

EDN: PFIUSI

DOI: 10.22314/2073-7599-2026-20-1-25-30



Научная статья

УДК 629.018



## Определение допустимых значений параметров рабочих органов селекционного зерноуборочного комбайна

**Михаил Евгеньевич Чаплыгин<sup>1</sup>,**кандидат технических наук,  
ведущий научный сотрудник,  
e-mail: misha2728@yandex.ru;**Кирилл Сергеевич Дмитриев<sup>2</sup>,**кандидат технических наук, доцент,  
e-mail: kir0597@yandex.ru;**Александр Сергеевич Овчаренко<sup>1</sup>,**младший научный сотрудник,  
e-mail: peterbilt@list.ru<sup>1</sup>Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация;<sup>2</sup>Московский политехнический университет, Москва, Российская Федерация

**Реферат.** Одной из серьезных проблем механизации отечественной селекции остается недостаточный уровень технического оснащения системами автоматического управления рабочими органами, в том числе с элементами искусственного интеллекта. В технологии механизированной уборки большая часть регулировок параметров под изменяющиеся условия уборки осуществляется механизатором вручную. В связи с этим актуальна разработка методов автоматического регулирования параметров рабочих органов для повышения точности уборки на протяжении всего уборочного процесса, в том числе для селекционных зерноуборочных комбайнов, где особенно важно минимизировать потери и повреждение семенного материала. *(Цель исследования)* Определить области допустимых значений параметров рабочих органов селекционного зерноуборочного комбайна на основе оценки характеристик хлебостоя методом математического моделирования. *(Материалы и методы)* Определение математических зависимостей взаимосвязанных параметров линейного хода комбайна и частоты работы режущего аппарата, получение области допустимых значений графическим способом. *(Результаты и обсуждение)* Математически и графически определены области допустимых значений параметров рабочих органов селекционного зерноуборочного комбайна на основе оценки характеристик хлебостоя с учетом диапазонов работы комбайна и плотности хлебостоя: скорости движения комбайна от 1 до 2 метров в секунду, частоты работы режущего аппарата 200-800 оборотов в минуту, плотность хлебостоя 200-600 стеблей на один метр квадратный. Сформулированы и визуализированы зависимости между параметрами хлебостоя и режимами работы комбайна, что позволяет определить область допустимых значений. *(Выводы)* Полученные модели могут быть использованы в разрабатываемых интеллектуальных системах управления жатвенной частью и скоростью комбайна для повышения эффективности уборки и минимизации потерь. Подтверждена применимость модели для реализации в системах автоматизированного регулирования в реальных условиях.

**Ключевые слова:** селекционный комбайн, автоматизированное управление, режущий аппарат, адаптивное управление, потери зерна, техническое зрение, математическое моделирование.

■ **Для цитирования:** Чаплыгин М.Е., Дмитриев К.С., Овчаренко А.С. Определение допустимых значений параметров рабочих органов селекционного зерноуборочного комбайна // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2026. Т. 20. №1. С. 25-30. DOI: 10.22314/2073-7599-2026-20-1-25-30. EDN: PFIUSI.

Scientific article

## Determination of Permissible Operating Parameters for the Working Units of a Breeding Plot Harvester

**Mikhail E. Chaplygin<sup>1</sup>,**Ph.D.(Eng.), senior researcher,  
e-mail: misha2728@yandex.ru;**Kirill S. Dmitriev<sup>2</sup>,**Ph.D.(Eng.), associate professor,  
e-mail: kir0597@yandex.ru;**Aleksandr S. Ovcharenko<sup>1</sup>,**junior researcher,  
e-mail: peterbilt@list.ru

**Abstract.** One of the major challenges in the mechanization of domestic breeding remains the insufficient level of technical equipment incorporating automatic control systems for working units, including AI-based solutions. In mechanized harvesting

technology, most adjustments of operating parameters in response to changing harvesting conditions are still performed manually by the operator. Therefore, the development of automatic control methods aimed at improving harvesting accuracy throughout the entire harvesting process is highly relevant, particularly for breeding grain harvesters, where minimizing losses and damage to seed material is of critical importance. (*Research purpose*) To determine the permissible parameter values for the working units of a breeding plot harvester through mathematical modeling based on an assessment of crop stand characteristics. (*Materials and methods*) Mathematical relationships between the interrelated parameters of the harvester's linear travel speed and the operating frequency of the cutting unit were established, and the permissible parameter values for the working units of a breeding plot harvester were obtained using a graphical approach. (*Results and discussion*) The permissible parameter values for the working units of a breeding plot harvester were obtained using mathematical and graphical methods based on crop stand characteristics, taking into account the operating ranges of the harvester and crop stand density. The following parameters were established: harvester travel speed of 1-2 meters per second, cutting unit operating frequency of 200-800 revolutions per minute, and crop stand density of 200–600 stems per square meter. Functional relationships between crop stand parameters and harvester operating modes were formulated and visualized, enabling the determination of permissible parameters. (*Conclusions*) The derived models can be used in the development of intelligent control systems for the header assembly and harvester travel speed to improve harvesting efficiency and minimize losses. The applicability of the proposed model for implementation in automated control systems under real operating conditions has been confirmed.

■ **For citation:** Chaplygin M.E., Dmitriev K.S., Ovcharenko A.S. Determination of permissible operating parameters for the working units of a breeding plot harvester. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2026. T. 20. N1. С. 25-30. DOI: 10.22314/2073-7599-2026-20-1-25-30. EDN: PFIUSI

Острой проблемой отечественной отрасли селекции остается недостаточная обеспеченность современными техническими средствами, в частности тяговыми и транспортно-технологическими машинами [1, 2]. В то же время ключевыми векторами развития мобильной техники в агропромышленном комплексе выступают повышение энергоэффективности, снижение экологической нагрузки, расширение автоматизации процессов и внедрение роботизированных комплексов [3-5]. Несмотря на схожее с зерноуборочными комбайнами общее назначение и применяемые технические решения, к селекционным комбайнам предъявляются существенно более жесткие требования в части исключения сортосмешения в процессе уборки при переходе с одной делянки на другую, минимизировать потери и повреждение зерна, чтобы максимально сохранить ценный семенной материал.

Сохранить целостность зерна возможно при идеальной согласованности функционирования рабочих органов комбайна, однако следует учитывать, что параметры убираемого хлебостоя могут существенно различаться даже в пределах одной делянки [6]. Некоторые параметры могут регулироваться вручную, причем точность регулирования будет зависеть от опыта и степени вовлеченности комбайнера в процесс уборки, а визуальная оценка параметров хлебостоя и режимов работы рабочих органов зачастую затруднена. При дефиците в отрасли высококвалифицированных кадров одним из решений данного вопроса является создание автоматической системы управления (АСУ) параметрами рабочих органов с оценкой состояния убираемой культуры. Так, снижение плотности хлебостоя

приводит к недогрузке молотильно-сепарирующего устройства [7] и дроблению зерна, а при повышении плотности – к забиванию и заклиниванию режущего аппарата [8], забиванию молотильно-сепарирующего устройства (МСУ).

Современные достижения в области технологий применения искусственного интеллекта (ИИ) и технического зрения открывают новые возможности для мониторинга и управления процессом уборки зерновых культур с использованием зерноуборочных комбайнов. На базе математических моделей, описывающих динамику действия рабочих органов агрегата, предложены системы отслеживания качества уборки, оценки плотности распределения урожая и выявления нарушений технологического процесса в режиме реального времени [9].

К ключевым направлениям интеграции ИИ в уборочную технику относится создание автоматических систем управления рабочими органами комбайна. В таких системах используются алгоритмы глубокого обучения для анализа параметров комбайна в реальном времени, а также внешних показателей и высокочувствительных датчиков, например, видеопотоков с бортовых камер для определения характеристик убираемой культуры. Так, современные системы технического зрения, реализующие архитектуры нейронных сетей (например, *YOLO*, *Faster R-CNN*), успешно применяются для сегментации изображения, распознавания и классификации убираемой культуры [10]. На основе полученных данных автоматическая система управления с искусственным интеллектом позволяет прогнозировать эффективность уборочного процесса и оперативно корректировать эксплуатационные режимы [11].

Практический опыт применения таких моделей подтвержден в ряде научных исследований. В работе [12] описана структурная экономико-математическая модель, позволяющая оптимизировать энергозатраты и повысить эффективность работы зерноуборочных комбайнов. В рамках данной методологии интеграция систем ИИ и компьютерного зрения обеспечивает возможность автоматизированного контроля качества уборки и оперативного принятия решений на основе анализа видеоданных. Аналогичные подходы демонстрируются в исследованиях цифровых двойников сельскохозяйственной техники, где модели взаимодействия рабочих органов с культурой успешно используются для создания алгоритмов распознавания состояния зерноуборочного процесса [13].

**Цель исследования:** определить области допустимых значений параметров рабочих органов селекционного зерноуборочного комбайна на основе оценки состояния хлебостоя.

**Материалы и методы.** При работе селекционного комбайна целесообразно отслеживать несколько типов данных, в частности текущую скорость движения, сопротивление на режущем аппарате, плотность хлебостоя. Полученные данные позволяют своевременно оценить ситуацию при помощи АСУ за счет расчета ожидания и скорости изменения сопротивления (градиента), после чего происходит корректировка скорости движения комбайна и частоты работы режущего аппарата. Схема типа «черный ящик» для АСУ приведена на *рисунке 1*.

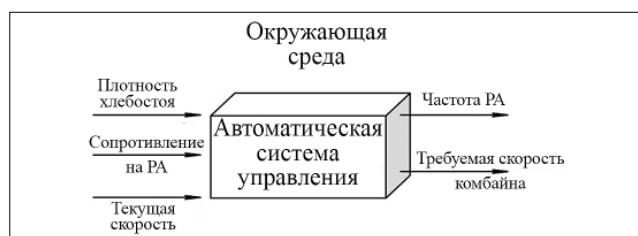


Рис. 1. Блок-схема автоматической системы управления: РА – режущий аппарат

Fig. 1. Block diagram of the automated control system: РА – cutting unit

Для описания зависимости частоты работы режущего аппарата жатки ( $f$ , Гц) и линейной скорости движения комбайна ( $v$ , м/с) от объема убираемой хлебной массы ( $\rho$ , стеблей/м<sup>2</sup>) необходимо учитывать, что с увеличением плотности хлебной массы повышается нагрузка на режущий аппарат [14]. Соответственно необходимо увеличить частоту работы режущего аппарата и снизить линейную скорость комбайна, чтобы обеспечить качественный срез и избежать потерь.

Для определения граничных значений моделирования были определены физические границы работы комбайна.

Относительно рассматриваемых моделей ВИМ-110, *Wintersteiger Classic* и других подобных типов селекционных комбайнов для уборочных работ выявлены следующие диапазоны:

- $v$  – скорость движения комбайна от 1 до 2 м/с;
- $f$  – частота работы режущего аппарата от 200 до 800 мин<sup>-1</sup>;
- $\rho$  – плотность хлебостоя от 200 до 600 стеблей/м<sup>2</sup>.

Скорость движения селекционного зерноуборочного комбайна обусловлена балансом производительности и допустимым количеством потерь зерна [15].

Диапазон частоты работы режущего аппарата определяется необходимой скоростью движения режущих кромок сегментов в сегментно-пальцевом режущем аппарате, которая составляет 1-3 м/с [16]. Таким образом, при стандартном шаге ножа режущего аппарата, равном 76,5 мм, частота работы режущего аппарата должна составлять порядка 400-1200 мин<sup>-1</sup>. При измерении параметров реального режущего аппарата селекционного комбайна типа ВИМ-110 получены значения частоты вращения приводного вала от 107 до 394 мин<sup>-1</sup>. С учетом передаточного отношения 1:1 и кинематической схемы привода с кривошипно-шатунным механизмом это дает удвоенную частоту работы режущего аппарата от 214 до 792 мин<sup>-1</sup>. Несоответствие количества хлебостоя негативно влияет на качество работы режущего аппарата. Так, избыточное количество срезаемых стеблей может привести к забиванию и заклиниванию режущего аппарата, а недостаточное – к потерям и травмированию семян [17].

В работе был определен диапазон плотности хлебостоя. Для определения количества стеблей на единицу площади было принято исходить из нормы высева зерновых культур, в частности яровых и озимых сортов пшеницы и ячменя, где нижнее значение соответствует регионам с неблагоприятными условиями произрастания, а верхние – для регионов с высокой урожайностью. В умеренно-влажных зонах и при хорошей влагообеспеченности обычно сеют 4-6 млн шт/га (400-600 шт/м<sup>2</sup>). Так, в лесостепи и Поволжье для твердой яровой пшеницы рекомендуют около 3,0-4,5 млн шт/га (300-450 шт/м<sup>2</sup>), норма высева озимого ячменя – 2,5-4,5 млн шт/га всхожих семян, или 250-450 шт/м<sup>2</sup> (О-627). Оптимальные нормы высева пшеницы и ячменя для получения семян с высокими посевными качествами в южной лесостепи Западной Сибири: рекомендации. Омск: ФГБНУ «Омский АНЦ», 2024. 40 с. Приложение N3 к Методике баланса ресурсов и использования зерна по видам культур (пшеница, рожь, ячмень, кукуруза, рис), утв. приказом Росстата от 28.03.2022 N 156).

**Результаты и обсуждение.** Первично приведем линейные математические зависимости работы ком-

байна от плотности хлебостоя, таким образом задав область допустимых значений работы режущего аппарата и скорости движения зерноуборочного комбайна относительно плотности хлебостоя.

*Зависимость частоты работы режущего аппарата от плотности хлебостоя.* Работу режущего аппарата необходимо регулировать таким образом, чтобы при увеличении плотности хлебостоя возрастала частота работы режущего аппарата. Принимаем следующие значения:

$$\begin{aligned} \text{при } \rho = 200 \text{ стеблей/м}^2 &\Rightarrow f = 200 \text{ мин}^{-1}; \\ \text{при } \rho = 600 \text{ стеблей/м}^2 &\Rightarrow f = 800 \text{ мин}^{-1}. \end{aligned}$$

Следовательно, линейная зависимость по граничным значениям диапазона для частоты работы режущего аппарата

$$f(\rho) = 1,5\rho - 100. \quad (1)$$

Аналогично для линейного движения комбайна при увеличении плотности хлебостоя скорость движения необходимо снизить. Исходя из общей производительности комбайна примем следующие параметры:

$$\begin{aligned} \text{при } \rho = 200 \text{ стеблей/м}^2 &\Rightarrow v = 2 \text{ м/с}; \\ \text{при } \rho = 600 \text{ стеблей/м}^2 &\Rightarrow v = 1 \text{ м/с}. \end{aligned}$$

Следовательно, линейная зависимость по граничным значениям диапазона

$$v(\rho) = -0,0025\rho + 2,5. \quad (2)$$

Сумма линейных зависимостей для определения области допустимых значений работы режущего аппарата и хода комбайна от плотности хлебостоя

$$\begin{cases} f(\rho) = 1,5\rho - 100 \\ v(\rho) = -0,0025\rho + 2,5 \end{cases} \quad (3)$$

Составим матрицу значений точек для построения графика зависимости работы комбайна от плотности хлебостоя:

$$M = [xyz] = \begin{bmatrix} 1 & 800 & 600 \\ 1 & 200 & 600 \\ 1,5 & 200 & 400 \\ 2 & 200 & 200 \\ 2 & 300 & 200 \\ 1,5 & 500 & 400 \\ 1 & 800 & 600 \end{bmatrix}, \quad (4)$$

где  $v$  – скорость движения комбайна  $x = [1,0; 1,0; 1,5; 2,0; 2,0; 1,5; 1,0]$ ;  $f$  – частота работы режущего аппарата  $y = [800, 200, 200, 200, 300, 500, 800]$ ;  $\rho$  – плотность хлебостоя  $z = [600, 600, 400, 200, 200, 400, 600]$ .

На *рисунке 2* приведен график, отражающий область допустимых значений регулируемых параметров селекционного зерноуборочного комбайна. В пределах этой области могут изменяться рассмотренные регулируемые параметры. Цветовой градиент отображает изменение плотности хлебостоя и ее увеличение, что приводит к росту нагрузки на рабочие органы комбайна.

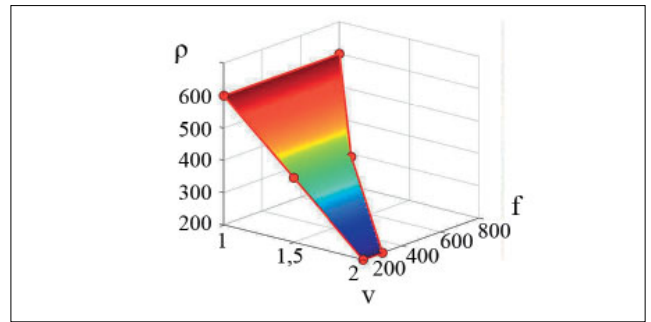


Рис. 2. График плоскости, образованной областью допустимых значений параметров рабочих органов зерноуборочного комбайна

Fig. 2. The plane formed by acceptable parameter ranges for the working units of a grain harvester

В дальнейших исследованиях планируется уточнить области значений регулируемых параметров, ввод новых переменных – силы сопротивления резанию [18], влажности хлебостоя, сопротивления качению колес комбайна, массы, а также определить соответствующие нелинейные зависимости работы комбайна относительно изменяющихся показателей плотности и влажности убираемого хлебостоя [19].

**Выводы.** Определены и обоснованы области допустимых значений входных параметров для регулирования основных рабочих органов селекционного зерноуборочного комбайна на основе анализа характеристик хлебостоя. Установлено, что линейная скорость движения комбайна должна изменяться в диапазоне от 1,0 до 2,0 м/с, частота работы режущего аппарата – в пределах 200-800 мин<sup>-1</sup>, а плотность хлебостоя, определяющая рабочие режимы, варьируется от 200 до 600 стеблей/м<sup>2</sup>.

Построенные математические зависимости показали линейную корреляцию между плотностью хлебостоя и частотой работы режущего аппарата  $f(\rho) = 1,5\rho - 100$ , а также обратную связь между плотностью урожая и скоростью движения комбайна  $v(\rho) = -0,0025\rho + 2,5$ . Построенный график области допустимых значений параметров рабочих органов позволяет адаптивно их регулировать, снижая возможные перегрузки и потери зерна.

Применение предложенной модели в разрабатываемых автоматических системах управления, интегрированных в селекционные зерноуборочные комбайны типа ВИМ-110, *Wintersteiger Classic* позволит повысить точность согласования подачи срезанной хлебной массы и пропускной способности молотильно-сепарирующего устройства, снизить потери зерна за счет оптимизации частоты резания, уменьшить влияния человеческого фактора и долю ручных регулировок.

Выявленные зависимости между характеристиками хлебостоя, в рассматриваемом случае – плотно-

стью, и технологическими режимами работы комбайна – скоростью движения, частотой вращения рабочих органов позволяют выделить область допустимых значений режимов работы, обеспечивающих устойчивое функционирование комбайна в условиях изменяющихся характеристик убираемой культуры.

Разработанные математические модели обладают практической значимостью и могут быть интегрированы в интеллектуальные системы адаптив-

ного управления как движением комбайна, так и работой жатвенной части. Доработка модели путем рассмотрения дополнительных механизмов комбайна и агрофизических свойств хлебостоя (влажность растений, высота среза и др.) расширит возможность автоматической системы управления по адаптации частоты вращения под разные порции убираемой продукции, в итоге привести к полной автоматизации и интеллектуализации уборочной техники.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Дорохов А.С. и др. Современные технологии и техника для сельского хозяйства – тенденции выставки AGRITECHNIKA 2019 // *Тракторы и сельхозмашины*. 2020. №6. С. 28-40. DOI: 10.31992/0321-4443-2020-6-28-40.
2. Шаров В.В., Ценч Ю.С. Приоритеты России в мировом тракторостроении. *Доклады ТСХА*. 2019. Вып. 291. Ч. 2. С. 446-448. EDN: FJMOLR.
3. Лобачевский Я.П., Лачуга Ю.Ф., Измайлов А.Ю., Шогенов Ю.Х. Инновационные достижения агроинженерных научных учреждений в условиях развития цифровых систем в сельском хозяйстве // *Техника и оборудование для села*. 2024. N5(323). С. 2-9. DOI: 10.33267/2072-9642-2024-5-2-8.
4. Бейлис В.М., Ценч Ю.С., Коротченя В.М. и др. Тенденции развития прогрессивных машинных технологий и техники в сельскохозяйственном производстве // *Вестник ВИЭСХ*. 2018. N4 (33). С. 150-156. EDN: YTHPID.
5. Чаплыгин М.Е., Старостин И.А., Овчаренко А.С. Концептуальные основы создания электрического селекционного комбайна с комбинированной энергетической установкой // *Инженерные технологии и системы*. 2025. N2. С. 266-283. DOI: 10.15507/2658-4123.035.202502.266-283.
6. Чаплыгин М.Е., Жалнин Э.В. Определение качества работы зерноуборочных комбайнов // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2019. Т. 13. N4. С. 71-76. DOI: 10.22314/2073 7599 2019 13 4 71 76.
7. Li W., Zhang K., Lv G. et al. An improved fuzzy logic control method for combine harvester's cleaning system. *Automatic Control and Computer Sciences*. 2022. N56(4). 337-346. DOI: 10.3103/S0146411622040058.
8. Димитров В.П., Борисова Л.В., Нурутдинова И.Н., Папченко А.А. О задаче корректировки регулируемых параметров роторного зернокомбайна // *Вестник аграрной науки Дона*. 2024. Т. 17. N2(66). С. 4-13. DOI: 10.55618/20756704\_2024\_17\_2\_4-13.
9. Ожерельев В.Н., Погонишев В.А., Погонишева Д.А. и др. Вопросы управления эксплуатацией зерноуборочной техники с использованием метода моделирования // *Вестник Брянской ГСХА*. 2025. N2 (108). С. 62-67. DOI: 10.21515/1990-4665-208-040.
10. Смирнов И.Г., Хорт Д.О., Кутырев А.И. Интеллектуальные технологии и роботизированные машины для возделывания садовых культур // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2021. Т. 15. N4. С. 35-41. DOI: 10.22314/2073-7599-2021-15- 35-41.
11. Goossens J., Lenaerts B., Devos S. et al. Anomaly detection on the cutter bar of a combine harvester using cyclostationary analysis. *Biosystems Engineering*. 2023. Vol. 226. 169-181. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2023.01.013.
12. Димитров В.П., Борисова Л.В., Нурутдинова И.Н. Метод определения начальных значений регулируемых параметров жатвенной части зерноуборочного комбайна // *Инженерные технологии и системы*. 2022. Т. 32. N4. С. 552-566. DOI: 10.15507/2658-4123.032.202204.552-566.
13. Qin F., Zhao C., Wang Q. et al. Grain combine harvester header profiling control system development and testing. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2024. Vol. 223. 109082. DOI: 10.1016/j.compag.2024.109082.
14. Минин П.С., Ловчиков А.П. К обоснованию конструктивных параметров режущего аппарата бесподпорного резания для комбайновых жаток с поступательным движением режущих элементов // *Вестник КрасГАУ*. 2013. N8 (83). С. 161-167. EDN: RYBWAZ.
15. Михальцов Е.М., Кем А.А., Даманский Р.В. и др. О соответствии производительности отечественных зерноуборочных комбайнов и урожайности зерновых и зернобобовых культур в России // *Агроинженерия*. 2023. N5 (25). С. 23-28. DOI: 10.26897/2687-1149-2023-5-23-28.
16. Алдошин Н.В., Золотов А.А., Лылин Н.А. Совершенствование конструкции сегментно пальцевых режущих аппаратов // *Вестник НГИЭИ*. 2017. N6 (73). С. 46-52. EDN: YZJEGV.
17. Астафьев В.Л., Ташмухамедов Р.Ф., Живулько У.В. Обоснование параметров хедеров и жаток хедеров к зерноуборочным комбайнам различных классов в режиме неполной загрузки молотилки // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2021. Т. 15. N1. С. 34-40. DOI: 10.22314/2073-7599-2021-15-1-34-40.
18. Козлов С.И., Коцуба В.И., Кузюр В.М., Будко С.И. Повышение производительности и снижение энергоемкости привода режущего аппарата // *Вестник Брянской ГСХА*. 2023. N3 (97). С. 34-40. DOI: 10.52691/2500-2651-2023-97-3-46-51.
19. Сергованцев В.Т. Аналитический подход к автоматизации сельскохозяйственных технологий на примере комбайна // *Вестник МГАУ имени В.П. Горячкина*. 2008. N1 (26). С. 19-22. EDN: ISVULB.

## REFERENCES

- Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P., Dorokhov A.S. et al. Modern agriculture technologies and equipment - trends of the Agritechnika 2019 exhibition. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2020. N6. 28-40 (In Russian). DOI: 10.31992/0321-4443-2020-6-28-40.
- Sharov V.V., Tsench Yu.S. Russia's priorities in the global tractor industry. *Reports of the Timiryazev Academy*. 2019. Iss. 291. Part 2. 446-448 (In Russian). EDN: FJMOLR.
- Lobachevsky Ya.P., Lachuga Yu.F., Izmailov A.Yu., Shogenov Yu.H. Innovative achievements of agricultural engineering scientific institutions in the context of the development of digital systems in agriculture. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2024. N5(323). 2-9 (In Russian). DOI: 10.33267/2072-9642-2024-5-2-8.
- Beylis V.M., Tsench Yu.S., Korotchenya V.M. et al. Trends in the development of advanced machine technologies and techniques in agricultural production. *Vestnik VIESH*. 2018. N4 (33). 150-156 (In Russian). EDN: YTHPID.
- Chaplygin M.E., Starostin I.A., Ovcharenko A.S. Conceptual basis for developing electric plot combine harvester with combined power-generating plant. *Engineering Technologies and Systems*. 2025. N2. 266-283 (In Russian). DOI: 10.15507/2658-4123.035.202502.266-283.
- Chaplygin M.E., Zhalnin E.V. Determining the performance quality of combine harvesters operating. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2019. Vol. 13. N4. 71-76 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2019-13-4-71-76.
- Li W., Zhang K., Lv G. et al. An improved fuzzy logic control method for combine harvester's cleaning system. *Automatic Control and Computer Sciences*. 2022. N56(4). 337-346 (In English). DOI: 10.3103/S0146411622040058.
- Dimitrov V.P., Borisova L.V., Nurutdinova I.N., Papchenko A.A. About the problem of updating adjustable parameters of a rotary combine harvester. *Don Agrarian Science Bulletin*. 2024. N17-2 (66). 4-13 (In Russian). DOI: 10.55618/20756704\_2024\_17\_2\_4-13.
- Ozherel'yev V.N., Pogonyshv V.A., Pogonyshva D.A. et al. Issues of operation management of grain harvesters using modeling method. *Vestnik of the Bryansk State Agricultural Academy*. 2025. N2. 62-67 (In Russian). DOI: 10.21515/1990-4665-208-040.
- Smirnov I.G., Khort D.O., Kutuyev A.I. Intelligent technologies and robotic machines for garden crops cultivation. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2021. Vol. 15. N4. 35-41 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2021-15-4-35-41.
- Goossens J., Lenaerts B., Devos S. et al. Anomaly detection on the cutter bar of a combine harvester using cyclostationary analysis. *Biosystems Engineering*. 2023. N226. 169-181 (In English). DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2023.01.013.
- Dimitrov V.P., Borisova L.V., Nurutdinova I.N. Method for determining the initial values of the adjustable parameters of the combine harvester cutting unit. *Engineering Technologies and Systems*. 2022. Vol. N32. N4. 552-566 (In Russian). DOI: 10.15507/2658-4123.032.202204.552-566.
- Qin F., Zhao C., Wang Q. et al. Grain combine harvester header profiling control system development and testing. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2024. Vol. 223. 109082 (In English). DOI: 10.1016/j.compag.2024.109082.
- Minin P.S., Lovchikov A.P. To the substantiation of the constructive parameters of the non-supporting cutting device for combine reapers with the forward motion of cutting elements. *Bulletin of Krasnoyarsk State Agrarian University*. 2013. N8(83). 16-167 (In Russian). EDN: RYBWAZ.
- Mikhaltsov E.M., Kem A.A., Damanskiy R.V., Schmidt A.N. On the compliance of the productivity of domestic combine harvesters and the yield of grain and leguminous crops in Russia. *Agricultural Engineering*. 2023. N5(25). 23-28 (In Russian). DOI: 10.26897/2687-1149-2023-5-23-28.
- Aldoshin N.V., Zolotov A.A., Lylin N.A. Improving the design segment-finger cutting machines. *Bulletin of NGIEI*. 2017. N6(73). 46-52 (In Russian). EDN: YZJEGB.
- Astafyev V.L., Tashmukhamedov R.F., Zhivulko U.V. Parameters substantiation of headers and reaper-headers for various classes combine harvesters in the incomplete loading mode of the thresher. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2021. Vol. 15. N1. 34-40 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2021-15-1-34-40.
- Kozlov S.I., Kotsuba V.I., Kuzyur V.M., Budko S.I. Performance improvement and reduction energy consumption of the cutting machine drive. *Vestnik of the Bryansk State Agricultural Academy*. 2023. N3. 46-51 (In Russian). DOI: 10.52691/2500-2651-2023-97-3-46-51.
- Sergovantsev V.T. Analytical approach to the automation of agricultural technologies using the combine harvester as an example. *Bulletin of MSAU named after V.P. Goryachkin*. 2008. N1(26). 19-22 (In Russian). EDN: ISVULB.

**Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Заявленный вклад соавторов:**

Чаплыгин М.Е. – научная концепция, формирование выводов; Дмитриев К.С. – определение целей и задач, анализ источников; Овчаренко А.С. – проведение экспериментов, написание статьи. Авторы одобрили окончательный вариант рукописи.

**Conflict of interest**

The authors declare no conflict of interest.

**Coauthors' contribution:**

Chaplygin M.E. – scientific concept, formation of conclusions; Dmitriev K.S. – definition of goals and objectives, analysis of sources; Ovcharenko A.S. – conducting experiments, writing an article. The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию

Статья принята к публикации

The paper was submitted to the Editorial Office on

The paper was accepted for publication on

10.12.2025

26.02.2026