

Обоснование параметров конструкции и режимов работы устройства для обмолота семян зернобобовых культур

© 2025. З. А. Годжаев¹, А. В. Колесников²✉

¹ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», г. Москва, Российская Федерация,

²ФГБОУ ВО «Луганский государственный аграрный университет имени К. Е. Ворошилова», г. Луганск, Российская Федерация

В современном сельском хозяйстве оптимизация обмолота семян зернобобовых культур становится все более актуальной темой. Вопрос заключается в том, как улучшить процесс обмолота, чтобы повысить урожайность и улучшить качество семян. Зернобобовые культуры, такие как горох и соя, играют важную роль, так как они не только обеспечивают продовольственную безопасность, но и улучшают структуру почвы благодаря своей способности накапливать азот. Оптимизация обмолота подразумевает под собой использование современных технологий и методов, которые позволяют максимально эффективно извлекать семена из бобов. Это включает в себя выбор сроков обмолота, использование специализированной техники и соблюдение технологий, которые минимизируют потери семян. В данной работе приводится обоснование параметров конструкции молотильно-сепарирующего устройства дифференцированного обмолота зернобобовых культур, а также определены некоторые рациональные режимы работы аксиального ротора при выделении семян гороха и сои, удовлетворяющие агротехническим требованиям. По результатам проведения теоретических и экспериментальных исследований с использованием принципа обращенного движения, определены рациональные соотношения частот вращения ротора и его планетарных вальцов молотильно-сепарирующего устройства, соответствующих оптимальной скорости обмолота семян с наименьшими повреждениями, для гороха в интервале 13,1...20,0 м/с, для сои – 13,5...21,5 м/с. Применение предлагаемого устройства позволяет осуществлять дифференцированный обмолот и сепарацию семян зернобобовых культур (гороха и сои), обеспечив снижение дробления до 0,68 % при обмолоте гороха и 1,29 % – сои, при одновременном снижении травмирования семян соответственно, то есть обмолот семян, обладающих повышенными посевными и урожайными качествами. Улучшение качественных показателей выделяемых семян при обмолоте также сопровождается снижением удельной энергоемкости технологического процесса, равной соответственно 4,86 и 6,09 кДж/кг для гороха и сои.

Ключевые слова: зернобобовые, молотильный барабан, подбарабанье, скорость, валец, дифференцированный обмолот

Благодарности: работа выполнена при поддержке ФГБОУ ВО «Луганский государственный аграрный университет имени К. Е. Ворошилова» (№ 082-00137-24-02 от "19" апреля 2024 г.).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Годжаев З. А., Колесников А. В. Обоснование параметров конструкции и режимов работы устройства для обмолота семян зернобобовых культур. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(4):929–936.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.4.929-936>

Поступила: 04.04.2025

Принята к публикации: 08.08.2025

Опубликована онлайн: 29.08.2025

Justification of design parameters and operating modes of a device for threshing seeds of grain legumes

© 2025. Zachid A. Godzhaev¹, Aleksey V. Kolesnikov²✉

¹Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation,

²Luhansk Voroshilov State Agricultural University, Luhansk, Russian Federation

In modern agriculture, optimization of threshing of leguminous crop seeds is becoming an increasingly important topic. The question is how to improve the threshing process to increase yields and improve seed quality. Legumes such as peas and soybeans play an important role, as they not only provide food security, but also improve soil structure due to their ability to accumulate nitrogen. Optimization of threshing implies the use of modern technologies and methods that allow for the most efficient extraction of seeds from beans. This includes the selection of threshing times, the use of specialized equipment and compliance with technologies that minimize seed losses. This paper provides a rationale for the design parameters of a threshing and separating device for differentiated threshing of leguminous crops and also defines some rational operating modes of the axial rotor when separating pea and soybean seeds that meet agrotechnical requirements. Based on the results of theoretical and experimental studies using the principle of reverse motion, rational ratios of the rotation frequencies of the rotor and its planetary rollers of the threshing and separating device have been determined, which corresponds to the optimal speed of threshing seeds with the least damage, in the range of 13.1...20.0 m/s for peas, 13.5...21.5 m/s for soybeans. The use of the proposed device allows for differentiated threshing and separation of leguminous crop seeds (peas and soybeans), ensuring a reduction in crushing to 0.68 % when threshing peas and 1.29% when threshing soybeans, with a simultaneous reduction in

seed damage, respectively, that is, threshing seeds with increased sowing and yield qualities. The improvement of the quality indicators of the seeds released during threshing is also accompanied by a decrease in the specific energy intensity of the technological process, equal to 4.86 and 6.09 kJ/kg for peas and soybeans, respectively.

Keywords: grain legumes, threshing drum, concave, speed, roller, differentiated threshing

Acknowledgments: the research was carried out under the support of the Luhansk Voroshilov State Agricultural University (No. 082-00137-24-02 dated April 19, 2024).

The authors thank the reviewers for their contribution to the expert assessment of this work.

Conflict of interest: the authors declared no conflict of interest.

For citations: Godzhaev Z. A., Kolesnikov A. V. Justification of design parameters and operating modes of a device for threshing seeds of grain legumes. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(4):929–936. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.4.929-936>

Received: 04.04.2025 Accepted for publication: 08.08.2025 Published online: 29.08.2025

Зернобобовые культуры играют ключевую роль как поставщик растительного протеина для рациона животных и человека. Являются источником кормов с высоким содержанием белка, который жизненно важен для поддержания всех биохимических процессов в организме животных и обеспечения их высокой производительности. В общей доле растительных белковых ресурсов однолетние зернобобовые культуры занимают первостепенное место, основными из них являются горох и соя, которые в силу своих биологических особенностей могут возделываться во многих регионах и превышают по урожайности другие зернобобовые культуры при условии соблюдения агротехники их возделывания [1, 2, 3].

Уборка зернобобовых культур может выполняться обычными комбайнами или специальными для гороха и сои. Уборка сои ввиду большой жесткости и толщины стеблей в сравнении с горохом, а также ввиду большой массы, поступающей в барабан, обычно производится с уменьшением величины подачи растений на обмолот и уменьшением оборотов барабана [4]. В качестве априорных сведений этим требованиям более полно удовлетворяют молотильно-сепарирующие устройства, осуществляющие дифференцированный обмолот, конструкция которых изучена недостаточно и позволяет сохранять неизменной абсолютную скорость обмолачивающих элементов или заданный интервал этой скорости в зависимости от параметров конструкции и режимов работы рабочих органов, угла наклона (бичей, гребенок, лопаток, граней клиновидных зубьев и т.п.), выбранных в зависимости от физико-механических свойств обмолачиваемого материала – легкообмолачиваемого гороха и труднообмолачиваемой сои.

Для обеспечения полного вымолота семян, наименьшего их дробления и микротравмирования необходимо регулировать частоту вращения барабана и зазоры в моло-

тильном аппарате серийных зерноуборочных комбайнов по мере изменения влажности и величины подачи растительной массы не менее трех раз в день. Грамотное и выполненное в срок применение агротехнических мероприятий, учитывающее специфику зернобобовых растений, дает возможность аграриям и фермерам добиваться стабильных и значительных урожаев [5, 6] с учетом зональных условий и особенностей их возделывания.

Цель исследований – определить рациональное соотношение частот вращения ротора и планетарных вальцов молотильно-сепарирующего устройства дифференцированного типа при обмолоте гороха и сои.

Научная новизна – определены рекомендуемые режимы работы рабочих элементов молотильно-сепарирующего устройства, осуществляющего дифференцированный обмолот основных зернобобовых культур (гороха и сои) в условиях степной климатической зоны.

Материал и методы. Разработанная систематизация способов и оборудования для обмолота зернобобовых культур [7] позволила установить наиболее целесообразный тип устройства для получения продукции целевого назначения, в котором доминирует перетирающее воздействие в сочетании с ударным. Отмечена эффективность применения аксиально-роторной молотилки с бичами в сочетании с упруго-демпфирующими рабочими органами и решетчатым коническим подбарабаньем, имеющим переменное «живое» сечение проходových отверстий по длине.

Данные о процессе обмолота сельскохозяйственных культур, а также успешный опыт многолетних исследований авторов [8, 9, 10, 11, 12] указывают на перспективность аксиальных молотильно-сепарирующих устройств (МСУ) в плане повышения производительности и качества технологического процесса. Тем не менее,

их широкое внедрение ограничено высокой энергозатратностью обмолота. По выводу В. П. Горячкина [13, стр. 133], «...наиболее выгодным является тип барабана МСУ, который должен располагать, возможно, малым моментом инерции I , обеспечивающим оптимальное ускорение E , при возможно большей приведенной массе его, т. е.

$$M = \frac{I}{r_{cp}^2}, \quad (1)$$

где r_{cp} – значение радиуса аксиального ротора в среднем по его длине сечения, что соответствует барабану с малым диаметром».

Благодаря значительному моменту инерции ротора удастся нивелировать воздействие быстро меняющихся помех на молотильный аппарат. Эти помехи возникают из-за колебаний в объеме поступающего на обмолот материала, его характеристик и качества. Таким образом обеспечивается стабильность функционирования МСУ и создаются условия для более точного и дифференцированного с учетом реального более естественного состояния и свойств обмолачиваемого материала.

Процесс обмолота конусными аппаратами, с точки зрения математического описания, в принципе не отличается от обычной схемы. Молотильный барабан (ротор) обмолачивает семена под действием скользящего ударного воздействия в зоне обмолота, сил трения и центробежных сил, когда растительная масса проходит в молотильной камере между рабочими элементами вальцов ротора и подбарабаньем. При этом рифленый бич планетарного вальца сообщает вороху поступательное движение в то время, как под действием барабана растительная масса вращается и перемещается по спирали, обеспечивая своевременное выделение семян из зоны обмолота.

Экспериментальные исследования проводили с 2015 по 2025 год с использованием стандартного и специального оборудования. В ФГБОУ ВО «Луганский государственный аграрный университет имени К. Е. Ворошилова» на кафедре «Технический сервис в АПК» разработано экспериментальное МСУ планетарного типа с осевой подачей материала при обмолоте [14]. Схема устройства представлена на рисунке 1.

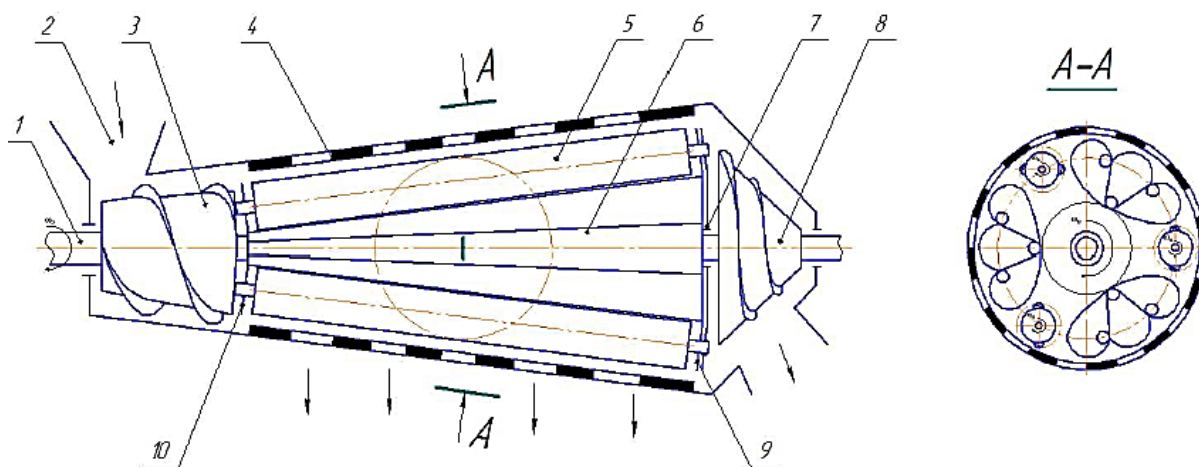


Рис. 1. Схема молотильно-сепарирующего устройства: 1 – опорно-приводной вал аксиального ротора; 2 – загрузочная воронка; 3 – шнек-питатель; 4 – коническое решетчатое подбарабанье; 5 – планетарный валец с бичами; 6 – упругодемпфирующий рабочий орган; 7 – планетарный привод; 8 – ворохоотводящий шнек; 9 и 10 – диски-водители с подшипниками /

Fig. 1. Scheme of the threshing and separating device: 1 – support and drive shaft of the axial rotor; 2 – loading hopper; 3 – auger feeder; 4 – conical lattice concave; 5 – planetary roller with flails; 6 – elastic-damping working element; 7 – planetary drive; 8 – waste-removal auger; 9 and 10 – disc carriers with bearings

Молотильный барабан представляет собой опорно-приводной вал 1 с закрепленным на нем шнеком-питателем 3 и жестко закрепленными на нем двумя фасонными дисками 9 и 10 в промежутках, между которыми на подшипниках установлены с наклоном около 8° цилиндрические планетарные вальцы 5, с жестко

закрепленными на них диаметрально противоположно рифлеными бичами. В промежутках между вальцами и фасонными дисками по длине ротора закреплены упругодемпфирующие рабочие органы 6, выполненные в форме петель или лопаток. На выходе на валу 1 установлены планетарный привод 7 и ворохоотводящий

шнек 8. Барабан смонтирован в средней части конического прутково-планчатого решета подбарабана 4, к которому крепится загрузочная воронка 2 для обмолачиваемого материала.

Для обеспечения захватывающей способности и перемещения растительной массы в молотильном зазоре на планетарных вальцах закреплены серийные односторонние бичи

с углом наклона в направлении вращения $3...5^\circ$, профиль бичевой ребристый левый.

Результаты и их обсуждение. На рисунке 2 показаны направления скоростей зернобобовой массы и элементов ротора на входе в молотильную камеру при осевой подаче стеблей со стороны меньшего основания усеченного конуса молотильного аппарата.

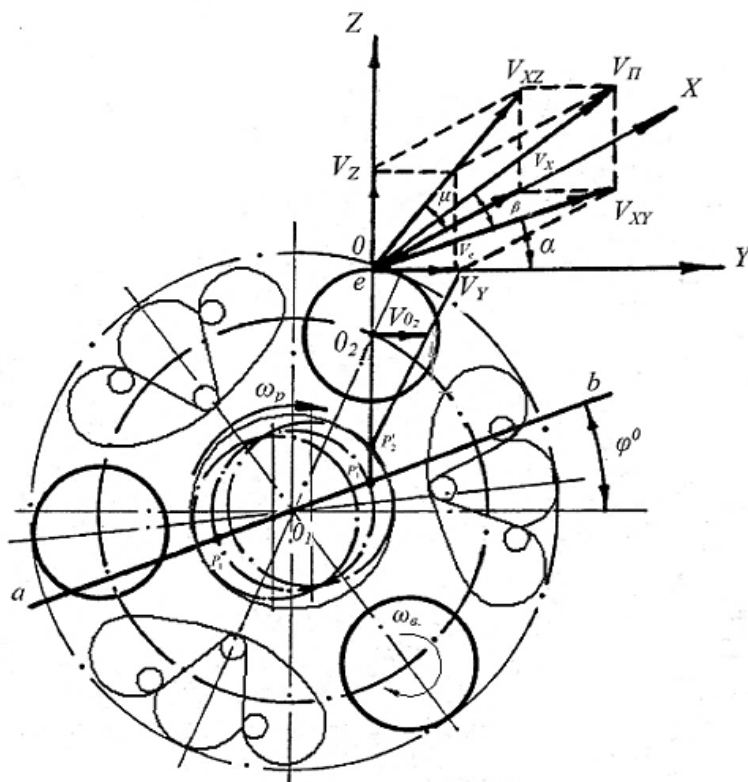


Рис. 2. Кинематическое обоснование молотильно-сепарирующего устройства /
Fig. 2. Kinetic justification of the threshing and separating device

Подача зернобобовой массы на обмолот осуществляется шнеком-питателем со скоростью V_{Π} под углом β к горизонтальной плоскости XOY , а проекция этой скорости V_{XY} на эту же плоскость составляет угол α с осью OY .

Тогда проекцию скорости подачи на ось OY можно представить зависимостью:

$$V_y = V_{\Pi} \cdot \cos\beta \cdot \cos\alpha, \quad (2)$$

а вероятность попадания бича по зернам на входе в молотильную камеру будет иметь вид:

$$P_n = 1 - \frac{V_{\Pi} \cos\beta \cdot \cos\alpha}{V_{ei}}, \quad (3)$$

где V_{ei} – скорость в точке «е» рифа бича планетарного вальца в сложном его движении, м/с.

Из уравнения (3) следует, что вероятность попадания максимальна в том случае, когда углы β и α равны 90° . Но в этом случае ротор не будет обладать захватывающей

способностью и эти условия не приемлемы с точки зрения снижения травмирования семян при обмолоте.

Направление оси OX совпадает с направлением вращения ротора. Оси OZ и OY расположены в плоскости вращения усеченного конуса малого диаметра планетарного ротора; X – координаты точки поступления бобовой массы по длине ротора при обмолоте; μ – угол наклона образующей конуса к оси вращения.

В зависимости от вида и состояния обмолачиваемой зернобобовой культуры принимаются различные сочетания направлений и значений скоростей вращения всего ротора и его валцов. Эти сочетания такие, чтобы стебли в рабочей щели перемещались к выходу со скоростью, достаточной для получения высокой производительности устройства и хорошего вымолота семян с более лучшим

качеством, учитывая условия степной климатической зоны.

Для определения кинематического режима аксиального ротора применим принцип обращенного движения [15], при котором при неподвижном решетчатом подбарабанье ротор и его вальцы вращаются относительно соответствующих мгновенных центров P'_1 и P'_2 (рис. 2), причем для обмолота зернобобовых культур направления вращения приняты такими, как показано на рисунке, т. е. совпадают.

Примем, что $\theta_1, \theta_2, r_1, r_2, \omega_p, \omega_g$ – центры, радиусы окружности и угловые скорости вращения ротора и планетарных вальцов; φ – угол трения по стали материала, поступающего на обмолот, $\varphi = 20...40^\circ$ в зависимости от влажности; ω_{P1} и ω_{P2} – угловые скорости ротора и его вальцов относительно соответствующих мгновенных центров P'_1 и P'_2 в обращенном движении; ρ_2 – расстояние между центром вальца θ_2 и мгновенным центром P'_2 его вращения в обращенном движении; V_{θ_2} – скорость центра вальца относительно поверхности решетчатого подбоя в обращенном движении; r_∂ – радиус подбарабанья в зоне обмолота, $r_\partial = r_1 + r_2 + \Delta_{cp.}$, где $\Delta_{cp.}$ – среднее значение молотильного зазора между ротором и подбарабаньем.

Переменное значение скорости обмолота по длине аксиального ротора определяется зависимостью:

$$V_{ei} = (\rho_2 + r_2 + x \cdot tg\mu) \cdot \omega_{P2}, \quad (4)$$

где x – координата точки поступления зернобобовой массы при ее перемещении в молотильном зазоре вдоль ротора.

Рациональное соотношение угловых скоростей ротора ω_p и его вальцов ω_g для среднего сечения конического аксиального ротора, обеспечивающее осевое перемещение зернобобовой массы в молотильном зазоре, определяется уравнением:

$$V_{e.cp.} = \sqrt{(r_1 \cdot \omega_p)^2 + V_n^2 - 2 \cdot r_1 \cdot \omega_p \cdot V_n \cdot \sin\beta} + (\omega_p + \omega_g) \cdot r_2, \quad (5)$$

где $V_{e.cp.}$ – скорость точки «e» бича планетарного вальца в среднем сечении, что соответствует рекомендуемой скорости выделения семян с наименьшими повреждениями, м/с; V_n – начальная скорость зернобобовой массы, м/с; β – угол, обусловленный захватом и направлением движения обмолачиваемой массы, град. ω_p – угловая скорость вальцов в обращенном движении, c^{-1} .

Угловая скорость планетарных вальцов в обращенном движении определяется выражением:

$$\omega_{P2} = \sqrt{\omega_p^2 + \omega_g^2 - 2\omega_p^2 - 2\omega_g^2 \cdot \cos\mu}, \quad (6)$$

где ω_p и ω_g – соответственно угловые скорости ротора и вальцов, c^{-1} .

Интервалы изменения скорости обмолота V_e по длине ротора L_p для гороха и сои представлены на рисунке 3.

Начальная скорость движения растительной массы на входе в молотильную камеру определена расчетом в соответствии с конструктивными особенностями двухзаходового шнека-питателя с углом $\beta = 18...24^\circ$, проверена экспериментально и составляет:

$$V_n = (0,038 \dots 0,043) \cdot \omega_p, \text{ м/с.} \quad (7)$$

Подставив значения конструктивных параметров изготовленной модели молотильно-сепарирующего устройства, а именно, радиус ротора в среднем сечении – $r_1 = 0,235$ м, радиус вальца по концам рифов бичей – $r_2 = 0,068$ м, показатели начальной скорости для гороха и сои в уравнение (7), при угле трения $\varphi = 20...40^\circ$, в зависимости от влажности, количество вальцов равно – 3 при длине ротора – 0,800 м и длине подбарабанья 0,816 м с углом охвата 360° и площадью сепарации 1,26 м², величины зазора на входе 24 мм в зону обмолота и выходе из нее – 6 мм в уравнение (5) и, выполнив соответствующие преобразования, получим его в следующем виде:

При обмолоте гороха $V_{e.cp.} = 16,1$ м/с, рекомендуемое соотношение угловых скоростей вращения аксиального ротора ω_p и вальцов ω_g :

$$16,1 = 0,225\omega_p + 0,081\omega_g \text{ или} \quad (8)$$

$$\frac{\omega_p}{71} + \frac{\omega_g}{189} = 1, c^{-1}. \quad (9)$$

При обмолоте сои $V_{e.cp.} = 17,5$ м/с, рекомендуемое соотношение угловых скоростей вращения аксиального ротора ω_p и вальцов ω_g :

$$17,5 = 0,228\omega_p + 0,088\omega_g \text{ или} \quad (10)$$

$$\frac{\omega_p}{78} + \frac{\omega_g}{206} = 1, c^{-1}. \quad (11)$$

Частота вращения ротора определяется зависимостью:

$$n_p = \frac{30\omega_p}{\pi}, \text{ мин}^{-1}. \quad (12)$$

Частота вращения вальцов определяется зависимостью:

$$n_g = \frac{30\omega_g}{\pi}, \text{ мин}^{-1}. \quad (13)$$

Средняя скорость стеблей в молотильном зазоре под воздействием рифленых бичей для исследуемого молотильно-сепарирующего устройства составит:

$$(0,035 \dots 0,040) \cdot V_{ei}. \quad (14)$$

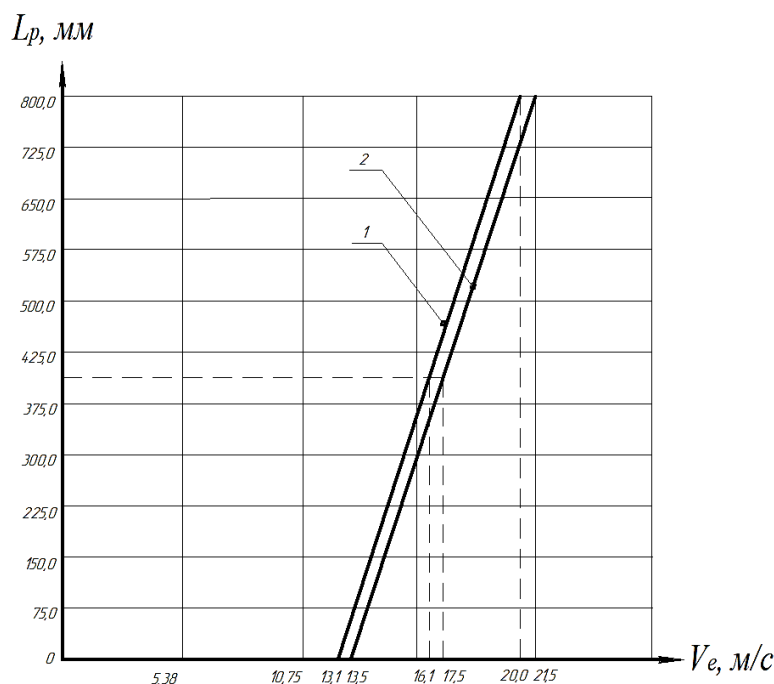


Рис. 3. Интервалы изменения скорости обмолота V_e по длине ротора L_p для гороха (1), для сои (2) /
Fig. 3. Intervals of change in threshing speed V_e along the rotor length L_p for peas (1), for soybeans (2)

Таким образом, нами определены рациональные рекомендуемые режимы работы рабочих элементов молотильно-сепарирующего устройства, осуществляющего дифференцированный обмолот гороха и сои, с количеством планетарных валцов – не менее трех, с диаметрально-расположенными на них бичами. Рациональное соотношение скоростей вращения ротора и валцов позволяет определить режимы их вращения равные при оборотах ротора $n_p = 450 \text{ мин}^{-1}$, обороты валцов для гороха $n_v = 610 \text{ мин}^{-1}$, для сои – $n_v = 780 \text{ мин}^{-1}$. Что соответствует дифференцированному изменению скорости обмолота для гороха в интервале 13,1...20,0 м/с, для сои – 13,5...21,5 м/с, производительность – до 3,2 кг/с; недомолот – 1,09 % при обмолоте гороха и 1,26 % при обмолоте сои; дробление семян 0,68 % при обмолоте гороха и 1,29 % при обмолоте сои, качество работы соответствует агротехническим требованиям при минимальной энергоёмкости процесса, равной соответственно 4,86 и 6,09 кДж/кг для гороха и сои [16].

Выводы. 1. На основании выполненного исследования намечено направление модернизации молотильных агрегатов с целью улучшения эффективности вымолачивания и отделения семян с учетом физико-механических характеристик, позволяющих расширить зону влияния использования принципа дифференцированного обмолота зернобобовых и других сельскохо-

зяйственных культур в направлении получения сельскохозяйственной продукции целевого назначения – семенное, продовольственное, фуражное и т. п.

2. Исследуемое молотильно-сепарирующее устройство обеспечивает переменный скоростной режим работы ротора, позволяет управлять процессом обмолота изменением интенсивности сепарации зерна, продолжительности и числа воздействий в зависимости от физико-механических свойств растений в перспективе путем активизации подбарабана, приданием ему колебательного или вращательного движения.

3. Полевая апробация исследуемого молотильно-сепарирующего устройства при сравнительных испытаниях показала высокое качество обмолоченных семян, отвечающего агротехническим требованиям на обмолот зернобобовых культур. При этом устройство менее чувствительно к неравномерности подачи.

4. Разработанная конструкция молотильно-сепарирующего устройства, а также предложенная методика инженерного расчета рациональных параметров обеспечивает дифференцированное изменение скорости обмолота для гороха в интервале 13,1...20,0 м/с, для сои – 13,5...21,5 м/с, производительность – до 3,2 кг/с; недомолот – 1,09 % при обмолоте гороха и 1,26 % при обмолоте сои; дробление семян 0,68 % при обмолоте гороха и 1,29 % – при обмолоте сои, качество работы соответствует агротехническим

требованиям при минимальной энергоемкости и сои. Результаты теоретических исследований процесса равной 4,86 и 6,09 кДж/кг для гороха подтверждены экспериментально.

Список литературы

1. Зотиков В. И., Полухин А. А., Грядунова Д. Н. Развитие инновационных технологий в растениеводстве на основе селекционных достижений. *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2023;(2(46)):5–9. DOI: <https://doi.org/10.24412/2309-348X-2023-2-5-9> EDN: GGAMMB
2. Ушаков Д. А., Маслов Г. Г. Перспективная система механизации возделывания полевых культур. *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. 2020;(158):54–67. DOI: <https://doi.org/10.21515/1990-4665-158-005> EDN RWZIWZ
3. Maslov G. G., Yudina E. M., Ushakov D. A., Samurganov G. E. Design and technological aspects of spiked cereal combine stripping. *E3s web of conferences*. Krasnodar, Russia: EDP Sciences, 2021. Vol. 285. P. 07001. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128507001>
4. Оробинский В. И., Ворохобин А. В., Корнев А. С., Головин А. Д., Бачурин И. Г., Пожидаев И. А. Влияние фракционного состава зернового вороха на уровень травмирования и посевные качества семян. *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. 2021;14(3):12–17. DOI: https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2021_3_12 EDN: YCNSXI
5. Присяжная И. М., Присяжная С. П. Разработка технологии уборки сои комбайном двухфазного обмолота для получения семян в условиях Амурской области. *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2023;(6):107–112. DOI: <https://doi.org/10.31857/2500-2082/2023/6/107-112> EDN: WRIURW
6. Присяжная И. М., Присяжная С. П. Исследование процесса обмолота, сепарации и механического повреждения зерна сои по длине молотилки комбайна двухфазного обмолота. *Агронаука*. 2023;1(4):78–88. DOI: <https://doi.org/10.24412/2949-2211-1-4-78-88> EDN: KZJYKW
7. Ермак В. П., Колесников А. В. Классификация способов обмолота и анализ конструкций молотилок зернобобовых культур. *Научный вестник Луганского национального аграрного университета. Серия: Технические науки*. 2012;(41):83–90.
8. Пляка В. И., Алдошин Н. В., Панов А. И., Сергеева Н. А. Совершенствование аксиально-роторных молотильно-сепарирующих устройств. *Агроинженерия*. 2022;24(4):16–21. DOI: <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-4-16-21> EDN: FZBOML
9. Гиевский А. М., Чернышов А. В., Маслов Д. Л., Мильгунов В. Ю. Обоснование режима работы молотильно-сепарирующего устройства комбайна при уборке сои. *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. 2019;12(1(60)):50–56. DOI: <https://doi.org/10.17238/issn2071-2243.2019.1.50> EDN: HUNLJC
10. Гиевский А. М., Оробинский В. И., Чернышов А. В., Баскаков И. В., Дружинин Р. А. Обоснование выбора типа комбайна для уборки посевов сои на кормовые и семенные цели. *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. 2022;15(1(72)):12–22. DOI: https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2022_1_12 EDN: HXVAOH
11. Чаплыгин М. Е., Жалнин Э. В. Комплексная оценка эффективности работы современных зерноуборочных комбайнов в условиях южного региона России. *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2024;18(2):47–54. DOI: <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2024-18-2-47-54> EDN: SOKFZO
12. Жалнин Э. В., Чаплыгин М. Е. Совершенствование конструкции зерноуборочных комбайнов путем гармонизации их базовых технических параметров. *Инженерные технологии и системы*. 2023;33(3):403–416. DOI: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.033.202303.403-416> EDN: HQCPHM
13. Мацелуро М. Е. Творческое применение академика В. П. Горячкина в научных исследованиях по механизации сельского хозяйства. Минск: Издательство Академии наук БССР, 1956. 208 с.
14. Чеботарев М. И., Колесников В. А., Колесников А. В. Молотильный барабан: пат. № 2774848 Российская Федерация. № 2021117594: заявл. 15.06.21; опубл. 23.06.2022. Бюл. № 18. 6 с. Режим доступа: https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet
15. Колесников В. А., Колесников А. В. Молотильно-сепарирующее устройство для обмолота зернобобовых культур. *Промышленность и сельское хозяйство*. 2024;(13(78)):29–32.
16. Ермак В. П., Колесников В. А., Колесников А. В. Обоснование оптимальных параметров молотильно-сепарирующего устройства дифференцированного обмолота зернобобовых культур. *Вестник Донского государственного аграрного университета*. 2016;(1-1):51–60. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25940950> EDN: VVRHWL

References

1. Zotikov V. I., Polukhin A. A., Gryadunova D. N. Development of innovative technologies in crop production based on breeding achievements. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury* = Legumes and Groat Crops. 2023;(2(46)):5–9. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/2309-348X-2023-2-5-9>
2. Ushakov D. A., Maslov G. G. Perspective system for mechanization of field crops cultivation. *Politematicheskii setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Polythematic online scientific journal of Kuban State Agrarian University. 2020;(158):54–67. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21515/1990-4665-158-005>
3. Maslov G. G., Yudina E. M., Ushakov D. A., Samurganov G. E. Design and technological aspects of spiked cereal combine stripping. *E3s web of conferences*. Krasnodar, Russia: EDP Sciences, 2021. Vol. 285. P. 07001. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128507001>

4. Orobinskiy V. I., Vorokhobin A. V., Kornev A. S., Golovin A. D., Bachurin I. G., Pozhidaev I. A. Fraction composition of the grain heap and its influence on the level of grain damage and sowing qualities of seeds. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Vestnik of Voronezh state agrarian university. 2021;14(3):12–17. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2021_3_12
5. Prisyazhnaya I. M., Prisyazhnaya S. P. Development of technology for harvesting soybeans using a two-phase threshing combine to obtain seeds in the conditions of the Amur region. *Vestnik Rossiyskoy sel'skokhozyaystvennoy nauki* = Vestnik of the Russian agricultural science. 2023;(6):107–112. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/2500-2082/2023/6/107-112>
6. Prisyazhnaya I. M., Prisyazhnaya S. P. Research of the process of threshing, separation and mechanical damage of soybean grain along the length of the threshing machine of a two-phase threshing combine. *Agronauka*. 2023;1(4):78–88. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/2949-2211-1-4-78-88>
7. Ermak V. P., Kolesnikov A. V. Classification of threshing methods and analysis of designs of threshing machines for leguminous crops. *Nauchnyy vestnik Luganskogo natsional'nogo agrarnogo universiteta. Seriya: Tekhnicheskie nauki* = Scientific Bulletin of the State Educational Institution of the LPR "Luhansk National Agrarian University. Technical Sciences. 2012;(41):83–90. (In Russ.).
8. Plyaka V. I., Aldoshin N. V., Panov A. I., Sergeeva N. A. Improving axial-flow threshing-and-separating units. *Agroinzheneriya* = Agricultural Engineering (Moscow). 2022;24(4):16–21. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-4-16-21>
9. Gievskiy A. M., Chernyshov A. V., Maslov D. L., Milgunov V. Yu. Provision of a rationale for the mode of operation of the threshing and separating device of the combine at soybean harvesting. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Vestnik of Voronezh state agrarian university. 2019;12(1(60)):50–56. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17238/issn2071-2243.2019.1.50>
10. Gievskiy A. M., Orobinskiy V. I., Chernyshov A. V., Baskakov I. V., Druzhinin R. A. Rationale for choosing combine harvester type for harvesting soybean crops for feed and seed purposes. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Vestnik of Voronezh state agrarian university. 2022;15(1(72)):12–22. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2022_1_12
11. Chaplygin M. E., Zhalnin E. V. Comprehensive evaluation of modern combine harvester performance in Southern Russia. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii* = Agricultural Machinery and Technologies. 2024;18(2):47–54. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2024-18-2-47-54>
12. Zhalnin E. V., Chaplygin M. E. Improving the design of combine harvesters by harmonizing their basic technical parameters. *Inzhenernyye tekhnologii i sistemy* = Engineering Technologies and Systems. 2023;33(3):403–416. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.033.202303.403-416>
13. Matsepuro M. E. The creative application of academician V. P. Goryachkin in scientific research on agricultural mechanization. Minsk: *Izdatel'stvo Akademii nauk BSSR*, 1956. 208 p.
14. Chebotarev M. I., Kolesnikov V. A., Kolesnikov A. V. Threshing drum: Patent RF, no. 2774848, 2022. URL: https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet
15. Kolesnikov V. A., Kolesnikov A. V. Threshing and separating device for threshing leguminous crops. *Promyshlennost' i sel'skoe khozyaystvo* = Industry and Agriculture. 2024;(13(78)):29–32. (In Russ.).
16. Ermak V. P., Kolesnikov V. A., Kolesnikov A. V. Substantiation of optimum parameters of the threshing-separating device for differentiated threshing legumes. *Vestnik Donskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Vestnik of Don State Agrarian University. 2016;(1-1):51–60. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25940950>

Сведения об авторах

Годжаев Захид Адыгезалович, доктор техн. наук, профессор, член-корреспондент РАН, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», 1-й Институтский проезд, дом 5, г. Москва, Российская Федерация, 109428, e-mail: vim@vim.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1665-3730>

✉ **Колесников Алексей Владимирович**, старший преподаватель, ФГБОУ ВО «Луганский государственный аграрный университет имени К. Е. Ворошилова», д. 1, тер. ЛНАУ, р-н Артёмовский, г. о. Луганский, г. Луганск, Луганская Народная Республика, Российская Федерация, 291008, e-mail: rector@lnau.su, ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-2492-3307>, e-mail: xaxvxx@gmail.com

Information about the authors

Zakhid A. Godzhaev, DSc in Engineering, professor, corresponding member of RAS, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 1st Institutskiy proezd, 5, Moscow, Russian Federation, 109428, e-mail: vim@vim.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1665-3730>

✉ **Aleksey V. Kolesnikov**, senior lecturer, Luhansk Voroshilov State Agricultural University, ter. LNAU, Building 1, Lugansk, LPR, Russian Federation, 291008, e-mail: rector@lnau.su, ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-2492-3307>, e-mail: xaxvxx@gmail.com

✉ – Для контактов / Corresponding author