10. Mouroutsos, S. G. Safety-Guided Design Concerning Standardization's Requirements of Mowing Robots / Spyridon G. Mouroutsos, Eleftheria Mitka // 19th Advances in Production Management Systems (APMS). – Sep. 2012, Rhodes, Greece. – P. 550–557. – DOI:10.1007/978-3-642-40352-1\_69.
11. Barreiro, P. Safety functional requirements for «robot fleets for highly effective agriculture and forestry management» / Barreiro, P. [et al.]; In: 1st International Workshop on Robotics and Associated High Technologies and Equipment for Agriculture (RHEA-2011). – 2011. – URL: <http://www.rhea-project.eu> (date of access: 25.08.2025).
12. Haupt, N. B. A runtime safety monitoring approach for adaptable autonomous systems / Haupt, N. B., Liggesmeyer, P. // In: Computer Safety, Reliability and Security : SAFECOMP 2019, Workshops, Turku, Finland. – September 10. – 2019. – P. 166–177.

**Д. С. Федоров, В. К. Каличkin, К. Ю. Максимович**

*Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН*

*Российская Федерация, Новосибирская область,*

*Новосибирский р-н, пос. Краснообск*

## **СОВРЕМЕННЫЕ ЦИФРОВЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ АГРАРНЫХ ЭКОСИСТЕМ**

*Аннотация.* Современное сельскохозяйственное производство стоит перед необходимостью решения фундаментальной дилеммы достижения высокой продуктивности при обеспечении экологической устойчивости агроэкосистем. Цель исследования заключается в анализе современных цифровых подходов и инструментов для оценки устойчивости аграрных экосистем в контексте достижения баланса между продуктивностью и экологической безопасностью сельскохозяйственного природопользования. В работе проведен систематический обзор отечественных и зарубежных методологических подходов, включающих многокритериальные методы анализа, алгоритмы машинного обучения, платформенные решения и технологии искусственного интеллекта. Исследование демонстрирует эволюцию подходов от простейших многокритериальных методов (AHP, TOPSIS, ELECTRE) до комплексных платформенных решений с интеграцией цифровых технологий получения данных агроэкологического мониторинга, агробиоценотических индикаторов и технологий искусственного интеллекта. Анализ специализированных систем (SAFA, MOTIFS, SOSTARE, Smart-Farm Tool, IDEA, RISE) и облачных платформ (Google Earth Engine, Microsoft FarmBeats, IBM Watson) показал активное развитие трех взаимосвязанных направлений: совершенствование методов агрегации и нормализации разнородных показателей, расширение технологических возможностей сбора и обработки мультимодальных данных, углубление аналитических подходов к моделированию динамики агроэкосистем. Выявлены преимущества и ограничения существующих методов, определены перспективные направления развития технологий в области оценки устойчивости агроэкосистем, включая развитие гибридных подходов, интеграцию с цифровыми двойниками и применение продвинутых алгоритмов искусственного интеллекта.

*Ключевые слова:* устойчивость агроэкосистем, цифровые технологии, искусственный интеллект, агробиоценотические индикаторы, многокритериальный анализ, машинное обучение, платформенные решения, агроэкологический мониторинг, точное земледелие.

**D. S. Fedorov, V. K. Kalichkin, K. Yu. Maksimovich**

*Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies RAS*

*Russian Federation, Novosibirsk region,*

*Novosibirsk district, Krasnoobsk*

## **MODERN DIGITAL TOOLS FOR ASSESSING THE SUSTAINABILITY OF AGRICULTURAL ECOSYSTEMS**

*Abstract.* Modern agricultural production faces the fundamental dilemma of achieving high productivity while ensuring the ecological sustainability of agroecosystems. This study aims to analyze contemporary digital approaches and tools for assessing agricultural ecosystem sustainability in the context of achieving balance between productivity and environmental safety in agricultural land use. The research provides a systematic review of domestic and international methodological approaches, including multi-criteria analysis methods, machine learning algorithms, platform solutions, and artificial intelligence technologies. The study demonstrates the evolution from basic multi-criteria methods (AHP, TOPSIS, ELECTRE) to comprehensive platform solutions integrating digital technologies for agroecological monitoring data acquisition, agrobiocenotic indicators, and artificial intelligence technologies. Analysis of specialized systems (SAFA, MOTIFS, SOSTARE, Smart-Farm Tool, IDEA, RISE) and cloud platforms (Google Earth Engine, Microsoft FarmBeats, IBM Watson) revealed active development in three interconnected areas: improvement of aggregation and normalization methods for heterogeneous indicators, expansion of technological capabilities for collecting and processing multimodal data, and deepening analytical approaches to modeling agroecosystem dynamics. The advantages and limitations

of existing methods are identified, and promising directions for technology development in agroecosystem sustainability assessment are determined, including hybrid approach development, digital twin integration, and advanced artificial intelligence algorithm implementation.

*Keywords:* agroecosystem sustainability, digital technologies, artificial intelligence, agrobiocenotic indicators, multi-criteria analysis, machine learning, platform solutions, agroecological monitoring, precision agriculture.

## Введение

Современное производство сельскохозяйственной продукции сталкивается с необходимостью решения фундаментальной дилеммы достижения высокой продуктивности при обеспечении экологической устойчивости агроэкосистем [1–4]. Производственная устойчивость связана с обеспечением стабильного получения урожая, тогда как экологическая устойчивость направлена на сохранение окружающей среды и рациональное природопользование [5–7].

Данная проблема приобретает критическое значение в контексте реализации Целей устойчивого развития ООН, где сельское хозяйство рассматривается как ключевой сектор для обеспечения продовольственной безопасности и сохранения природных ресурсов [7]. Несмотря на различные инициативы по разработке инструментов оценки устойчивости, эталонные подходы для этой области отсутствуют [8].

## Основная часть

Оценка устойчивости агроэкосистем представляет собой многомерную задачу, требующую интеграции разнородных показателей в единую систему оценки [9]. Традиционные методы оценки имеют ограничения в обработке мультимодальных данных и определении критических параметров (пороги устойчивости, лимиты нагрузок и др.) [10, 11].

На данный момент существующая методология оценки устойчивости включает использование следующих подходов: многокритериальный анализ, статистические методы, машинное обучение, геоинформационные технологии и дистанционное зондирование, экспертные системы и системы поддержки принятия решений (см. рисунок).



Схема интеграции основных подходов к оценке устойчивости агроэкосистем

Многокритериальные методы широко применяются для структурирования задач оценки устойчивости и обеспечивают возможность интеграции разнородных показателей в единую систему оценки. Основными преимуществами данных методов являются прозрачность процедуры принятия решений, возможность учета мнений различных заинтересованных сторон и структурированный подход к решению сложных многомерных задач. Метод анализа иерархий (АНР)

позволяет разложить сложную задачу на иерархию критериев и подкритериев, обеспечивая возможность экспертной оценки их относительной важности. Техника TOPSIS эффективно применяется для ранжирования агроэкосистем по уровню устойчивости, основываясь на принципе кратчайшего расстояния от позитивного идеального решения. Метод ELECTRE используется для решения задач выбора и ранжирования в условиях неопределенности, характерной для оценки агроэкосистем.

Среди специализированных инструментов многокритериального анализа [12–14] выделяются: DEXi – система поддержки принятия решений на основе многоатрибутной модели принятия решений; StabilitySoft – платформа для анализа стабильности и устойчивости агроэкосистем; MCDA Index Tool – инструмент для построения композитных индексов устойчивости.

Следующим кластером современных подходов к оценке являются методы машинного обучения для обработки больших объемов данных агроэкологического мониторинга [15–18]. Алгоритмы классификации применяются для категоризации агроэкосистем по уровням устойчивости, при этом наиболее эффективными показали себя методы случайного леса (Random Forest), методы опорных векторов (SVM) и градиентного бустинга. Кластерный анализ позволяет выявлять группы агроэкосистем со сходными характеристиками устойчивости с использованием алгоритмов k-средних, иерархической кластеризации и DBSCAN. Нейронные сети показывают высокую эффективность в моделировании нелинейных зависимостей между факторами управления и показателями устойчивости, что особенно важно для понимания сложных взаимосвязей в агроэкосистемах.

Анализ современных исследований демонстрирует эволюцию подходов [19] от простейших многокритериальных методов до комплексных платформенных решений с интеграцией цифровых технологий, искусственного интеллекта и агробиоценотических знаний [20–26]. Научным сообществом уже разработаны комплексные системы и инструменты [20–26] оценки устойчивости. Среди наиболее распространенных можно выделить следующие: SAFA [21], MOTIFS [22], SOSTARE [23], Smart-Farm Tool [24], IDEA [25], RISE [26] и др. Они представляют собой интегрированные решения, объединяющие различные аналитические методы в единой программной среде.

Платформенные решения позволяют получать мультимодальные данные (спутники, IoT-сенсоры, полевые измерения и учеты), применять различные аналитические инструменты (от простой статистики до технологий ИИ) с возможностью получения оценки текущего состояния устойчивости и прогнозирования изменений в условиях динамично меняющегося сельскохозяйственного агроландшафта.

Ведущие облачные платформы [27–29] можно разделить на несколько категорий по функциональному назначению. Платформы обработки спутниковых данных представлены Google Earth Engine, который предоставляет доступ к петабайтам спутниковых данных и облачным вычислительным ресурсам для анализа агроэкосистем. Интегрированные системы мониторинга включают Microsoft FarmBeats, интегрирующий данные IoT-сенсоров, дронов и спутников для комплексного мониторинга фермерских хозяйств, и Climate FieldView, используемый как цифровая платформа для точного земледелия и анализа устойчивости. ИИ-платформы для агрономии представлены IBM Watson Decision Platform for Agriculture, применяющим искусственный интеллект для анализа агрономических данных и поддержки принятия решений.

Комплексные методологии оценки устойчивости различаются по масштабу применения и глубине анализа. Система SAFA (FAO) представляет комплексную методологию оценки устойчивости, включающую четыре измерения: экологическое, экономическое, социальное и управление. Методология MOTIFS фокусируется на фермерском уровне с использованием 12 принципов устойчивости, 26 критериев и более 100 индикаторов. Система RISE представляет практико-ориентированный инструмент с 12 индикаторами устойчивости, сгруппированными в три категории. Smart-Farm Tool представляет веб-платформу для интегрированной оценки устойчивости с использованием принципов цифрового земледелия.

Специализированный анализ систем экологической оценки выявил также несколько ключевых платформ [30–33]. InVEST (Integrated Valuation of Environmental Services and Tradeoffs) представляет комплексную систему для моделирования экосистемных услуг и оценки биоразно-

образия в агроландшафтах, позволяя количественно оценивать компромиссы между различными экосистемными услугами и анализировать воздействие изменений в землепользовании на биологическое разнообразие. BiodiversityAssessment функционирует как специализированная система для детальной оценки биологического разнообразия агроландшафтов, включая анализ структуры сообществ, видового богатства и функциональной диверсификации экосистем. EcoMetrix представляет интегрированную платформу для экологического мониторинга и оценки, объединяющую полевые данные, дистанционное зондирование и моделирование для комплексного анализа экологического состояния агроэкосистем.

Анализ представленных систем и подходов выявляет следующие методологические тенденции:

- масштабируемость: переход от локальных к региональным и ландшафтным масштабам с использованием геоинформационных технологий и дистанционного зондирования;
- цифровизация: современные системы интегрируют автоматизированные методы сбора данных, машинное обучение и облачные платформы;
- точность обработки данных: пропорциональная нормализация и гибридная агрегация арифметического и геометрического средних показали наибольшую пригодность для разработки композитных индикаторов [10];
- интеграция мультимодальных данных: способность обрабатывать разнородные данные от IoT-сенсоров, спутникового мониторинга и наземных наблюдений.

Современные тенденции указывают на три основных направления технологического развития. Методологическое совершенствование включает разработку гибридных систем, где комбинация различных методов нормализации и агрегации в зависимости от свойств данных показала наибольшую эффективность [10]. Особое внимание уделяется развитию интеллектуальных аналитических систем, включающих адаптивные нейронечеткие системы (ANFIS), которые объединяют преимущества нейронных сетей и нечеткой логики для обработки неопределенности в экспертных оценках устойчивости.

Технологическая интеграция характеризуется расширением сетей IoT-датчиков и периферийных вычислений для непрерывного мониторинга агроэкосистем в реальном времени. Перспективным направлением является интеграция с цифровыми двойниками, позволяющая создавать виртуальные модели агроэкосистем для прогнозирования и оптимизации управлений решений. Продвинутые алгоритмы искусственного интеллекта, включая глубокое обучение и методы компьютерного зрения, открывают новые возможности для анализа спутниковых изображений и оценки пространственных паттернов землепользования.

Аналитическое развитие сосредоточено на совершенствовании методов обработки неопределенности через развитие подходов на основе нечеткой логики для работы с качественными и лингвистическими переменными. Динамическое моделирование предполагает создание систем анализа изменений устойчивости во времени с использованием временных рядов и прогнозирования будущих состояний агроэкосистем. Мульти尺度ная интеграция направлена на развитие методов, позволяющих объединять данные и результаты анализа от поля до регионального и глобального уровней, обеспечивая целостное понимание процессов устойчивости в различных пространственных масштабах.

## Заключение

Современные цифровые инструменты для оценки устойчивости аграрных экосистем демонстрируют значительный потенциал для решения комплексных задач устойчивого сельского хозяйства. Интеграция многокритериальных методов, алгоритмов машинного обучения и облачных платформ создает методологическую основу для создания более точных и практических комплексных систем оценки, способных обрабатывать мультимодальные данные различной природы и масштаба.

Анализ современного состояния области показывает активное развитие трех взаимосвязанных направлений: совершенствование методов агрегации и нормализации разнородных пока-

зателей, расширение технологических возможностей сбора и обработки данных, а также углубление аналитических подходов к моделированию динамики агроэкосистем. Особое значение приобретает развитие гибридных подходов, сочетающих преимущества различных методологий в зависимости от специфики решаемых задач и свойств доступных данных.

Развитие направления требует дальнейшей координации усилий по стандартизации подходов на международном уровне, совершенствованию алгоритмов обработки мультимодальных данных и созданию адаптивных систем, способных учитывать региональные особенности и изменяющиеся условия окружающей среды. Ключевыми задачами остаются обеспечение прозрачности и воспроизводимости методов оценки, а также их практическая применимость для поддержки принятия управлеченческих решений на различных уровнях – от отдельного хозяйства до национальной аграрной политики.

### Список использованных источников

1. FAO. The State of Food and Agriculture 2019. – Rome : FAO, 2019. – 122 p. – URL: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/11f9288f-dc78-4171-8d02-92235b8d7dc7/content> (date of access: 18.03.2025).
2. Кирюшин, В. И. Управление плодородием почв и продуктивностью агроценозов в адаптивно-ландшафтных системах земледелия / В. И. Кирюшин // Почвоведение. – 2019. – № 9. – С. 1130–1139.
3. Кирюшин, В. И. Состояние и проблемы развития адаптивно-ландшафтного земледелия / В. И. Кирюшин // Земледелие. – 2021. – № 2. – С. 3–7.
4. Кирюшин, В. И. Экологические основы проектирования сельскохозяйственных ландшафтов / В. И. Кирюшин. – СПб. : Квадро, 2018. – 568 с.
5. Altieri, M. Agroecology: The Science of Sustainable Agriculture / M. Altieri. – 2018. – DOI: 10.1201/9780429495465.
6. Pretty, J. Agricultural sustainability: concepts, principles and evidence / J. Pretty // Philosophical Transactions of the Royal Society B. – 2008. – Vol. 363, № 1491. – P. 447–465. – DOI: 10.1098/rstb.2007.2163.
7. Преобразование нашего мира: Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года: резолюция ООН [сайт]. – United Nations, 2015. – URL: <https://documents.un.org/doc/undoc/gen/n15/291/92/pdf/n1529192.pdf> (дата обращения: 18.03.2025).
8. Giray, G. Design of a Data Management Reference Architecture for Sustainable Agriculture / G. Giray, C. Catal // Sustainability. – 2021. – Vol. 13, № 13. – P. 7309. – DOI: 10.3390/su13137309.
9. Talukder, B. Developing composite indicators for agricultural sustainability assessment: Effect of normalization and aggregation techniques / B. Talukder, K. W. Hipel, G. W. vanLoon // Resources. – 2017. – Vol. 6, № 4. – P. 66.
10. MOTIFS: a monitoring tool for integrated farm sustainability / M. Meul, S. Van Passel, F. Nevens [et al.] // Agronomy for Sustainable Development. – 2008. – Vol. 28. – P. 321–332. – DOI: 10.1051/agro:2008001.
11. SAFE–A hierarchical framework for assessing the sustainability of agricultural systems / N. Van Cauwenbergh, K. Biala, C. Bielders [et al.] // Agriculture, Ecosystems & Environment. – 2007. – Vol. 120, № 2–4. – P. 229–242. – DOI: 10.1016/j.agee.2006.09.006.
12. Bohanec, M. DEXi Suite: Renewing Qualitative Multi-Criteria Decision Modeling Software / M. Bohanec // Proceedings of the ICDSST 2023 on-Decision Support System in an Uncertain World: The Contribution of Digital Twins. – 2023. – P. 83.
13. STABILITY SOFT: A new online program to calculate parametric and non-parametric stability statistics for crop traits / A. Pour-Aboughaddareh, M. Yousefian, H. Moradkhani, P. Poczai // Applications in Plant Sciences. – 2019. – Vol. 7, № 1. – e01211.
14. Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) for sustainability assessment in food sector. A systematic literature review on methods, indicators and tools / G. Ferla, B. Mura, S. Falasco [et al.] // Science of the Total Environment. – 2024. – 174235.
15. Neeraj, K. N. A review on machine learning (feature selection, classification and clustering) approaches of big data mining in different area of research / K. N. Neeraj, V. Maurya // Journal of critical reviews. – 2020. – Vol. 7, № 19. – P. 2610–2626.
16. Demir, S. Liquefaction prediction with robust machine learning algorithms (SVM, RF, and XGBoost) supported by genetic algorithm-based feature selection and parameter optimization from the perspective of data processing / S. Demir, E. K. Şahin // Environmental Earth Sciences. – 2022. – Vol. 81, № 18. – 459.
17. Machine learning applications in agriculture: current trends, challenges, and future perspectives / S. O. Araújo, R. S. Peres, J. C. Ramalho [et al.] // Agronomy. – 2023. – Vol. 13, № 12. – 2976.
18. Machine Learning in Sustainable Agriculture: Systematic Review and Research Perspectives / J. Botero-Valencia, V. García-Pineda, A. Valencia-Arias [et al.] // Agriculture. – 2025. – Vol. 15, № 4. – URL: <https://www.mdpi.com/2077-0472/15/4/377#> (date of access: 18.03.2025).
19. Integrating agri-environmental indicators, ecosystem services assessment, life cycle assessment and yield gap analysis to assess the environmental sustainability of agriculture / J. E. Bergez, A. Béthinger, C. Bockstaller [et al.] // Ecological Indicators. – 2022. – Vol. 141. – 109107.
20. Trigo, A. Sustainability Assessment: A Tool to Build Resilience in the Face of Future Crisis / A. Trigo, A. Marta-Costa, R. Fragoso // Business Under Crisis, Volume III. – Palgrave Macmillan, Cham, 2022.

21. Food and Agriculture Organization of the United Nation (FAO). Sustainability Assessment in Food and Agriculture Systems (SAFA). – 2013. – URL: <http://www.fao.org/nr/sustainability/sustainability-assessments-safa/en/> (date of access: 18.03.2025).
22. MOTIFS: a monitoring tool for integrated farm sustainability / M. Meul, S. Van Passel, F. Nevens [et al.] // *Agronomy for sustainable development*. – 2008. – Vol. 28. – P. 321–332.
23. Paracchini, M. L. A diagnostic system to assess sustainability at a farm level: The SOSTARE model / M. L. Paracchini, C. Bulgheroni, G. Borreani [et al.] // *Agricultural Systems*. – 2015. – Vol. 133. – P. 35–53.
24. Using the Smart-Farm Tool to Identify Linchpin Farming Practices for the Improvement of the Atmosphere-Related Sustainability Performance of the Luxembourgish Agriculture Sector / E. Stoll, S. Keßler, L. Leimbrock-Rosch [et al.] // Available at SSRN 5144935.
25. Arenas for improving farming sustainability assessment with upgraded tools, sustainability framing and indicators. A review / P. Chopin, Ch. P. Mubaya, K. Descheemaeker [et al.] // *Agronomy for Sustainable Development*. – 2021. – Vol. 41, № 2. – P. 1–20.
26. Olde, E. M. The choice of the sustainability assessment tool matters: differences in thematic scope and assessment results / E. M. de Olde, E. A. Bokkers, I. J. de Boer // *Ecological economics*. – 2017. – Vol. 136. – P. 77–85.
27. Gerhardt, C. Framework for the Digital Transformation of the Agricultural Ecosystem / C. Gerhardt, S. Bröring, O. Strecken [et al.] // *Handbook Digital Farming*. – Springer, Berlin, Heidelberg, 2022. – DOI: 10.1007/978-3-662-64378-5\_2.
28. A Survey on the Role of IoT in Agriculture for the Implementation of Smart Farming / M. S. Farooq, Sh. Riaz, A. Abid [et al.] // *IEEE Access*. – 2019. – Vol. 7. – P. 156237–156271. – DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2949703.
29. Kenney, M. Digitalization and platforms in agriculture: organizations, power asymmetry, and collective action solutions / M. Kenney, H. Serhan, G. Trystram // *ETLA Working Papers*. – 2020. – № 78.
30. Bagstad, K. J. A comparative assessment of decision-support tools for ecosystem services quantification and valuation / K. J. Bagstad, D. J. Semmens, S. Waage [et al.] // *Ecosystem services*. – 2013. – Vol. 5. – P. 27–39.
31. Ouyang, X. Models for assessing urban ecosystem services: status and outlooks / X. Ouyang, X. Luo // *Sustainability*. – 2022. – Vol. 14, № 8. – 4725.
32. Spatial Trade-Offs and Synergies between Ecosystem Services in Guangdong Province, China / Q. Xu, Y. Yang, R. Yang [et al.] // *Land*. – 2023. – Vol. 13, № 1. – URL: <https://doi.org/10.3390/land13010032> (date of access: 18.03.2025).
33. Navarro, E. A systematic review of IoT solutions for smart farming / E. Navarro, N. Costa, A. Pereira // *Sensors*. – 2020. – Vol. 20, № 15. – 4231.

**А. В. Котов<sup>1</sup>, Д. Г. Кроль<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>ОАО «Сейсмотехника»

г. Гомель, Республика Беларусь

E-mail: androsky@mail.ru

<sup>2</sup>Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого

г. Гомель, Республика Беларусь

E-mail: kr-dmitry@gstu.by

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕХАНИЗМА АГРЕГАТИРОВАНИЯ САМОХОДНОЙ УБОРОЧНОЙ КОСИЛКИ МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

**Аннотация.** В статье представлена математическая модель механизма агрегатирования самоходной уборочной косилки, позволяющая на основе полученных кинематических параметров исследовать возможность расширения ее эксплуатационных характеристик при агрегатировании с различными навешиваемыми адаптерами. Практическая реализация предложенной модели позволяет обеспечить эффективную эксплуатацию самоходной уборочной косилки в составе новых кормоуборочных комплексов с отечественными навесными адаптерами.

**Ключевые слова:** самоходная уборочная косилка, механизм агрегатирования, эксплуатационные характеристики, математическая модель, кинематика, комплексные числа.

**A. V. Kotov<sup>1</sup>, D. G. Krol<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>JSC “Seismotekhnika”

Gomel, Republic of Belarus

E-mail: androsky@mail.ru

<sup>2</sup>Sukhoi State Technical University of Gomel

Gomel, Republic of Belarus

E-mail: kr-dmitry@gstu.by

## **STUDY OF PERFORMANCE CHARACTERISTICS OF THE AGGREGATION MECHANISM OF A SELF-PROPELLED HARVESTING MOWER BY THE METHOD OF MATHEMATICAL MODELING**

**Abstract.** A mathematical model of the aggregation mechanism of a self-propelled harvesting mower is presented, which allows, based on the obtained kinematic parameters, to study the possibility of expanding its operational characteristics when aggregating with various mounted adapters. Practical implementation of the proposed model allows for the efficient operation of a self-propelled harvesting mower as part of new forage harvesting complexes with domestic mounted adapters.

**Keywords:** self-propelled harvesting mower, aggregation mechanism, performance characteristics, mathematical model, kinematics, complex numbers.

### **Введение**

Устойчивое развитие животноводства напрямую зависит от создания прочной кормовой базы, основанной на значительных объемах высококачественных кормов, для заготовки которых требуются современные кормоуборочные машины и передовые технологии [1]. При постоянном росте мощности и производительности кормоуборочных комбайнов становится все сложнее обеспечить их полную загрузку и эффективную работу имеющимися адаптерами, особенно на полях с невысокой урожайностью. Одним из перспективных направлений решения данной проблемы является применение самоходных уборочных косилок с широкозахватными адаптерами [2]. Это даст возможность не только обеспечить максимальную загрузку кормоуборочных комбайнов, но и наилучшим образом учесть биологические особенности убираемых культур,

так как сушка в валках позволяет быстрее удалять из травы влагу, тем самым сохраняя все ее питательные вещества [3].

Особенностью современных самоходных уборочных косилок является конструкция механизма агрегатирования [4; 5], которая при условии проведения соответствующей настройки и регулировки способна обеспечить работу с широким шлейфом навесных адаптеров. Доводка механизма агрегатирования в полевых условиях является трудоемкой и поэтому на практике заранее отрабатывается на соответствующих математических моделях [6–8]. Такой подход позволяет не только проанализировать кинематическую схему работы механизма агрегатирования с имеющимися адаптерами, но и провести исследования о возможности расширения эксплуатационных характеристик механизма с адаптерами других производителей.

### Основная часть

Известные на сегодняшний день конструкции механизмов агрегатирования самоходных уборочных косилок, несмотря на выполнение ими одних и тех же функций, могут существенно отличаться своими кинематическими схемами. В данной работе в качестве объекта исследования выбран механизм агрегатирования косилки самоходной универсальной KSU-1 производства ООО «Комбайновый завод “Ростсельмаш”», общий вид которых приведен на рисунке 1.

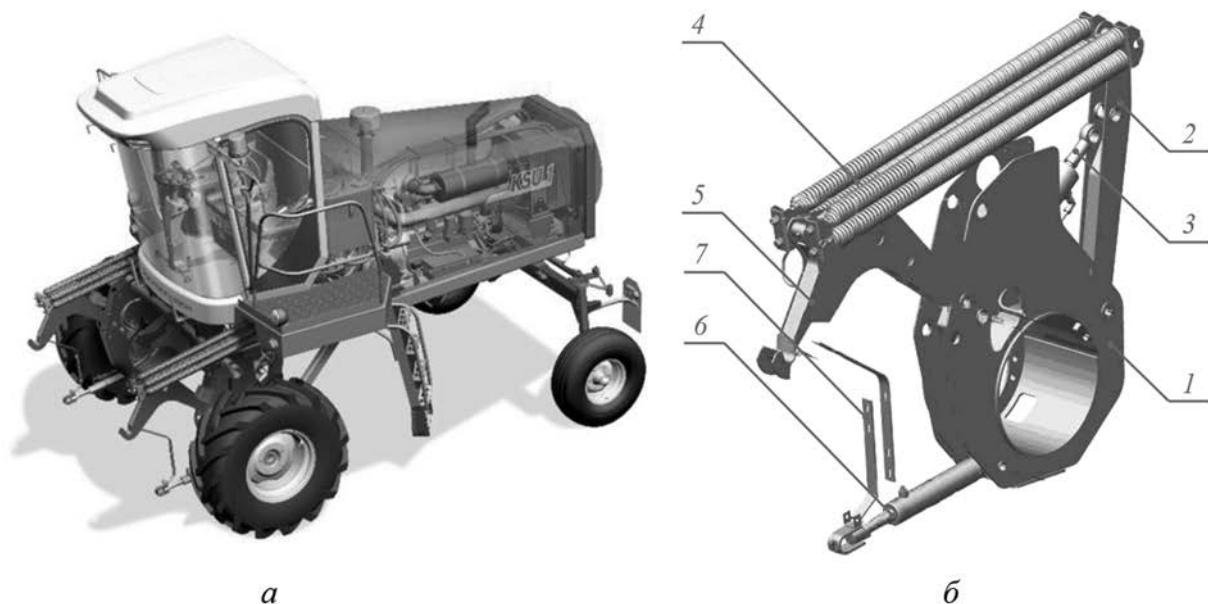


Рисунок 1 – Общий вид самоходной уборочной косилки (а) и механизма агрегатирования (б): 1 – рама; 2, 5 – двухплечий поворотный рычаг; 3 – гидроцилиндр подъема; 4 – блок уравновешивающих пружин с телескопической тягой; 6 – гидроцилиндр угла атаки нижней тяги; 7 – растяжка

Плоский аналог механизма агрегатирования получается из его пространственной модели путем проецирования центров шарниров на продольную плоскость симметрии самоходной уборочной косилки. Кинематическая схема полученного таким образом плоского рычажного механизма приведена на рисунке 2. Рассматриваемый механизм имеет три степени свободы и может быть аналитически описан с помощью следующих обобщенных координат:  $s_1$  – ходом поршня гидроцилиндра подъема;  $s_2$  – свободным ходом телескопической тяги;  $s_3$  – ходом поршня гидроцилиндра нижней тяги для изменения угла атаки.

Блок уравновешивающих пружин с телескопической тягой представляют собой единое звено (рисунок 1, б), в котором пружины всегда находятся в растянутом состоянии и могут дополнительно деформироваться, но только в пределах свободного хода телескопической тяги, тем самым ограничивая верхний и нижний пределы копирования рельефа поля для опорных башмаков навешиваемого адаптера.

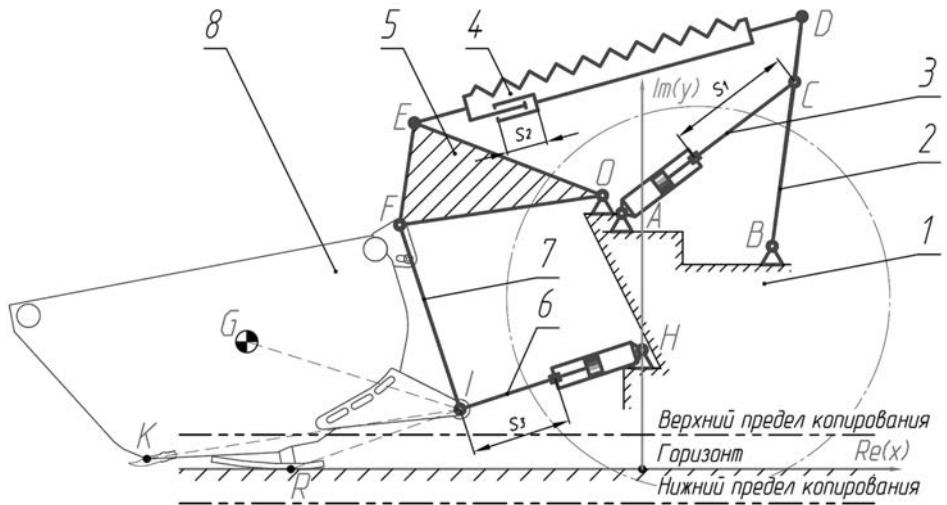


Рисунок 2 – Кинематическая схема механизма агрегатирования: 1 – рама; 2, 5 – двуплечий поворотный рычаг; 3 – гидроцилиндр подъема; 4 – блок уравновешивающих пружин с телескопической тягой; 6 – гидроцилиндр угла атаки нижней тяги; 7 – растяжка; 8 – адаптер

Математическое описание механизма агрегатирования самоходной уборочной косилки будет построено на основе метода преобразования координат в неизменном базисе с использованием теории комплексных чисел [9; 10]. В основе данного метода находится способ представления двумерного вектора, лежащего на плоскости, в виде комплексного числа. Это позволяет перейти от алгебраических операций над векторами к соответствующим операциям над комплексными числами, сохранив при этом всю информацию, присущую векторным величинам о длине и направлении.

С целью автоматизации математических расчетов при работе с комплексными числами, а также для повышения простоты и наглядности предложенной математической модели введем две пользовательские функции, первая будет использоваться для преобразования координат вектора комплексного числа:

$$TurnRI(\underline{r}, \alpha, L) = e^{j\alpha} \cdot \frac{\underline{r}}{|\underline{r}|} L, \quad (1)$$

где  $\underline{r}$  – исходный поворачиваемый вектор комплексного числа;  $j$  – мнимая единица;  $\alpha$  – угол поворота исходного вектора, значение которого принимается со знаком «+» при осуществлении поворота против хода часовой стрелки и со знаком «-» при повороте по ходу часовой стрелки;  $L$  – длина нового вектора.

Вторая пользовательская функция будет использоваться для определения величины углов по теореме косинусов для треугольника с известной длиной всех сторон:

$$Tcos(L_1, L_2, L_3) = \arccos\left(\frac{L_1^2 + L_2^2 - L_3^2}{2 \cdot L_1 \cdot L_2}\right), \quad (2)$$

где  $L_1$  и  $L_2$  – стороны треугольника, прилежащие к искомому углу;  $L_3$  – сторона треугольника, противолежащая искомому углу.

При аналитическом описании механизма агрегатирования самоходной уборочной косилки в качестве входных параметров будут выступать координаты неподвижных точек, известные длины звеньев и углы на жестких звеньях, а также диапазон изменения принятых обобщенных координат.

Задаемся векторами комплексных чисел для неподвижных шарниров механизма в алгебраической форме для прямоугольной системы координат:

$$\underline{O} = O_x + j \cdot O_y; \quad \underline{A} = A_x + j \cdot A_y; \quad \underline{B} = B_x + j \cdot B_y; \quad \underline{H} = H_x + j \cdot H_y.$$

Полную длину гидроцилиндров механизма агрегатирования между точками их крепления, а также полную длину блока уравновешивающих пружин с телескопической тягой можно представить, с учетом принятых обобщенных координат, в следующем виде:

$$L_{AC}(s_1) = L_{AC} + s_1; \quad L_{ED}(s_2) = L_{ED} + s_2; \quad L_{HI}(s_3) = L_{HI} + s_3,$$

где  $L_{AC}$ ,  $L_{HI}$  – длина гидроцилиндров в сомкнутом состоянии;  $L_{ED}$  – длина блока уравновешивающих пружин с телескопической тягой в сомкнутом состоянии, с учетом зацепов.

Дальнейшее аналитическое описание кинематики механизма с помощью векторов комплексных чисел проводится с использованием выражений (1) и (2), элементарных операций сложения и вычитания, а также с учетом ввода в математическую модель первой обобщенной координаты:

$$\underline{AB} = \underline{B} - \underline{A}; \quad \alpha_{CAB}(s_1) = T \cos(L_{AC}(s_1), |\underline{AB}|, L_{BC}). \quad (3)$$

Выражением (3) получен угол  $\alpha_{CAB}$  с вершиной в т.  $A$ , для нахождения которого использовались две известные длины звеньев  $L_{AC}$  и  $L_{BC}$ , а также модуля вектора звена  $AB$ , определяющего длину между точками  $A$  и  $B$ .

$$\underline{AC}(s_1) = TurnRI(\underline{AB}, \alpha_{CAB}(s_1), L_{AC}(s_1)). \quad (4)$$

Выражением (4) получен вектор звена  $AC$  путем поворота исходного вектора звена  $AB$  на угол  $\alpha_{CAB}$  против хода движения часовой стрелки (перед углом стоит знак «+») с изменением его длины на заданную длину  $L_{AC}$ :

$$\begin{aligned} \underline{C}(s_1) &= \underline{A} + \underline{AC}(s_1); \quad \underline{BC}(s_1) = \underline{C}(s_1) - \underline{B}; \\ \underline{BD}(s_1) &= TurnRI(\underline{BC}(s_1), \alpha_{DBC}, L_{BD}); \\ \underline{D}(s_1) &= \underline{B} + \underline{BD}(s_1); \quad \underline{OD}(s_1) = \underline{D}(s_1) - \underline{O}. \end{aligned}$$

Дальнейшее описание кинематики характерных точек будет проводиться с учетом ввода в математическую модель второй обобщенной координаты:

$$\begin{aligned} \alpha_{EOD}(s_1, s_2) &= T \cos(|\underline{OD}(s_1)|, L_{OE}, L_{ED}(s_2)); \\ \underline{OE}(s_1, s_2) &= TurnRI(\underline{OD}(s_1), \alpha_{EOD}(s_1, s_2), L_{OE}); \\ \underline{E}(s_1, s_2) &= \underline{O} + \underline{OE}(s_1, s_2); \quad \underline{ED}(s_1, s_2) = \underline{D}(s_1) - \underline{E}(s_1, s_2); \\ \underline{OF}(s_1, s_2) &= TurnRI(\underline{OE}(s_1), \alpha_{EOF}, L_{OF}); \\ \underline{F}(s_1, s_2) &= \underline{O} + \underline{OF}(s_1, s_2); \quad \underline{HF}(s_1, s_2) = \underline{F}(s_1, s_2) - \underline{H}. \end{aligned}$$

Описание кинематики оставшихся характерных точек будет проводиться с учетом введения в математическую модель третьей обобщенной координаты:

$$\begin{aligned} \alpha_{FHI}(s_1, s_2, s_3) &= T \cos(|\underline{HF}(s_1, s_2)|, L_{HI}, L_{FI}); \\ \underline{HI}(s_1, s_2, s_3) &= TurnRI(\underline{HF}(s_1, s_2), \alpha_{FHI}(s_1, s_2, s_3), L_{HI}(s_3)); \\ \underline{I}(s_1, s_2, s_3) &= \underline{H} + \underline{HI}(s_1, s_2, s_3); \quad \underline{IF}(s_1, s_2, s_3) = \underline{F}(s_1, s_2) - \underline{I}(s_1, s_2, s_3). \end{aligned} \quad (5)$$

Положение центра масс адаптера определим как:

$$\underline{IG}(s_1, s_2, s_3) = TurnRI(\underline{IF}(s_1, s_2, s_3), \alpha_{FIG}, L_{IG}); \quad \underline{G}(s_1, s_2, s_3) = \underline{I}(s_1, s_2, s_3) + \underline{IG}(s_1, s_2, s_3).$$

Положение режущего аппарата и опорного башмака адаптера определим как:

$$\underline{IK}(s_1, s_2, s_3) = TurnRI(\underline{IF}(s_1, s_2, s_3), \alpha_{FIK}, L_{IK}); \quad \underline{K}(s_1, s_2, s_3) = \underline{I}(s_1, s_2, s_3) + \underline{IK}(s_1, s_2, s_3); \quad (6)$$

$$\underline{IR}(s_1, s_2, s_3) = TurnRI(\underline{IF}(s_1, s_2, s_3), \alpha_{FIG}, L_{IG}); \quad \underline{R}(s_1, s_2, s_3) = \underline{I}(s_1, s_2, s_3) + \underline{IR}(s_1, s_2, s_3). \quad (7)$$

Таким образом, с помощью приведенных выражений выполнено аналитическое описание кинематики всей механической системы методом преобразования координат в неизменном базисе с помощью теории комплексных чисел. В случае необходимости введения в описание кинематики дополнительных точек (например, положение центров тяжести звеньев), достаточно задать привязку интересующей точки по длине и углу к соответствующему звену, описанному ранее в математической модели.

Исследование кинематики движения характерных точек механизма агрегатирования проводится путем изменения величины одной из обобщенных координат при фиксированном значении двух оставшихся. При этом применение теории комплексных чисел предполагает особую форму вывода результатов расчета кинематического анализа. Так, действительная часть вектора комплексного числа отвечает за проекцию на ось  $X$  прямоугольной декартовой системы координат, а мнимая – за проекцию на ось  $Y$ , что в общем виде можно представить как:

$$r_x(s) = \operatorname{Re}(\underline{r}(s)); \quad r_y(s) = \operatorname{Im}(\underline{r}(s)).$$

Для устойчивого протекания технологического процесса уборки, механизм агрегатирования самоходной уборочной косилки должен иметь возможность кинематически обеспечивать копирование рельефа поля опорными башмаками (т.  $R$ , см. рисунок 2) в заданном диапазоне. Это достигается путем проведения соответствующей регулировки механизма с навешиваемым адаптером на линии условного горизонта. При этом на механизм могут накладываться дополнительные определенные функциональные ограничения, например, в виде величины установки среза режущим аппаратом (т.  $K$ ) или положения нижней точки навески (т.  $I$ ) по высоте от линии условного горизонта. Математически данная задача сводится к решению системы уравнений относительно трех обобщенных координат ( $s_1$ ,  $s_2$  и  $s_3$ ) и может быть полностью автоматизирована благодаря развитию компьютерной техники и появлению мощных математических пакетов, способных оперировать комплексными числами [11].

В качестве примера рассмотрим три независимых случая постановки и решения такой задачи. Допустим, требуется определить регулировочную величину хода гидроцилиндров ( $s_1$  и  $s_3$ ) и телескопической тяги ( $s_2$ ) при которых: 1) обеспечивается копирование рельефа поля опорными башмаками навешиваемого адаптера в диапазоне  $\pm 125$  мм; 2) обеспечивается вертикальное перемещение режущего аппарата в диапазоне от  $-50$  до  $250$  мм при установке высоты среза  $100$  мм; 3) обеспечивается высота установки среза  $100$  мм, высота установки нижней точки навески  $200$  мм, а также минимальная высота копирования рельефа поля опорными башмаками  $-100$  мм. Ниже приведены системы уравнений, математически описывающие указанные случаи с использованием выражений (5) – (6):

$$\begin{cases} \operatorname{Im}(\underline{R}(s_1, s_{2\max}, s_3)) = -125 \\ \operatorname{Im}(\underline{R}(s_1, s_{2\min}, s_3)) = 125 \\ \operatorname{Im}(\underline{R}(s_1, s_2, s_3)) = 0 \end{cases}; \begin{cases} \operatorname{Im}(\underline{K}(s_1, s_{2\max}, s_3)) = -50 \\ \operatorname{Im}(\underline{K}(s_1, s_{2\min}, s_3)) = 250 \\ \operatorname{Im}(\underline{K}(s_1, s_2, s_3)) = 100 \end{cases}; \begin{cases} \operatorname{Im}(\underline{I}(s_1, s_2, s_3)) = 100 \\ \operatorname{Im}(\underline{I}(s_1, s_2, s_3)) = 200 \\ \operatorname{Im}(\underline{I}(s_1, s_2, s_3)) = -100 \end{cases},$$

где  $s_{2\min}$ ,  $s_{2\max}$  – известный минимальный и максимальный свободный ход телескопической тяги, ограничивающий верхний и нижний пределы копирования рельефа поля адаптером.

На основе исследования полученных эксплуатационных характеристик рассматриваемого механизма можно делать предварительные заключения о кинематической возможности агрегатирования самоходной уборочной косилки с тем или иным навешиваемым адаптером. Однако окончательное решение принимается только после проведения соответствующего динамического анализа механизма агрегатирования на основных эксплуатационных режимах работы с навешиваемым адаптером, таких как копирование рельефа поля, перевод адаптера из рабочего в транспортное положение и др.

## Заключение

Представленная математическая модель механизма агрегатирования самоходной уборочной косилки, основанная на методе преобразования координат в неизменном базисе с применением

теории комплексных чисел, позволяет на основе полученных кинематических параметров проводить исследование эксплуатационных характеристик механизма с различными навешивающими адаптерами. Практическая реализация разработанной математической модели открывает перспективы внедрения отечественных навесных адаптеров для новых уборочных комплексов на базе рассмотренной самоходной уборочной косилки, а предложенный метод исследования может найти свое эффективное применение как в учебной, так и в инженерной практике.

### Список использованных источников

1. Техническое обеспечение технологий заготовки высококачественных кормов: рекомендации / В. В. Гракун, А. К. Заневский, Н. А. Попков [и др.] ; Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, НАН Беларуси РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по животноводству», РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию», РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», РУП «Институт мелиорации». – Минск : РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по животноводству», 2017. – 77 с.
2. Оценка эффективности кормоуборочных самоходных косилок / Н. П. Мишурев, С. А. Свиридова, Д. А. Петухов, С. А. Семизоров // Техника и оборудование для села. – 2021. – № 12 (294). – С. 42–45. – DOI: 10.33267/2072-9642-2021-12-42-45.
3. Кленин, Н. И. Сельскохозяйственные машины / Н. И. Кленин, С. Н. Киселев, А. Г. Левшин. – М. : КолосС. – 2008. – 816 с.
4. Косилка самоходная GS200. Инструкция по эксплуатации КС-200-1-0100000 ИЭ. – Гомель : ОАО «Гомсельмаш», 2023. – 175 с.
5. Энергосредство ЭС-1. Инструкция по эксплуатации и техническому обслуживанию ЭС-1 ИЭ. – Ростов-н/Д : ООО «Комбайновый завод «Ростсельмаш», 2008. – 149 с.
6. Дюжев, А. А. Обеспечение универсальности навесного устройства энергосредства УЭС-2-250А «Полесье» с целью создания сельскохозяйственных агрегатов модульного типа / А. А. Дюжев, А. В. Котов, Ю. В. Чупрынин // Энергосберегающие технологии и технические средства в сельскохозяйственном производстве : докл. Междунар. науч.-практ. конф., г. Минск, 12–13 июня 2008 г. : в 2 ч. ; редкол.: А. В. Кузьмицкий [и др.]. – Минск, 2008. – Ч. 1. – С. 78–84.
7. Чупрынин, Ю. В. Методы проектирования унифицированных систем самоходных сельскохозяйственных машин : монография / Ю. В. Чупрынин, Д. В. Джасов, В. Б. Попов. – Гомель : ГГТУ имени П. О. Сухого, 2024. – 265 с.
8. Karakoç, E. M. Design and analysis of a novel electrohydraulic draft control system in agricultural machinery / E. M. Karakoç // MS thesis. Middle East Technical University (Turkey), 2019. – 117 p.
9. Котов, А. В. Кинематический и силовой анализ механизма подъема наклонной камеры зерноуборочного комбайна с применением теории комплексных чисел / А. В. Котов, Д. Г. Кроль // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения. – 2025. – № 1 (24). – С. 40–48.
10. Котов, А. В. К вопросу анализа уравновешенности плоских рычажных механизмов с помощью теории комплексных чисел / А. В. Котов, Д. Г. Кроль // Развитие машиностроительной отрасли и подготовка высококвалифицированных кадров новой формации (состояние, проблемы и пути их решения) : труды Междунар. науч.-практ. конф., Астана, 30–31 мая 2025 г. / КАТИУ имени С. Сейфуллина. – Астана, 2025. – С. 31–33.
11. Макаров, Е. Г. Инженерные расчеты в MathCAD 15 : учебный курс / Макаров, Е. Г. – СПб. : Питер, 2011. – 400 с.

**А. И. Филиппов<sup>1</sup>, А. А. Аутко<sup>1</sup>, Н. Д. Лепешкин<sup>2</sup>, В. П. Чеботарев<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>УО «Гродненский государственный аграрный университет»  
г. Гродно, Республика Беларусь  
E-mail: kafmehan@mail.ru

<sup>2</sup>РУП «НПЦ НАН Беларусь по механизации сельского хозяйства»  
г. Минск, Республика Беларусь  
E-mail: info@belagromech.by

<sup>3</sup>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»  
г. Минск, Республика Беларусь  
E-mail: v.p.chebotarev@tut.by

## **ХОЗЯЙСТВЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ АГРЕГАТА КОМБИНИРОВАННОГО УНИВЕРСАЛЬНОГО АУ-М2 ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ КАРТОФЕЛЯ В ФЕРМЕРСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ «ГОРИЗОНТ»**

**Аннотация.** На экологичность производства значительное влияние оказывают многие факторы, одним из которых является уничтожение сорной растительности путем применения гербицидов. При возделывании картофеля для уничтожения сорной растительности расходуется 1,6 кг/га гербицидов. Следует отметить, что это дорогостоящие препараты, которые поступают в республику главным образом из-за рубежа. Решение проблемы снижения пестицидной нагрузки при выращивании картофеля должно быть сосредоточено в направлении максимального механического удаления сорняков при возделывании культуры и применении экологически безопасных средств защиты растений.

**Ключевые слова:** агрегат, гребни, картофель, культиватор, механическое уничтожение сорняков, профилеформователь, рабочие органы, устройство, фрезерная обработка, щеточные барабаны, экологическое земледелие.

**A. I. Filippov<sup>1</sup>, A. A. Autko<sup>1</sup>, N. D. Lepeshkin<sup>2</sup>, V. P. Chebotarev<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>EI “Grodno State Agrarian University”  
Grodno, Republic of Belarus  
E-mail: kafmehan@mail.ru

<sup>2</sup>RUE “SPC NAS of Belarus of Agriculture Mechanization”  
Minsk, Republic of Belarus  
E-mail: info@belagromech.by

<sup>3</sup>EI “Belarusian State Agrarian Technical University”  
Minsk, Belarus  
E-mail: v.p.chebotarev@tut.by

## **ECONOMIC TESTS OF THE AU-M2 COMBINED UNIVERSAL AGRICULTURAL UNIT IN THE CULTIVATION OF POTATOES IN THE FARM “HORIZONT”**

**Abstract.** Many factors have a significant impact on the environmental friendliness of production, one of which is the destruction of weeds by using herbicides. When growing potatoes, 1,6 kg of herbicides are used to destroy weeds. It should be noted that these are expensive products. These products are mainly imported from abroad. The solution to the problem of reducing the pesticide load in potato cultivation should be focused on maximizing the mechanical removal of weeds during crop cultivation and using environmentally friendly plant protection products.

**Keywords:** aggregate, ridges, potatoes, cultivator, mechanical weed control, profile former, working bodies, device, milling, brush drums, ecological farming.

### **Введение**

Для разработки новых технологий, усовершенствования применяемых в плане снижения последствий и исключения пестицидной нагрузки определяющим условием является наличие специализированной техники. В этой связи был сделан анализ и определен вид машин отечественного производства, пригодных для экологизации существующих технологий [1; 2].

Промышленные технологии производства картофеля предусматривают широкое использование дорогостоящих пестицидов для проправливания, уничтожения сорняков и борьбы с колорадским жуком и фитофторой. При возделывании картофеля вносят порядка 8,1 кг/га пестицидов на сумму 834 руб. Сумма эксплуатационных затрат на проведение защитных технологических операций с учетом стоимости препаратов составляет 995 руб/га.

Полученный по таким технологиям картофель не желательно использовать на продовольственные цели, так как он может содержать нитраты и другие ядовитые вещества, влияющие на здоровье людей.

Поэтому в последнее время возрос спрос на экологически чистую продукцию, полученную без применения пестицидов. По оценкам РУП «НПЦ НАН Беларусь по продовольствию», ежегодная потребность Республики в таком картофеле, например, для детского питания составляет порядка 215 тыс. т в год. При достигнутой урожайности культуры для этого потребуются площади почти 12 тыс. га. Поэтому изыскание, разработка и совершенствование машин и их рабочих органов для возделывания экологически чистого картофеля является актуальной задачей.

Однако при попытке использовать существующие технические средства в технологии возделывания экологически чистого картофеля следует ожидать увеличения числа проходов машино-тракторных агрегатов и снижения урожайности картофеля, при этом, соответственно, следует ожидать и увеличения себестоимости экологически чистого картофеля в сравнении с полученным по интенсивным технологиям.

## Основная часть

Один из путей снижения себестоимости – внедрение новейших технологий возделывания, включающих новый, научно обоснованный комплекс комбинированных агрегатов, выполняющих за один проход по полю несколько технологических операций и передовых способов борьбы с сорной растительностью, которые позволяют сократить до минимума число междуурядных обработок, снизить расход топлива и дорогостоящих препаратов и обеспечить безопасность их выполнения для окружающей среды.

Борьба с сорной растительностью – один из решающих факторов достижения высокой урожайности картофеля. Сорняки, используя низкую конкурентоспособность картофеля, быстро опережают его в развитии, потребляя из почвы необходимые для клубней питательные вещества и влагу, ухудшают аэрацию почвы, затрудняя подвод к клубням кислорода.

Экономический порог вредоносности сорняков, при котором происходит достоверное снижение урожайности картофеля, – 3–15 сорняков/ $m^2$  [3–6].

Известно, что 100–200 сорняков на 1  $m^2$  снижают урожайность картофеля на 6,5 %. Поэтому необходимо проводить своевременный и качественный уход за посадками картофеля с целью поддержания почвы в рыхлом и чистом от сорняков состоянии, стремясь сократить по возможности число проходов агрегата по полю.

Межурядные обработки картофеля существующими техническими средствами малоэффективны против сорняков в защитных зонах рядков.

Рациональная агротехника возделывания экологически чистого картофеля требует сочетания механических и биологических методов борьбы с сорняками, вредителями и болезнями.

При промышленном производстве картофеля широко применяются штанговые опрыскиватели. Однако при их применении для внесения растворов биологических препаратов или минеральных удобрений обрабатывается в основном верхняя часть листьев картофеля, в то время как нижняя часть листьев обладает лучшей адсорбирующей способностью.

При использовании штанговых опрыскивателей с воздушным сопровождением листья растений обрабатываются со всех сторон, однако в сухую погоду воздушный поток поднимает пыль, на частичках которой оседают капли раствора, при этом уменьшается эффективность обработки. Рабочие органы комбинированных машин для возделывания картофеля должны обеспечить

обработку листьев со всех сторон при максимальной запыленности процесса и минимальном расходе растворов пестицидов [7–11].

Для опрыскивания картофеля применяются различные типы распылителей, однако при опрыскивании растений возникает проблема неравномерного распределения растворов препаратов по обрабатываемой поверхности.

Поэтому исследование и разработка рабочих органов, позволяющих качественно обрабатывать растения картофеля биологическими препаратами и подкармливать жидкими минеральными удобрениями, является одной из актуальных задач при возделывании экологически чистого картофеля.

При возделывании экологически чистого картофеля сорные растения будут уничтожаться при подготовке почвы к посадке, в послепосадочный довсходовый и вегетационный периоды механическим способом, что исключит применение пестицидов стоимостью 84,3 руб/га.

Для защиты картофеля от колорадского жука и болезней будут исследованы микробиологические препараты и часть фунгицидов и инсектицидов будет снижена на 50–60 %. В целом пестицидную нагрузку предполагается снизить ориентировочно с 8,1 до 2,7 кг/га. Для борьбы с колорадским жуком возможно применение машины для механического их сбора.

На экологичность производства значительное влияние оказывают многие факторы, одним из которых является уничтожение сорной растительности путем применения гербицидов. При возделывании картофеля для уничтожения сорной растительности расходуется 1,6 кг/га гербицидов. Следует отметить, что это дорогостоящие препараты, которые поступают в республику главным образом из-за рубежа. Решение проблемы снижения пестицидной нагрузки при возделывании картофеля должно быть сосредоточено в направлении максимального механического удаления сорных растений при возделывании культуры и применении экологически безопасных средств защиты растений. В результате существенного снижения пестицидной нагрузки будет получена продукция с высоким уровнем экологической безопасности, что обеспечит здоровое питание населения [12–14].

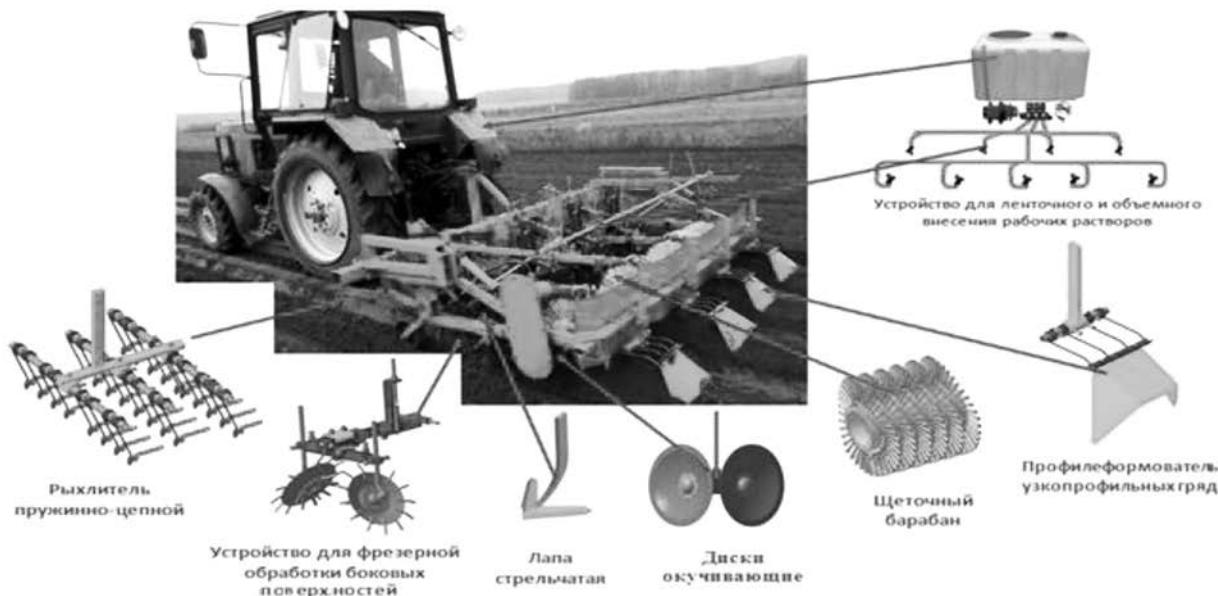
Определяющим фактором при усовершенствовании применяемых технологий, обеспечивающих существенное снижение пестицидной нагрузки, является применение средств механизации, обеспечивающих выполнение многих технологических операций, обладающих новым конструктивным решением, в режиме экологического земледелия.

Для освоения технологии возделывания картофеля на основе экологического земледелия на кафедре земледелия и механизации технологических процессов УО «Гродненский государственный аграрный университет» разработан агрегат универсальный АУ-М2 в двух модификациях, оснащенных сферическими дисками, блоками ротационных боронок, окучивающими сферическими дисками и профилемформователями для выполнения технологических операций механической обработки почвы. Созданы принципиально новые рабочие органы, осуществляющие активное рыхление поверхностного слоя почвы в послепосадочный и вегетационный периоды, обеспечивающие максимальное или полное уничтожение проростков и всходов сорной растительности механическим способом [7–9].

В настоящее время в технологии возделывания картофеля для внесения рабочих растворов используются опрыскиватели сплошного или ленточного внесения. При таком способе рабочий раствор в основном наносится на верхнюю часть растения. Для увеличения эффективности действия вносимых препаратов было разработано и создано оборудование объемного внесения рабочих растворов на растения картофеля в период вегетации, чтобы обеспечить больший контакт препарата с листьями растений, и тем самым повысить эффективность вносимых препаратов [15–17].

В связи с этим из всех имеющихся технических средств для обработки картофеля на основе экологического земледелия наиболее приемлемым является агрегат универсальный АУ-М2.

Технология возделывания картофеля в режиме экологического земледелия была освоена в ФХ «Горизонт» на площади 65 га. Возделывались сорта картофеля Манифест, Палац. Для проведения обработок посадок картофеля использовался агрегат универсальный АУ-М2 с набором новых видов рабочих органов, включая пружинные рыхлители, блоки фрезерных и сферических дисков и подпружиненных профилемформователей (применяемых в довсходовый период). Такая



Агрегат комбинированный универсальный АУ-М2 с набором рабочих органов

компоновка агрегата АУ-М2 при оптимальной скорости движения путем рыхления почвенно-грунтового слоя почвы обеспечивала максимальное уничтожение сорной растительности на картофельном поле. При этом на отдельных участках проводилась одна междуурядная обработка посадок картофеля. На всех посадках картофеля количество сорных растений не превышало порога вредоносности. Общая урожайность картофеля составила 325 ц/га [18–20].

### Заключение

Использование агрегата универсального АУ-М2 позволило исключить применение гербицида Молбузин в дозе 0,9 л, стоимость которого составляет 30,1 долл. США на 1 га возделываемой площади, и обеспечить производство картофеля в системе экологичного земледелия. При этом также была исключена возможность накопления данного гербицида в произведенной продукции, предотвращено ингибирующее действие гербицида на фотосинтез растений, которое приводит к задержке их роста и развития, а также ослаблению иммунитета, исключено негативное действие гербицида и его метаболитов на микробиологическую активность почвы.

Полученная продукция была заложена в областной стабилизационный фонд и поставлялась в детские сады и школы.

В последующие годы возделывание картофеля на продовольственные цели целесообразно осуществлять в системе экологичного земледелия.

### Список использованных источников

1. Усовершенствование профилемформователя узкопрофильных гряд / А. И. Филиппов, Э. В. Заяц, А. А. Аутко, В. П. Чеботарев // Техническое и кадровое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве : сб. науч. ст. Междунар. науч.-практ. конф. ; Минск, 24–25 окт. – Минск : БГАТУ, 2019. – С. 54–56.
2. Разработка узла распыла для объемного внесения рабочих растворов / А. И. Филиппов, Э. В. Заяц, А. А. Аутко, В. П. Чеботарёв // Техническое и кадровое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве : сб. науч. ст. Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 24–25 окт. – Минск : БГАТУ. – С. 56–59.
3. Обоснование конструктивных параметров устройств для формирования профиля гребня / В. П. Чеботарев, В. Н. Еднач, А. И. Филиппов, А. А. Зенов // Техническое и кадровое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве : сб. науч. статей Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 24–25 окт. – Минск : БГАТУ, 2019. – С. 71–73.
4. К вопросу формирования узкопрофильных гряд / В. П. Чеботарев, В. Н. Еднач, Э. В. Заяц, А. И. Филиппов // Агропанорама. – 2019. – № 5. – С. 22–26.
5. Профилемформователь узкопрофильных гряд / Э. В. Заяц, А. А. Аутко, А. И. Филиппов, С. В. Стуканов // Современные технологии сельскохозяйственного производства: технология хранения и переработки сельскохозяй-

ственной продукции, агрономия, защита растений : материалы XXI Междунар. науч.-практ. конф., Гродно, 31 мая, 20 и 30 марта 2018 г. / Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, УО «Гродненский государственный аграрный университет». – Гродно, 2018. – С. 170–172.

6. Обзор основных конструкций опрыскивателей при разработке объемного и ленточного внесения рабочих растворов в системе экологического земледелия / А. И. Филиппов, Э. В. Заяц, Н. Д. Лепешкин, В. П. Чеботарев // Механизация и электрификация сельского хозяйства : межвед. темат. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2020. – Вып. 53. – С. 27–33.

7. Обоснование технических и конструктивных параметров профилемформователя узкопрофильных гряд / А. И. Филиппов, Э. В. Заяц, Н. Д. Лепешкин, В. П. Чеботарев // Механизация и электрификация сельского хозяйства : межвед. темат. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2020. – Вып. 53. – С. 23–27.

8. Разработка оборудования для объемного внесения рабочих растворов / А. И. Филиппов, Э. В. Заяц, А. А. Аутко, Н. Д. Лепешкин // Механизация и электрификация сельского хозяйства : межвед. темат. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2020. – Вып. 53. – С. 153–157.

9. Чеботарев, В. П. Исследования различных типов распылителей при разработке опрыскивателя для объемного и ленточного внесения рабочих растворов / В. П. Чеботарев, А. И. Филиппов // Техническое и кадровое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 26–27 нояб. 2020 г. – Минск : БГАТУ, 2020. – С. 111–114.

10. Чеботарев, В. П. Усовершенствование дисковых рабочих органов для междуурядной обработки картофеля / В. П. Чеботарев, А. И. Филиппов, С. В. Стуканов // Техническое и кадровое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 26–27 нояб. 2020 г. – Минск : БГАТУ, 2020. – С. 144–148.

11. Усовершенствование фрезерных дисков для обработки боковых поверхностей узкопрофильных гряд / А. И. Филиппов, Э. В. Заяц, В. П. Чеботарев, К. Л. Пузевич // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 90-летию С. И. Назарова д-ра техн. наук, профессора, академика ВАСХНИЛ СССР, заслуженного деятеля науки и техники БССР. – Горки : БГСХА, 2020. – С. 348–351.

12. Схема обоснования фрезерного диска и размещения почвозацепов рыхлителя / А. И. Филиппов, Э. В. Заяц, В. П. Чеботарев [и др.] // Вестник БГСХА. – 2020. – № 3. – С. 194–197.

13. Нормы ленточного внесения удобрений модернизированным агрегатом АУ-М1 при междуурядной обработке почвы / А. И. Филиппов, А. А. Аутко, Э. В. Заяц, К. Л. Пузевич // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства : сб. науч. тр. – Горки : БГСХА, 2021. – С. 161–164.

14. Схема расстановки рабочих органов на агрегате АУ-М2 при обработке картофеля в довсходовый период / А. И. Филиппов, А. А. Аутко, Н. Д. Лепешкин, В. П. Чеботарев // Научно-технический процесс в сельскохозяйственном производстве : материалы Междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 100-летию со дня рождения М. М. Севернева, Минск, 21–22 окт. 2021 г. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» ; редкол.: П. П. Казакевич (гл. ред.), П. В. Божкова. – Минск : Беларус. наука, 2021. – С. 135–138.

15. Опрыскиватель телескопический комбинированный для объемного и ленточного внесения рабочих растворов / А. И. Филиппов, А. А. Аутко, Э. В. Заяц, Н. Д. Лепешкин // Механизация и электрификация сельского хозяйства : межвед. темат. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск : Беларус. наука, 2020. – Вып. 54. – С. 204–211.

16. Принцип работы автоматизированного почвообрабатывающе-посевного агрегата для овощных культур / А. И. Филиппов, С. В. Стуканов, Г. С. Цыбульский, А. А. Эберте // Современные технологии сельскохозяйственного производства : материалы XXIV Междунар. науч.-практ. конф. – Гродно : ГГАУ, 2021. – С. 244–245.

17. Комбинированный почвообрабатывающе-посевной агрегат инновационных технологий / А. И. Филиппов, С. В. Стуканов, Г. С. Цыбульский, А. А. Эберте // Современные технологии сельскохозяйственного производства : материалы XXIV Междунар. науч.-практ. конф. – Гродно : ГГАУ, 2021. – С. 246–247.

18. Обоснование технических и конструктивных параметров опрыскивателя телескопического комбинированного в составе агрегата для междуурядной обработки почвы / А. И. Филиппов, Э. В. Заяц, А. А. Аутко, В. П. Чеботарев // Вестник БГСХА. – 2021. – № 1. – С. 178–183.

19. Обзор машин для обработки пропашных культур и их усовершенствование для экологического земледелия / А. И. Филиппов, А. А. Аутко, В. П. Чеботарев, К. Л. Пузевич // Вестник БГСХА. – 2022. – № 1. – С. 160–167.

20. Разработка гидравлической схемы к опрыскивателю с телескопическими секциями для ленточного или объемного внесения рабочих растворов / А. И. Филиппов, А. А. Аутко, С. И. Козлов, К. Л. Пузевич // Вестник БГСХА. – 2022. – № 3. – С. 150–155.

**Д. Д. Фицуро, Д. С. Гастило, В. А. Сердюков**

*RUP «НПЦ НАН Беларуси  
по картофелеводству и плодоовощеводству»  
Республика Беларусь  
Минский р-н, пос. Самохваловичи,  
E-mail: d.fitsuro@gmail.com*

## **ПОЧВЕННЫЕ УСЛОВИЯ И АГРОТЕХНИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ ВЫРАЩИВАНИЯ КАРТОФЕЛЯ НА ГРЯДАХ В 2 И 3 СТРОКИ**

*Аннотация.* В статье представлены результаты исследований по выращиванию картофеля на грядах в 2 и 3 строки. При выполнении сепарации дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы агрофизические показатели на протяжении всего вегетационного периода культуры в целом оптимальны, перед уборкой урожая плотность почвы составила 1,08–1,16 г/см<sup>3</sup>, влажность – 8,9–17,5 %, что положительно сказывается на формировании общего и товарного урожая клубней картофеля.

*Ключевые слова:* картофель, грядовая технология, сорт, удобрения, густота посадки, Беларусь.

**D. D. Fitsurov, D. S. Gastilo, V. A. Serdyukov**

*RUE “SPC NAS of Belarus  
for potato and fruit and vegetable growing”  
p. Samokhvalovichy, Minsk region  
Republic of Belarus  
E-mail: d.fitsuro@gmail.com*

## **SOIL CONDITIONS AND AGROTECHNICAL METHODS OF GROWING POTATOES ON RIDGES IN 2 AND 3 LINES**

*Abstract.* The article presents the results of studies on growing potatoes on ridges in 2 and 3 lines. When performing the separation of sod-podzolic medium loamy soil, the agrophysical indicators throughout the growing season of the crop are generally optimal, and before harvesting the soil density was 1,08–1,16 g/cm<sup>3</sup>, humidity – 8,9–17,5 %, which has a positive effect on the formation of the total and commercial yield of potato tubers.

*Keywords:* potatoes, seedbed technology, variety, fertilizers, planting density, Belarus.

### **Введение**

Исследованиями отечественных и зарубежных ученых установлено, что на широкорядных посадках создаются лучшие условия для реализации потенциальной продуктивности картофеля, уменьшается плотность почвы в зоне клубнеобразования, создается более благоприятная влажность почвы в период вегетации растений, повышается товарность клубней за счет снижения их травмируемости при уборке урожая. Урожайность при этом может повышаться на 10–20 %, а энергозатраты по комплексу работ на производство 1 т клубней снижаются на 5–10 %. Цель грядовых технологий выращивания картофеля – получение устойчивых урожаев на переувлажненных, засоренных камнями, тяжелых по гранулометрическому составу почвах в условиях повышенного и недостаточного увлажнения. Система подготовки почвы при возделывании картофеля на грядах отличается от гребневых технологий. При традиционной гребневой технологии применяют довсходовые обработки культиваторами, которые комплектуются трехъярусными лапами, ротационными рыхлителями, подпружиненными боронками. При окучивании применяют сферические диски, трехъярусные лапы, окучающие корпуса. Формируют гребни постепенно после появления всходов, присыпая растения почвой. Такая обработка почвы способствует быстрому росту столонов картофеля, развитию корневой системы, образованию большего количества клубней [1–7].

Потенциал грядовых технологий раскрывается только при использовании высококачественного семенного материала интенсивных сортов, характеризующихся многоклубневостью. Само по себе увеличение ширины междуурядий или изменение конфигурации площади питания растений не имеет принципиального значения для картофеля и не дает автоматического увеличения урожайности.

Анализ научных разработок и проведенные патентные исследования подтверждают, что в современных условиях возникает необходимость создания энерго-ресурсосберегающих технологий выращивания картофеля в различных почвенно-климатических условиях регионов республики.

Целью исследований явилось проведение технологических опытов по разработке эффективных приемов обработки почв и уходов за посадками при выращивании картофеля широкорядным способом на грядах.

## Основная часть

Опыт проводили на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве технологического севооборота РУП «НПЦ НАН Беларусь по картофелеводству и плодовоощеводству» (п. Самохваловичи Минского района) в 2014–2016 гг. Объектами исследований являлись сорта Манифест, Скарб, Вектар, Акцент, использовалась картофелесажалка GB-330 с посадкой картофеля на грядах в 2 и 3 строки.

В схему опыта входили: варианты посадки – 70 см и гряды в 2 строки (42 + 42 см) и 3 строки (42 + 42 + 42 см); густота посадки – 48–52 тыс. клубней/га и 53–58 тыс. клубней /га; дозы удобрений – контроль – без удобрений; 40 т/га органических удобрений – Фон; Фон + N<sub>90</sub>P<sub>60</sub>K<sub>150</sub> + некорневые подкормки с микроэлементами двукратно; Фон + N<sub>120</sub>P<sub>90</sub>K<sub>180</sub> + некорневые подкормки с микроэлементами двукратно.

Пахотный горизонт опытных участков полей, где проводили агротехнический опыт, характеризуется агрохимическими показателями: гумус – 1,9–2,1 %; pH<sub>kel</sub> – 5,0–5,2; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 184–325,6 и K<sub>2</sub>O – 268,0–335,0 мг/кг.

Подготовка почвы к посадке заключалась в закрытии почвенной влаги культиватором КПС-4, вспашке ПЛН-3-35, чизелевании АЧУ-2,8 и предпосадочной культивации, нарезке гребней культиватором КРН-4,2 с междуурядьями 70 см. На грядах технологические операции выполняли в следующей последовательности: нарезка гряд грядообразователем Grimme Combi Star CS 1500, сепарация почвы – Rota Power CS 170 (Shapeforma BSF 2000).

Посадку сортов картофеля выполняли в третьей декаде апреля – третьей декаде мая (24.05.2014; 26.04.2015; 20.05.2016) сажалкой Л-202 на 70 см, а на грядах (30.05.2014; 21.05.2015; 23.05.2016) в 2 строки с междуурядьем 84 см (42 + 42) и 3 строки с междуурядьями 42 см (42 + 42 + 42) – картофелесажалкой GB-330 (рисунок 1). В период вегетации картофеля проводили две междуурядные обработки по формированию гребней КОР-4 и АК-2,8–70 см. На грядах междуурядной обработки не проводили, так как картофелесажалка GB-330 формирует гряду необходимых параметров при посадке (высота гряды 22–27 см). После формирования гребней и гряд вносили гербицид Зенкор ультра, КС в дозе 0,90 кг/га до всходов. Площадь опытной делянки при выращивании продовольственного картофеля с междуурядьем 70 см – 98 м<sup>2</sup> (2,8 × 35 м) и грядах – 52,5 м<sup>2</sup> (1,5 × 35 м), повторность – четырехкратная. Общая площадь под опытом – 1,5 га.

В соответствии с методикой исследований по культуре картофеля в период вегетации проводили следующие учеты и наблюдения: фенологические – начало (10 %) и массовое (75 %) появление всходов, бутонизация, цветение, созревание урожая. Влажность, плотность и степень крошения почвы определяли после посадки, в период появления полных всходов картофеля, в фазу цветения и перед уборкой по горизонтам: 0–10; 10–20; 20–30 см. Густоту посадки определяли в фазу полных всходов и перед уборкой урожая. Учет урожая определяли путем взвешивания клубней, полученных с делянки при уборке, а структуру урожая – по вариантам, с учетом массы каждой клубневой фракции [8; 9]. Биометрические показатели (высота растений, количество стеблей) определяли на 40 растениях по методике В. Росс, Ю. Росс [10]. Экспериментальный материал полевых опытов обработан методом дисперсионного анализа по «Методике полевого опыта» [11].



Рисунок 1 – Посадка картофеля картофелесажалкой GB-330 на грядах в 2 строки с междурядьем 84 см (42 + 42 см) и 3 строки с междурядьями 42 см (42 + 42 + 42 см)

В результате проведенных исследований агрофизические показатели почвы отличались между собой по годам и по вариантам опыта. В 2014 г. после посадки на грядах влажность почвы оказалась довольно высокой (накануне прошли дожди), в пределах 24–30,6 % (достаточно сильно увлажненная), а плотность почвы составила 0,99–1,11 г/см<sup>3</sup> (рыхлая) (таблица 1, рисунок 2). В фазу полных всходов верхний слой почвы несколько подсох: влажность составляла 12,7 % с плотностью почвы до 1,21 г/см<sup>3</sup>, а горизонты почвы 10–20 см и 20–30 см были рыхлыми и умеренно влажными – 14,1–17,5 %.

*Таблица 1 – Влажность и плотность почвы на посадках картофеля в период вегетации, в зависимости от применения машин на грядах и с шириной междурядий 70 см, 2014–2016 гг.*

Горизонт почвы, см	Фаза роста и развития растений по годам											
	после посадки			всходы			бутонизация			перед уборкой		
	2014	2015	2016	2014	2015	2016	2014	2015	2016	2014	2015	2016
Междурядья 70 + 70 см; АК-2,8 + КОР-4												
Влажность, %												
0–10	21,5	19,9	16,9	18,4	20,0	20,2	12,1	10,1	9,6	17,2	5,5	17,0
10–20	22,2	20,2	17,6	16,9	21,4	20,9	12,3	10,5	12,5	18,5	6,1	17,1
20–30	22,3	21,9	17,4	17,1	20,2	21,0	12,8	14,9	11,8	19,3	8,5	17,2
Плотность, г/см <sup>3</sup>												
0–10	1,15	1,14	0,96	1,13	1,18	0,99	1,10	1,07	1,00	1,21	1,29	1,03
10–20	1,18	1,19	1,00	1,09	1,08	1,04	0,97	1,02	1,05	1,13	1,35	1,12
20–30	1,22	1,24	1,05	1,18	1,07	1,11	0,98	1,10	1,12	1,04	1,39	1,19
Гряды 42 + 42 см и 42 + 42 + 42 см; грядообразователь Grimme Combi Star CS 1500; сепарация почвы – Rota Power CS 170 (Shapeforma BSF 2000)												
Влажность, %												
0–10	30,6	21,1	16,8	12,7	21,6	12,3	17,6	10,7	9,7	16,4	5,9	18,1
10–20	27,8	19,9	19,4	14,1	20,5	16,4	22,2	11,8	13,9	17,7	10,1	15,5
20–30	24,0	22,4	15,9	17,5	18,9	15,8	23,3	15,5	13,5	18,5	10,8	15,8
Плотность, г/см <sup>3</sup>												
0–10	1,11	1,12	0,97	1,21	1,07	0,99	1,17	1,20	1,03	1,19	1,25	1,03
10–20	0,99	0,96	1,02	1,10	1,02	1,02	1,15	1,06	1,11	1,18	1,04	1,06
20–30	1,06	1,12	1,03	1,15	0,93	1,05	1,19	1,10	1,13	1,20	1,20	1,15



Рисунок 2 – Проведение измерений профиля гряд и агрофизических показателей почвы после посадки картофеля в РУП «НПЦ НАН Беларусь по картофелеводству и плодоовощеводству» (п. Самохваловичи Минского района)

В фазу начала бутонизации слои почвы 10–20 см и 20–30 см были хорошо увлажнены – 22,2–23,3 % и рыхлые – 1,15–1,19 г/см<sup>3</sup>, что благоприятно сказалось на клубнеобразовании выращиваемых сортов картофеля. Перед уборкой агрофизические показатели почвы в целом были благоприятными для проведения уборочных работ: плотность почвы – 1,18–1,20 г/см<sup>3</sup> (достаточно рыхлая) и влажность – 16,4–18,5 %.

В 2015 г. до и после посадки на грядах влажность почвы установлена в пределах 19,9–22,4 % (умеренно влажная), а плотность почвы составила 0,96–1,12 г/см<sup>3</sup> (рыхлая). В фазу полных всходов верхний слой почвы был умеренно влажным – 18,9–21,6 % и рыхлым с плотностью почвы 0,93–1,07 г/см<sup>3</sup>. В фазу начала бутонизации почва была умеренно увлажненная – 11,8–15,5 % и рыхлая – 1,06–1,10 г/см<sup>3</sup>. Перед уборкой верхний слой почвы подсох – 5,9–10,8 % и плотность составила 1,04–1,25 г/см<sup>3</sup>.

В 2016 г. после посадки на грядах влажность почвы составила 15,9–19,4 % (умеренно влажная), а плотность почвы – 0,97–1,03 г/см<sup>3</sup> (хорошо рыхлая). В фазу полных всходов слой почвы 0–30 см был умеренно влажным – 12,3–16,4 % и рыхлым с плотностью 0,99–1,05 г/см<sup>3</sup>. В фазу начала бутонизации почва была умеренно увлажненная – 9,7–13,9 % и рыхлая – 1,03–1,13 г/см<sup>3</sup>, что явилось оптимальным условием для клубнеобразования картофеля. Перед уборкой слои почвы 0–10 см, 10–20 и 20–30 см оставались влажными – 15,5–18,1 %, а плотность составила 1,03–1,15 г/см<sup>3</sup>.

Рассматривая вариант опыта с межурядьями 70 см, следует отметить, что агрофизические показатели почвы, особенно в 2015 г., складывались неблагоприятно во второй половине вегетации. В фазу бутонизации влажность почвы в слое 0–20 см составляла 10,1–10,5 %, а перед уборкой почва высохла до 5,5–6,1 % и уплотнилась до 1,29–1,39 г/см<sup>3</sup>, что обусловило определенные трудности при проведении уборочных работ.

В 2014 и 2016 гг. агрофизические показатели почвы в данном варианте опыта (70 см) имели оптимальные параметры для роста и развития растений картофеля (перед уборкой плотность почвы была 1,03–1,21 г/см<sup>3</sup>, влажность – 17,0–19,3 %), они были схожи с показателями на грядах с посадками в 2 и 3 строки.

Таким образом, при выращивании картофеля на грядах с применением сепарации почвы складываются благоприятные агрофизические показатели почвы на протяжении всего вегетационного периода культуры – влажность и плотность почвы 16,4–23,3 % и 0,96–1,25 г/см<sup>3</sup> соответственно.

Твердость почвы – важный агрофизический показатель, с помощью которого характеризуют физико-механические свойства почв, сопротивление почвы росту корней, а также то, которое нужно преодолеть почвообрабатывающему рабочему органу в процессе ее обработки при уходе за посадками и уборке урожая. Твердость определяют как сопротивление почвы проникновению в нее тела (металлического плунжера) определенной формы с площадью сечения 1 см<sup>2</sup> (по Качинскому, Высоцкому, Голубеву), (по Горячкому – 2 см<sup>2</sup>). Твердость почвы выражают в кгс/см<sup>2</sup> и измеряют с помощью приборов, называемых твердомерами.

Проведенными исследованиями мы установили тенденцию увеличения твердости почвы с увеличением глубины почвенного горизонта и от центра гряды к ее склону (таблица 2). Показатели твердости почвы резко увеличиваются с углублением твердомера в почву по центру гребня с 2–10 кгс/см<sup>2</sup> до 26–40 кгс/см<sup>2</sup>. На склоне гряды показатели твердости почвы хотя и изменяются, но не значительно и в целом почва достаточно твердая – 35–40 кгс/см<sup>2</sup> и более.

**Таблица 2 – Показатели твердости почвы в грядах с использованием сепарации почвы в фазах начала бутонизации – цветения при выращивании картофеля (определение твердости почвы твердомером Ю. Ю. Ревякина), кгс/см<sup>2</sup>, 2014–2016 гг.**

Горизонт почвы, см	Сорта картофеля, выращиваемые на грядах															
	Манифест				Скарб				Акцент							
	2 строки 42 + 42	3 строки 42 + 42 + 42	2 строки 42 + 42	3 строки 42 + 42 + 42	2 строки 42 + 42	3 строки 42 + 42 + 42	2 строки 42 + 42	3 строки 42 + 42 + 42	1*	2**	1	2	1	2	1	2
0–5	10	39	10	22	6	31	2	36	17	36	19	35				
5–10	14	40	4	32	10	33	7	38	18	39	20	38				
10–15	16	41	5	36	12	36	9	36	19	41	21	40				
15–20	19	41	10	37	16	39	10	38	21	42	22	41				
20–25	25	42	43	37	24	41	42	37	21	44	21	41				
25–30	29	40	1,6	39	32	39	26	36	21	44	21	40				

Примечание: 1\* – определение твердости почвы по центру гребня гряды; 2\*\* – определение твердости почвы на склоне гребня гряды

Мы провели измерения по высоте и ширине гребней и гряд, определение площади сечения их профиля, объема, размещение клубневого гнезда кустов картофеля (таблица 3).

**Таблица 3 – Влияние способа (схемы) посадки картофеля на залегание клубневого гнезда, площадь профиля гребня, гряд и их объем, 2014–2016 гг.**

Вариант опыта, схема посадки	Высота гребня, гряды, см	Глубина клубневого гнезда, см	Площадь сечения профиля гребня, гряды, см <sup>2</sup>	Объем почвы гребня, гряды, м <sup>3</sup>
Междурядья 70 см	15–17	12–15	675,0–807,5	1 500,0–1 700,0
Гряда, 2 строки 42 + 42 см	22–27	20–25 до 30	3 190,0–3 915,0	1 833,0–2 250,0
Гряда, 3 строки 42 + 42 + 42 см	22–27	20–25 до 30	3 190,0–3 915,0	1 833,3–2 250,0

Установлено: высота гребней с междурядьями 70 см составила 15–17 см, гряды – 22–27 см; клубневое гнездо с междурядьями 70 см залегало на глубине 12–15 см, а на грядах – до 20–30 см. Площадь сечения профиля гребня на 70 см составила 675,0–807,5 см<sup>2</sup>, а гряды в 2 и 3 строки – 3 190,0–3 915,0 см<sup>2</sup> (+2 515,0–3 240,0 см<sup>2</sup> к гребню 70 см). Объем почвы при таких параметрах гребней и гряд составил для гребня с междурядьями 70 см – 1 500,0–1 700,0 м<sup>3</sup>/га, а на грядах – 1 833,0–2 250,0 м<sup>3</sup>/га (+333,0–750,0 м<sup>3</sup>/га к гребню 70 см), т. е. на грядах создаются более благоприятные условия для роста и развития растений картофеля.

Исходя из проведенных исследований по расположению клубневого гнезда в гряде, следует вывод о необходимости строго соблюдать регламент глубины посадки картофеля: на легких почвах – до 10 см, на связных, суглинистых – до 8 см (возможна более глубокая посадка – до 10–12 см, если не предусмотрено увеличение высоты гряды при последующих уходах в период вегетации картофеля).

Уборку урожая в годы исследований мы проводили в сентябре. Общая урожайность картофеля, выращиваемого на грядах, при внесении минеральных удобрений в дозах  $N_{90}P_{60}K_{150}$  и  $N_{120}P_{90}K_{180}$  на фоне 40 т/га органических удобрений, при густоте посадки 48–52 тыс. клубней/га и 53–58 тыс. клубней/га установлена на достаточно высоком уровне. Сорт Манифест в 2 строки – 45,4–48,5 и 47,8–53,4 т/га, в 3 строки – 44,0–53,8 и 47,3–49,1 т/га; Скарб в 2 строки – 41,6–46,5 и 41,4–50,5 т/га, в 3 строки – 46,5–51,7 и 45,8–49,4 т/га; Акцент в 2 строки – 41,2–44,7 и 42,9–46,3 т/га, в 3 строки – 36,0–43,0 и 35,7–40,4 т/га; Вектар в 2 строки – 45,6–52,8 и 46,6–51,7 т/га и в 3 строки – 42,0–53,1 и 41,2–45,6 т/га (таблица 4).

Наибольшая товарная урожайность была получена в варианте внесения минеральных удобрений в дозе  $N_{120}P_{90}K_{180}$  на фоне 40 т/га органических удобрений у сорта Манифест – 57,8 т/га (+14,8 т/га), Вектар – 54,7 (+11,4 т/га) и Скарб – 53,2 т/га (+7,2 т/га).

Прибавка урожайности (к междуурядьям 70 см) при выращивании картофеля на грядах в 2 и 3 строки по сортам составила: Манифест 4,0–11,0 и 10,3–14,3 т/га; Скарб – 2,5–4,4 и 9,2–14,0 т/га; Акцент – 8,2–11,6 т/га и 5,9–9,6 т/га; Вектар – 2,5–9,6 и 6,0–15,3 т/га, соответственно.

Увеличение густоты посадки на грядах неоднозначно отражается на урожайности сортов картофеля. Так, у сортов Манифест и Акцент при двухстрочной посадке отмечен рост урожайности на 5,4–6,8 т/га и 4,3–4,9 т/га соответственно, а при трехстрочной посадке отмечено снижение у сорта Манифест на 5,8 т/га, а у сорта Акцент – рост на 6,1–7,8 т/га. У сортов Скарб и Вектар с увеличением густоты растений на 1 га при двух- и трехстрочной посадке наблюдается снижение продуктивности на 0,9–4,2 т/га и 0,7–5,8 т/га.

В структуре урожая у сортов Скарб и Акцент при двухстрочной посадке картофеля преобладает крупная фракция клубней 53,3–54,0 % и 57,0–59,9 % соответственно, а при трехстрочной у всех сортов семенная фракция – 40–60 мм.

Необходимо отметить высокую товарность клубней картофеля, выращиваемого на грядах в 2 и 3 строки: Манифест – 93,5–95,4 %, Скарб – 91,5–97,1 %, Акцент – 95,2–99,3 %, Вектар – 91,8–97,5 %.

## Заключение

В результате проведенных исследований по выращиванию картофеля на грядах в 2 и 3 строки установлено, что при выполнении сепарации дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы складываются благоприятные агрофизические показатели на протяжении всего вегетационного периода культуры. Перед уборкой урожая плотность почвы составила 1,08–1,16 г/см<sup>3</sup> (снижение на 2,3–13,4 % в сравнении с рядовой посадкой), влажность – 8,9–17,5 %, что положительно сказывается на формировании общего и товарного урожая клубней картофеля.

Установлено, что высота гребней с междуурядьями 70 см составила 15–17 см, гряды – 22–27 см; клубневое гнездо с междуурядьями 70 см залегало на глубине 12–15 см, а на грядах – до 20–30 см. Площадь сечения профиля гребня на 70 см составило 675,0–807,5 см<sup>2</sup>, а гряды в 2 и 3 строки – 3 190,0–3 915,0 см<sup>2</sup> (+2 515,0–3 240,0 см<sup>2</sup> к гребню 70 см). Объем почвы при таких параметрах гребней и гряд составил для гребня с междуурядьями 70 см – 1 500,0–1 700,0 м<sup>3</sup>/га, а на грядах – 1 833,0–2 250,0 м<sup>3</sup>/га (+333,0–750,0 м<sup>3</sup>/га к гребню 70 см), т. е. на грядах создаются более благоприятные условия для роста и развития растений картофеля.

Общая урожайность картофеля, выращиваемого на грядах при внесении минеральных удобрений в дозах  $N_{90}P_{60}K_{150}$  + НП и  $N_{120}P_{90}K_{180}$  + НП на фоне 40 т/га органических удобрений, густоте посадки 48–52 тыс. клубней/га и 53–58 тыс. клубней/га, установлена на достаточно высоком уровне: сорт Манифест в 2 строки – 46,7–51,5 и 52,1–58,3 т/га, в 3 строки – 53,2–61,8 и 54,0–58,5 т/га; Скарб в 2 строки – 43,2–47,5 и 41,9–46,6 т/га, в 3 строки – 52,856,6 и 48,9–52,4 т/га; Вектар в 2 строки – 45,3–53,4 и 45,6–51,2 т/га и в 3 строки – 49,8–59,1 и 49,1–53,3 т/га; Акцент в 2 строки – 41,2–44,7 и 45,5–49,6 т/га и в 3 строки – 36,0–43,0 и 43,8–49,1 т/га.

Наибольшая товарная урожайность была получена в варианте внесения минеральных удобрений в дозе  $N_{120}P_{90}K_{180}$  на фоне 40 т/га органических удобрений у сорта Манифест – 57,8 т/га (+14,8 т/га), Вектар – 54,7 (+11,4 т/га) и Скарб – 53,2 т/га (+7,2 т/га).

Таблица 4 – Влияние уровня питания (дозы удобрений) и схемы посадки картофеля на урожайность и его структуру, 2014–2016 гг.

Вариант опыта	Междурядья 70 см						Гряды, 2 строки (42 + 42 см)						Гряды, 3 строки (42 + 42 + 42 см)					
	урожай, т/га	фракции, %		товарн. урожай, т/га	урожай, т/га	фракции, %	товарн. урожай, т/га	урожай, т/га	фракции, %	товарн. урожай, т/га	урожай, т/га	фракции, %	товарн. урожай, т/га	урожай, т/га	фракции, %	товарн. урожай, т/га	урожай, т/га	фракции, %
		60 мм	40–60 мм	30 мм	60 мм	40–60 мм	30 мм	60 мм	40–60 мм	30 мм	60 мм	40–60 мм	30 мм	60 мм	40–60 мм	30 мм	60 мм	40–60 мм
Сорт Манифест, 48–52 тыс/га																		
Контроль – без удобрений	21,8	22,8	68,1	9,1	90,9	19,8	24,9	33,5	58,5	8,0	92,0	22,9	28,4	24,4	61,6	14,0	86,0	24,4
40 т/га орг. удобр. Фон	27,4	37,4	57,1	5,5	94,5	25,9	31,1	35,6	57,5	6,9	93,1	29,0	34,3	32,6	58,0	9,4	91,6	31,4
Фон + N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>150</sub> +НП	41,7	49,6	46,7	3,7	96,3	40,2	46,7	38,7	55,4	5,9	94,1	43,9	53,2	31,2	63,1	5,7	94,3	50,2
Фон + N <sub>120</sub> P <sub>90</sub> K <sub>180</sub> +НП	47,5	40,6	50,0	9,4	90,6	43,0	51,5	40,6	53,4	6,0	94,0	48,4	61,8	33,4	60,1	6,5	93,5	57,8
HCP <sub>0,05</sub>	5,4	–	–	–	–	–	5,4	–	–	–	–	–	6,0	–	–	–	–	–
Сорт Манифест, 53–58 тыс/га																		
Контроль – без удобрений	21,6	36,9	56,0	7,1	92,9	20,1	27,5	37,9	55,1	7,0	93,0	25,6	27,8	36,4	54,7	8,9	91,1	25,3
40 т/га орг. удобр. Фон	38,5	30,3	63,6	6,1	9,9	36,2	34,3	41,6	52,1	3,3	96,7	33,2	33,3	31,6	58,7	9,7	90,3	30,1
Фон + N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>150</sub> +НП	41,1	51,1	46,0	2,9	97,1	39,9	52,1	40,1	55,3	4,6	95,4	49,7	54,0	28,3	65,3	6,4	93,6	50,5
Фон + N <sub>120</sub> P <sub>90</sub> K <sub>180</sub> +НП	48,2	60,0	37,4	2,6	97,4	46,9	58,3	40,0	55,4	4,6	95,4	55,6	58,5	32,7	62,3	5,0	95,0	55,6
HCP <sub>0,05</sub>	5,4	–	–	–	–	–	5,4	–	–	–	–	–	5,4	–	–	–	–	–
Сорт Скарб, 48–52 тыс/га																		
Контроль – без удобрений	19,9	42,7	49,3	8,0	92,0	18,3	22,6	41,9	52,8	5,3	94,7	21,4	24,9	42,8	46,0	11,2	88,8	22,1
40 т/га орг. удобр. Фон	24,9	52,0	38,5	9,5	91,5	22,8	28,4	42,2	53,1	4,7	95,3	27,1	30,1	38,2	55,5	6,3	93,7	28,2
Фон + N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>150</sub> +НП	38,8	59,4	36,4	4,2	96,8	37,6	43,2	54,0	43,1	2,9	97,1	41,9	52,8	44,1	50,5	5,4	94,6	49,9
Фон + N <sub>120</sub> P <sub>90</sub> K <sub>180</sub> +НП	47,4	65,4	32,0	2,6	97,4	46,2	47,5	53,3	42,9	3,8	96,2	45,7	56,6	36,9	57,1	6,0	94,0	53,2
HCP <sub>0,05</sub>	5,3	–	–	–	–	–	5,1	–	–	–	–	–	5,6	–	–	–	–	–
Сорт Скарб, 53–58 тыс/га																		
Контроль – без удобрений	18,4	38,5	55,8	5,7	94,3	17,4	23,9	44,2	52,1	3,7	96,3	23,0	23,8	44,8	46,8	8,4	91,6	21,8
40 т/га орг. удобр. Фон	24,5	53,9	41,4	4,7	95,3	23,3	28,1	48,7	44,8	6,5	93,5	26,3	29,5	37,5	56,2	6,3	93,7	27,6
Фон + N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>150</sub> +НП	39,4	68,6	28,8	2,6	97,4	38,4	41,9	47,0	49,0	4,0	96,0	40,2	48,9	44,1	47,4	8,5	91,5	44,7
Фон + N <sub>120</sub> P <sub>90</sub> K <sub>180</sub> +НП	42,2	59,2	38,0	2,8	97,2	41,0	46,6	48,7	45,5	5,8	94,2	43,9	52,4	42,3	53,9	3,8	96,2	50,4
HCP <sub>0,05</sub>	6,3	–	–	–	–	–	4,0	–	–	–	–	–	4,6	–	–	–	–	–
Сорт Вектар, 48–52 тыс/га																		
Контроль – без удобрений	16,7	55,7	35,6	8,7	91,3	15,2	23,6	44,3	51,0	4,7	95,3	22,5	23,8	56,8	38,3	4,9	95,1	22,6
40 т/га орг. удобр. Фон	24,1	51,3	43,0	5,7	94,3	22,7	30,2	43,7	52,1	4,2	95,8	28,9	32,2	53,9	41,2	4,9	95,1	27,5
Фон + N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>150</sub> +НП	39,2	62,9	33,6	3,5	96,5	37,8	45,3	45,4	51,0	3,6	96,4	43,7	49,8	41,9	54,0	4,1	95,9	47,8
Фон + N <sub>120</sub> P <sub>90</sub> K <sub>180</sub> +НП	43,8	62,1	36,8	1,1	98,9	43,3	53,4	55,5	41,3	3,2	96,8	51,7	59,1	41,4	51,2	7,4	92,6	54,7
HCP <sub>0,05</sub>	5,8	–	–	–	–	–	5,5	–	–	–	–	–	6,5	–	–	–	–	–

Окончание таблицы 4

Вариант опыта	Междурядья 70 см						Гряды, 2 строки (42 + 42 см)						Гряды, 3 строки (42 + 42 + 42 см)													
	Урожай, т/га			Фракции, %			Урожай, т/га			Фракции, %			Урожай, т/га			Фракции, %			Урожай, т/га			Фракции, %				
	60 мм	40–60 мм	30 мм	товар- ность, %	товар- ность, %	товар- ность, %	60 мм	40–60 мм	30 мм	товар- ность, %	товар- ность, %	товар- ность, %	60 мм	40–60 мм	30 мм	товар- ность, %	товар- ность, %	товар- ность, %	60 мм	40–60 мм	30 мм	товар- ность, %	товар- ность, %	товар- ность, %		
Сорт Вектар, 53–58 тыс/га																										
Контроль – без удобрений	17,1	49,0	45,2	5,8	94,2	<b>15,1</b>	23,9	41,1	55,3	3,6	96,4	<b>23,1</b>	23,8	41,7	50,9	7,4	92,6	<b>22,0</b>								
40 т/га орг. удобр. Фон	28,3	59,3	38,6	2,1	97,9	<b>27,7</b>	31,3	34,2	61,4	4,4	95,6	<b>29,9</b>	31,2	45,0	48,3	6,7	93,3		<b>29,1</b>							
Фон + N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>150</sub> +НП	43,1	63,4	33,2	3,4	96,6	<b>41,6</b>	45,6	42,1	53,9	4,0	96,0	<b>43,8</b>	49,1	38,7	53,1	8,2	91,8		<b>40,2</b>							
Фон + N <sub>120</sub> P <sub>90</sub> K <sub>180</sub> +НП	45,8	69,3	29,5	1,2	98,8	<b>45,3</b>	51,2	54,0	43,5	2,5	97,5	<b>49,9</b>	53,3	36,9	55,2	7,9	92,1		<b>49,1</b>							
HCP <sub>0,05</sub>	6,2	–	–	–	–	–	5,2	–	–	–	–	–	–	5,6	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Сорт Акцепт, 48–52 тыс/га																										
Контроль – без удобрений	15,7	43,1	49,2	7,7	92,3	<b>14,5</b>	16,2	40,8	53,4	5,8	94,2	<b>15,3</b>	18,5	64,1	29,0	6,9	93,1	<b>17,2</b>								
40 т/га орг. удобр. Фон	19,8	50,0	46,7	3,3	96,7	<b>19,1</b>	22,4	59,8	37,0	3,2	96,8	<b>21,7</b>	24,5	63,9	31,9	4,2	95,8		<b>23,5</b>							
Фон + N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>150</sub> +НП	30,1	53,9	43,1	3,0	97,0	<b>29,2</b>	41,2	57,0	40,6	2,4	97,6	<b>40,2</b>	36,0	44,7	52,9	2,4	97,6		<b>35,1</b>							
Фон + N <sub>120</sub> P <sub>90</sub> K <sub>180</sub> +НП	36,5	56,4	40,8	2,7	97,3	<b>35,5</b>	44,7	47,1	52,2	0,7	99,3	<b>44,4</b>	43,0	54,7	43,3	2,0	98,0		<b>42,1</b>							
HCP <sub>0,05</sub>	5,3	–	–	–	–	–	4,2	–	–	–	–	–	–	5,3	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Сорт Акцепт, 53–58 тыс/га																										
Контроль – без удобрений	16,3	56,4	39,7	3,8	96,2	<b>15,7</b>	21,4	42,9	51,2	5,9	94,1	<b>20,1</b>	21,0	57,0	37,3	5,7	94,3	<b>19,8</b>								
40 т/га орг. удобр. Фон	20,1	53,6	41,7	2,8	97,2	<b>19,5</b>	24,9	57,1	39,4	3,5	96,5	<b>24,0</b>	24,0	58,0	38,5	3,5	96,5		<b>23,2</b>							
Фон + N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>150</sub> +НП	34,2	47,9	49,3	2,7	97,3	<b>33,3</b>	45,5	58,6	36,6	4,8	95,2	<b>43,3</b>	43,8	51,3	45,2	3,5	96,5		<b>42,3</b>							
Фон + N <sub>120</sub> P <sub>90</sub> K <sub>180</sub> +НП	38,0	59,2	38,2	2,6	97,4	<b>37,0</b>	49,6	59,9	36,9	3,2	96,8	<b>48,0</b>	49,1	45,9	51,4	2,7	97,3		<b>47,8</b>							
HCP <sub>0,05</sub>	4,7	–	–	–	–	–	3,3	–	–	–	–	–	–	4,4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

В структуре урожая у сортов Скарб и Акцент при двухстрочной посадке картофеля преобладает крупная фракция клубней 53,3–54,0 % и 57,0–59,9 % соответственно, а в трехстрочной у всех сортов семенная фракция – 40–60 мм.

### Список использованных источников

1. Павлова, О. А. Влияние агротехнических приемов на урожайность и качество картофеля при возделывании на грядах : автореф. дис. .... канд. техн. наук : 06.01.09, 05.20.01 / Павлова Оксана Анатольевна ; Всерос. науч.-исслед. ин-т картофельного хозяйства им. А. Г. Лорха. – М., 2006. – 23 с.
2. Старовойтов, В. И. Технологии выращивания картофеля в России: настоящее и будущее : сб. науч. тр. / В. И. Старовойтов, О. А. Павлова // Картофелеводство. – Минск, 2007. – Т. 13. – С. 161–170.
3. Кононученко, Н. В. Возделывание картофеля широкорядным способом в условиях БССР : автореф. дис. ... канд. с.-х наук : 68.29.01 / Николай Васильевич Кононученко ; Белорусский НИИ плодоводства, овощеводства и картофеля. – Минск, 1968. – 20 с.
4. Петъко, А. Б. Урожай картофеля и условия его уборки при ленточном способе посадки на грядах : сб. науч. ст. / А. Б. Петъко // Картофелеводство. – Минск : Ураджай, 1976. – Вып. 3. – С. 96–103.
5. Банадысов, С. А. Особенности применения современных технологий возделывания картофеля : сб. науч. ст. / С. А. Банадысов, М. И. Юхневич // Картофелеводство. – Минск : Мерлит, 2000. – Вып. 10. – С. 230–241.
6. Старовойтов, В. И. Перспективы развития технологии выращивания картофеля на грядах / В. И. Старовойтов, Н. В. Воронов, О. А. Павлова // Картофелеводство России: актуальные проблемы науки и практики. – М. : ФГНУ «Росинформагротех», 2007. – С. 147–151.
7. Чистяков, А. В. Выявление рациональных технологических приемов ухода за посадками картофеля при различной ширине междурядий на дерново-подзолистой почве : автореф. дис. ... канд. с.-х наук : 06.01.09 / Чистяков Алексей Витальевич ; ВНИИКХ. – М., 2001. – 24 с.
8. Методика исследований по культуре картофеля // НИИ картофельного хозяйства ; редкол. Н. С. Бацанов [и др.]. – М. : 1967. – 265 с.
9. Методические рекомендации по специализированной оценке сортов картофеля / С. А. Банадысов, И. И. Колядко, В. Л. Маханько [и др.] // Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь. – Минск : [б. и.], 2003. – 70 с.
10. Росс, В. Биометрические измерения в посевах сельскохозяйственных культур : метод. указ. / В. Росс, Ю. Росс // ВАСХНИЛ. – М., 1969. – 25 с.
11. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта : учебник / Б. А. Доспехов. – М. : Агропромиздат, 1985. – 351 с.

**А. М. Захаров, А. Н. Перекопский, А. Д. Комоедов**

*Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства  
(ИАЭП) – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ  
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация  
E-mail: komoedov.alexej@yandex.ru*

## РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПРОПОЛКИ В РЯДАХ КАРТОФЕЛЯ

*Аннотация.* В ходе исследования рассмотрена конструкция секционного рабочего органа для прополки в рядах картофеля и разработана система управления на основе машинного обучения.

*Ключевые слова:* органическое производство, растениеводство, прополка, автоматизированный культиватор, пропашные культуры.

**A. M. Zakharov, A. N. Perekopskiy, A. D. Komoedov**

*Institute for Engineering and Environmental Problems  
in Agricultural Production (IEEP) – branch of FSAC VIM  
Saint Petersburg, Russian Federation  
E-mail: komoedov.alexej@yandex.ru*

## DEVELOPMENT OF A DEVICE FOR WEEDING IN POTATO ROWS

*Abstract.* The study examined the design of a sectional working body for weeding in potato rows and developed a control system based on machine learning.

*Keywords:* organic production, crop production, weeding, automated cultivator, row crops.

### Введение

Одним из пунктов снижения экологической нагрузки при органическом производстве является запрет на использование гербицидов, в связи с этим возникает проблема уничтожения сорной растительности [1; 2]. Так, потери урожая от сорной растительности могут достигать 65–70 %, а использование допустимых мер при органической технологии (механическая обработка и ручная прополка защитных зон) повышает стоимость работ и снижает эффективность затрат труда [3; 4].

В связи с этим разработка автоматизированного адаптера для удаления сорной растительности является актуальной и важной задачей для органической технологии.

### Основная часть

Цель работы – разработка секционного рабочего органа для прополки в рядах пропашных культур при органической технологии возделывания картофеля.

Для эффективного удаления сорной растительности необходимо соблюдать агротехнические требования. Так, секционный рабочий орган должен применяться после появления всходов, что соответствует 12–16 дню вегетации, и до стадии смыкания ботвы.

Прополку следует проводить на глубине 4 см, так как наиболее эффективно механически удалить сорные растения можно до стадии появления 3 листа, когда корневая система сорняка слабая и после механического воздействия снижается риск повторного прорастания.

На базе ИАЭП – филиала ФГБНУ ФНАЦ ВИМ была разработана конструкция устройства для прополки в рядах пропашных культур (рисунок 1).

Прополочный нож 1 установлен на поворотной стойке 2, которая закреплена на выходном валу шагового двигателя 3 через редуктор. Управление моментом срабатывания шагового двига-

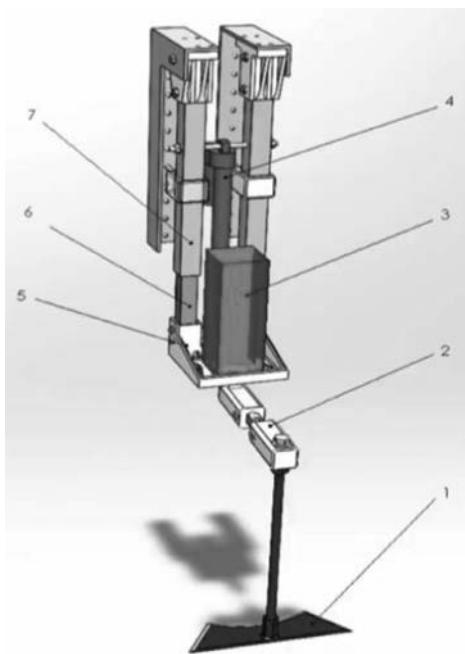


Рисунок 1 – Устройства для прополки в рядах пропашных культур: 1 – прополочный нож; 2 – поворотная стойка; 3 – шаговый двигатель; 4 – линейный актуатор; 5 – консоль привода; 6 – внутренняя направляющая; 7 – наружная направляющая

теля для обхода культурных растений осуществляется блоком управления, который размещается на раме культиватора. Расчет момента срабатывания прополочной секции определяется на основании данных о расстоянии до культуры и ее контуров, полученных с помощью машинного зрения. Контроль глубины обработки осуществляется блоком управления на основе анализа информации, полученной с ультразвукового датчика определения расстояния до вершины гребня, и перемещения штока актуатора для поддержания постоянной величины заглубления. Момент опроса датчика происходит при нахождении между культурными растениями [5].

Важным элементом конструкции секционного рабочего органа является прополочный нож. Так, в исследовании [6] теоретически определены геометрические параметры рабочего органа: ширина ножа – 220 мм; угол раствора – 60°; угол атаки – 0°; ширина лезвия – 30 мм. С целью подтверждения теоретически полученных значений было проведено поисковое исследование.

Для проведения исследования процесса удаления сорной растительности с использованием секционного рабочего органа изготовлена мобильная платформа (рисунок 2). Для приведения в движение платформы используются мотор-колеса, которые управляются микрокомпьютером с помощью ШИМ-сигнала.



Рисунок 2 – Лабораторная установка для исследования секционного рабочего органа

Во время исследования использовались три прополочных ножа с углами наклона боковых лезвий ( $\alpha$ ) 45, 60 и  $75^\circ$ . Измерение усилия на прополочном ноже выполнялось с помощью тензодатчика, который был установлен на Г-образной вертикально поворотной стойке. Скорость движения лабораторной установки составляла 3,5 км/ч.

В результате исследования была получена зависимость усилия  $P$  на боковое лезвие в зависимости от угла наклона бокового лезвия. Минимальное значение составляет 38,22 Н при  $45^\circ$ , а максимальное значение получено при  $75^\circ$  и составило 51,45 Н. Результаты представлены на рисунке 3.

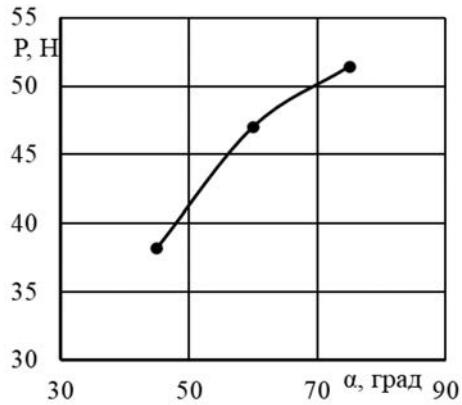


Рисунок 3 – Зависимость усилия на боковом лезвии ножа от угла

Также была исследована зависимость удаления сорной растительности от угла наклона боковых лезвий. Наибольший процент удаления сорной растительности  $S$  был при  $60^\circ$  и составил 91 %. Результаты исследований представлены на рисунке 4.

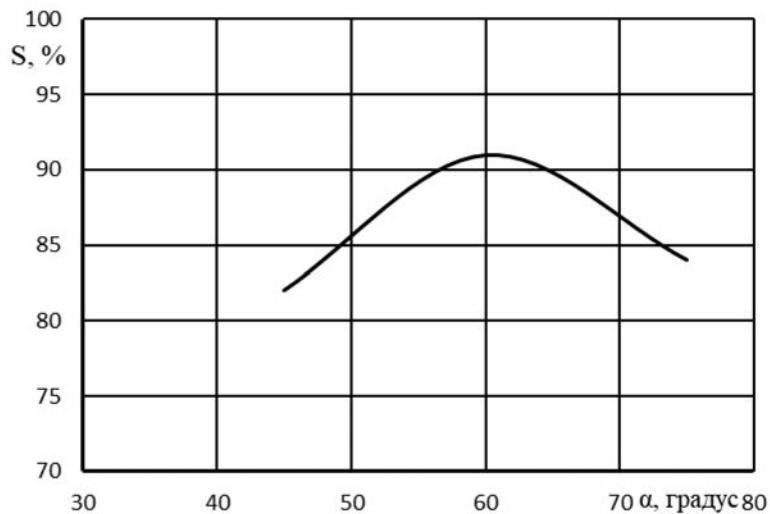


Рисунок 4 – Зависимость удаления сорной растительности от угла наклона боковых лезвий

Полученные зависимости позволяют выбрать рациональные параметры прополочного ножа, основываясь на экспериментальных данных.

### Заключение

В ходе исследования установлено, что при глубине обработки 4 см рационально использовать прополочный нож с углом наклона боковых лезвий  $60^\circ$ , что позволит удалить до 91 % сорной растительности в рядах культур. При этом высота сорной растительности не превышала 5 см.

## **Список использованных источников**

1. Концептуальные основы развития органического производства сельскохозяйственной продукции / В. Ф. Федоренко, А. Ю. Брюханов, А. М. Захаров, Е. А. Мурзаев // Техника и оборудование для села. – 2024. – № 1 (319). – С. 2–7.
2. Захаров, А. М. Обоснование элементов конструкции машины для борьбы с сорной растительностью на основе морфологического анализа / А. М. Захаров, Е. А. Мурзаев, А. Д. Комуедов // АгроЭкоИнженерия. – 2023. – № 1 (114). – С. 42–53.
3. Okazova, Z. P. Environmental aspects of harmful weed plants in potato agrocenosis / Z. P. Okazova, N. L. Adaev, I. M. Khanieva // Mezhdunarodnyi sel'skokhozyaistvennyi zhurnal = International Agricultural Journal. – 2023. – № 5 (395). – P. 545–548.
4. Кафиев, И. Р. Комплексная методика выбора наилучшего варианта робота для прополки сорняков по совокупности его характеристик / И. Р. Кафиев, П. С. Романов, И. П. Романова // Вестник НГИЭИ. – 2023. – № 1 (140). – С. 7–22. – DOI: 10.24412/2227-9407-2023-1-7-22.
5. Патент RU 2830875 C1. Устройство для прополки в рядах пропашных культур : № 2024112890 : заявлено 14.05.2024 : опубл. 26.11.2024 / Захаров А. М., Комуедов А. Д., Мурзаев Е. А.
6. Захаров, А. М. Теоретическое обоснование конструктивных параметров рабочего органа автоматизированной секции культиватора / А. М. Захаров, Е. А. Мурзаев, А. Д. Комуедов // АгроЭкоИнженерия. – 2024. – № 2 (119). – С. 58–71.

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Комлач Д. И., Жилич Е. Л., Перепечаев А. Н.</b> Инновационные подходы и применение цифровых технологий в механизации животноводства .....	3
<b>Бакач Н. Г., Карпович С. К., Крупеня А. В., Сайганов А. С.</b> Новые подходы к определению нормативной потребности в сельскохозяйственной технике для растениеводства.....	10
<b>Бакач Н. Г., Володкевич В. И., Шах А. В., Жаврид О. В.</b> Анализ конструктивных особенностей зерноуборочных комбайнов, применяемых в условиях Республики Беларусь .....	18
<b>Бакач Н. Г., Володкевич В. И., Шах А. В., Жаврид О. В.</b> Анализ мониторинга применения кормоуборочных комбайнов в условиях сельскохозяйственных организаций Республики Беларусь.....	22
<b>Бакач Н. Г., Володкевич В. И., Шах А. В., Жаврид О. В.</b> Прогнозирование потребности в зерноуборочных комбайнах для использования в условиях сельскохозяйственных организаций Республики Беларусь.....	26
<b>Комлач Д. И., Бакач Н. Г., Володкевич В. И., Шах А. В.</b> Технологическое обновление машинно-тракторного парка сельскохозяйственных организаций агрохолдинга «Купаловское» .....	30
<b>Бакач Н. Г., Жешко А. А., Володкевич В. И., Шах А. В.</b> Методика расчета технико-эксплуатационных показателей к определению максимальной производительности зерноуборочных комбайнов .....	34
<b>Лепешкин Н. Д., Микульский В. В., Мижурин В. В., Синяк Ю. В.</b> Почвообрабатывающий и посевной комплекс машин для ресурсосберегающих технологий производства зерна в Республике Беларусь.....	39
<b>Жешко А. А., Ленский А. В., Володкевич В. И.</b> Особенности имитационного моделирования процесса уборки зерновых культур.....	51
<b>Дыба Э. В., Трофимович Л. И.</b> Анализ основных факторов, влияющих на качество заготавливаемых травяных кормов .....	56
<b>Дыба Э. В., Трофимович Л. И.</b> Актуальность разработки граблей-валкователей ленточного типа .....	61
<b>Перепечаев А. Н., Зыбайло В. В., Хартанович А. М.</b> Автоматизация прессования короткого льноволокна.....	69
<b>Микульский В. В., Лепешкин Н. Д., Бегун П. П.</b> Перспектива применения высокоскоростного пневматического высевающего аппарата с автоматизированным электромеханическим приводом в сеялках точного высева.....	72
<b>Микульский В. В., Лепешкин Н. Д., Бегун П. П.</b> Актуальность разработки штангового адаптера для внесения химмилиорантов к серийно выпускаемым полуприцепам .....	78
<b>Лепешкин Н. Д., Микульский В. В.</b> Обоснование способа и агрегата, повышающих эффективность внесения минеральных удобрений .....	83
<b>Жешко А. А.</b> Анализ механизированных способов внесения твердых минеральных удобрений .....	89
<b>Жилич Е. Л., Рогальская Ю. Н., Никончук В. В., Бернацкая Д. В.</b> Существующие устройства для зоотехнического учета свиней в режиме реального времени .....	93
<b>Голдыбан В. В., Селиванова В. П., Курилович М. И.</b> Применение системного подхода при проектировании автономного мобильного агрегата .....	101
<b>Голдыбан В. В., Азаренко В. В., Селиванова В. П., Курилович М. И.</b> Разработка концепции безопасности при эксплуатации автономных роботизированных сельскохозяйственных агрегатов .....	107
<b>Федоров Д. С., Каличкин В. К., Максимович К. Ю.</b> Современные цифровые инструменты для оценки устойчивости аграрных экосистем .....	114
<b>Котов А. В., Кроль Д. Г.</b> Исследование эксплуатационных характеристик механизма агрегатирования самоходной уборочной косилки методом математического моделирования.....	120
<b>Филиппов А. И., Аутко А. А., Лепешкин Н. Д., Чеботарев В. П.</b> Хозяйственные испытания агрегата комбинированного универсального АУ-М2 при возделывании картофеля в фермерском хозяйстве «Горизонт» .....	126
<b>Фицуро Д. Д., Гастило Д. С., Сердюков В. А.</b> Почвенные условия и агротехнические приемы выращивания картофеля на грядах в 2 и 3 строки .....	131
<b>Захаров А. М., Перекопский А. Н., Комуедов А. Д.</b> Разработка устройства для прополки в рядах картофеля .....	140

Научное издание

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОГРЕСС  
В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ**

**Материалы  
Международной научно-технической конференции  
(Минск, 16–17 октября 2025 г.)**

Редакторы *А. Л. Маслякова, Т. А. Матох*

Художественный редактор *В. В. Домненков*

Компьютерная верстка *М. Э. Маляревич*

Подписано в печать 19.11.2025. Формат 60×84<sup>1/8</sup>.

Бумага офсетная. Печать цифровая.

Усл. печ. л. 16,97. Уч.-изд. л. 12,5. Тираж 120 экз. Заказ 228.

Издатель и полиграфическое исполнение:

Республиканское унитарное предприятие «Издательский дом «Беларуская навука».

Свидетельства о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя  
печатных изданий № 1/18 от 02.08.2013, № 2/196 от 05.04.2017.

Ул. Ф. Скорины, 40, 220084, г. Минск.