



Результаты камеральных работ уборки белого люпина очесывающей жаткой с гребенками для крупносемянных культур

Н. В. Алдошин¹, М. А. Мосяков^{2*}

¹ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» (г. Москва, Россия)

²ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (г. Москва, Россия)

*maks.mosyakov@yandex.ru

Введение. Сельскохозяйственные машины и устройства, применяемые в уборке белого люпина, не обеспечивают полноту сбора семян, что приводит к нарушению агротехнических требований, предъявляемых к уборке зернобобовых культур. Необходимо поиск новых технологических и технических решений, позволяющих уменьшить потери семян во время этого процесса. Наиболее перспективным вариантом решения проблемы уборки белого люпина видится применение индустриально-поточной технологии совместно с совершенствованием способа очеса растений на корню очесывающей жаткой.

Материалы и методы. В статье представлена конструкция лабораторной установки с экспериментальными рабочими органами, позволяющая моделировать процесс уборки белого люпина способом отделения семенной части растений на поле. Обоснование параметров и режимов работы очесывающей жатки с гребенками для крупносемянных культур выполнено эмпирическим методом посредством использования теории многофакторного эксперимента. Представлен алгоритм выполнения и результаты экспериментальных исследований по определению полноты сбора семян.

Результаты исследования. Приведены результаты камеральных исследований очесывающей жатки с гребенками для крупносемянных культур по определению качественных показателей полноты сбора семян белого люпина. Определено, что максимальная полнота сбора семян составляет 99,5 %.

Обсуждение и заключение. При исследовании технологического процесса уборки семян белого люпина сорта «Дега» очесывающей жаткой с гребенками для крупносемянных культур в камеральных условиях были экспериментально изучены физико-механические свойства растений, уточнены их морфологические признаки, определены режимно-технологические параметры очесывающей жатки, позволяющие обеспечить потери семян в пределах агротехнических требований (0,5 %).

Ключевые слова: белый люпин, очесывающая жатка, полнота сбора семян, качество уборки, потери

Для цитирования: Алдошин, Н. В. Результаты камеральных работ уборки белого люпина очесывающей жаткой с гребенками для крупносемянных культур / Н. В. Алдошин, М. А. Мосяков. – DOI 10.15507/2658-4123.030.202003.377-393 // Инженерные технологии и системы. – 2020. – Т. 30, № 3. – С. 377–393.

© Алдошин Н. В., Мосяков М. А., 2020



Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

The Results of the Laboratory Studies of Harvesting the White Lupine by a Stripper Header with Fingers for Large Seed Crops

N. V. Aldoshin^a, M. A. Mosyakov^{b*}

^aRussian Timiryazev State Agrarian University (Moscow, Russia)

^bFederal Scientific Agroengineering Center VIM (Moscow, Russia)

*maks.mosyakov@yandex.ru

Introduction. Agricultural machinery and devices used for harvesting white lupines do not provide a complete collection of seeds, which leads to the violation of agricultural requirements for the harvesting of leguminous crops. It is necessary to find new technological and technical solutions to reduce losses of seeds during this process. The most perspective solution to the problem of white lupine harvesting is the application of industrial flow line technology together with the improvement of the method to comb standing plants by a stripper header.

Materials and Methods. The article presents the design of a laboratory setup with experimental working bodies, which allows simulating the process of harvesting white lupines by separating the seed part of plants in the field. The empirical method based on the theory of multi-factor experiment was used to substantiate the parameters and operating modes of the stripper header with fingers for large seed crops. The algorithm and results of experimental studies to determine the completeness of seed collection are presented.

Results. The results of the laboratory studies of the stripper header with fingers for large-seeded crops to determine the qualitative indicators for the completeness of the collection of white lupine seeds are presented. It is determined that the maximum completeness of seed collection is 99.5%.

Discussion and Conclusion. In studying the technological process of harvesting white De-gas lupine seeds by a combing header with fingers for large-seeded crops under laboratory conditions, the physical and mechanical properties of plants were experimentally studied, their morphological characteristics were clarified, and the regimen-technological parameters of the harvesting header were determined to ensure seed loss within agrotechnical requirements (0.5%).

Keywords: white lupine, stripping header, completeness of seed collection, quality of harvesting, loss

For citation: Aldoshin N.V., Mosyakov M.A. The Results of the Laboratory Studies of Harvesting the White Lupine by a Stripper Header with Fingers for Large Seed Crops. *Inzhenernyye tekhnologii i sistemy* = Engineering Technologies and Systems. 2020; 30(3):377-393. DOI: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.030.202003.377-393>

Введение

Современные комплексы машин, применяемые на уборке белого люпина, не в полной мере соответствуют требованиям, предъявляемым товаропроизводителями к сельскохозяйственной продукции. С целью обеспечения качественных показателей работы машинно-технологических комплексов и адаптеров для уборки сельскохозяйственных культур необходима разработка с дальнейшим внедрением передовых технологий, способов и тех-

нических решений в технологический процесс уборки сельскохозяйственных культур [1; 2].

Индустриально-поточная технология позволяет с помощью навешиваемого адаптера машинно-технологического комплекса производить сбор массы, качественный состав которой представлен не более 20 % необмолоченных семян.

Данный способ позволяет уменьшить энергоемкость проведения уборочных работ, что обусловлено сниже-

нием поступления обрабатываемого вороха на технологические модули очистки зерноуборочного комбайна, следовательно, способствует снижению времени проведения уборочных работ, амортизации машинно-технологических комплексов и приводит к снижению себестоимости товарной продукции зернобобовых культур [3–5].

Результаты аналитических и эмпирических исследований А. И. Бурьянова, М. А. Бурьянова, Э. В. Жалнина, О. В. Моисеенко, Р. А. Ростовцева, Е. И. Трубилина, П. И. Чуксина, П. А. Шабанова и других позволили выявить зависимость потерь и повреждений семян убираемых культур от параметров конструкции рабочих органов на очесывающем роторе [6; 7]. При этом эффективность работы устройства будет зависеть от типа и конструкции рабочих органов их технических характеристик.

Коллективом научно-технических и инженерных работников научно-исследовательских, проектных, образовательных учреждений, а также представителями производственных объединений, занимающихся проблемами уборки зернобобовых культур, разработаны научно-методические рекомендации, технологические принципы и технические решения повышения качества уборки с учетом биологических особенностей исследуемой сельскохозяйственной культуры [8; 9].

Целью проведения исследований является повышение полноты сбора семян белого люпина методом очеса растений на корню использованием машинно-технологического комплекса,

оснащенного теоретически обоснованным адаптером с гребенками для крупносемянных культур.

Обзор литературы

Патентный анализ конструкций существующих рабочих органов адаптеров для очеса растений на корню, применяемых в индустриально-поточной технологии производства сельскохозяйственных культур, позволяет определить ряд недостатков, которые не позволяют в полной мере обеспечить показатели качества уборки белого люпина.

Известна съёмная гребенка барабана очесывающего оборудования (патент на изобретение № 2442313), устанавливаемая на серийных очесывающих жатках фирмы ПАО «Пензмаш» (рис. 1) [10].

Рабочий орган представляет собой сегментарно расположенные пластины, профиль поперечного сечения которых представляет собой постоянство радиуса кривизны в каждой точке касательной.

Конструкция применяемых гребенок имеет недостаток, заключающийся в расположении ребер жесткости, которые непосредственно взаимодействуют с растением и тем самым травмируют семенную материал. В процессе работы стебли растений заклинивает между зубьями рабочих органов, что приводит к извлечению культурного растения из почвы без сохранения систем жизнеобеспечения в плодородном слое.

На очесывающих жатках ЖО-7 «ОЗОН» устанавливаются рабочие органы (рис 2), патент на изобретение № 2646054 [11].

Конструкция продольной плоскости



Р и с. 1. Рабочий орган очесывающей жатки «ОЗОН»
F i g. 1. Working body of the OZON stripping header



Р и с. 2. Рабочий орган – съемная гребенка очесывающего оборудования
F i g. 2. The working body is removable stripping fingers

профиля зуба гребенки представляет собой сужающуюся от вершины к середине зуба по его длине прорезь, продолжающуюся каналом, выполненным по тангенциальному закону.

Недостатком рассмотренной конструкции гребенки является прорезь, выполненная по тангенциальному закону. Из-за сложного движения стебля очесываемого растения по прорези происходит срез стручка у основания о кромки. Так в молотильно-сепарирующее устройство (МСУ) комбайна поступает масса, которую необходимо обмолачивать.

Известна очесывающая гребенка, устанавливаемая на серийной модели жатки Shelbourne Reynolds Engineering (рис. 3), у которой между рабочими поверхностями очесывающих элементов образуются технологические эллипсовидные отверстия, что способствует свободному протаскиванию очесываемого продукта и его стебля [12].

В представленной конструкции рабочего органа имеется серьезный

недостаток, обусловленный конструктивными параметрами эллипсовидных отверстий, превышающих минимальный диаметр поперечного сечения семенной коробки культурного растения, следовательно, данное обстоятельство не позволяет обеспечить сцепление семенной коробки с рабочим органом, что приводит к повышенным потерям товарной продукции. Кроме того, выделение семенного материала в данном случае обуславливается динамическим воздействием рабочего органа на него, что приводит к травмированию и повреждению семян.

Гребенки, применяемые на серийных очесывающих устройствах «Сибирь» (рис. 4), защищены патентом № 2439871 [13]. Технологический параметр между смежными рабочими элементами, на кромке которых выполнены углубления, позволяющие увеличить площадь контакта семенного материала, имеет увеличенный размер, что определяет повышенные потери семян в виде неполного очеса убираемой культуры в результате распределения



Р и с. 3. Рабочий орган очесывающего устройства Shelbourne Reynolds Engineering
F i g. 3. The working body of the Shelbourne Reynolds Engineering stripping device



Р и с. 4. Рабочий орган очесывающей жатки «Сибирь»

F i g. 4. The working body of the Siberia stripper header

стеблей и остатков семенной коробки культурного растения между рабочими элементами.

Очесывающая жатка «Славянка» содержит рабочие органы (рис. 5), выполняющие дополнительную функциональную потребность машинно-технологического комплекса при уборке полеглых хлебов, например подъем стеблестоя при выполнении очеса растений.

Конструкция очесывающих гребенок имеет недостаток: ребра жесткости находятся на рабочей поверхности зуба и при непосредственном взаимодействии с растением происходит травмирование и дробление семенного материала, кроме того, при продолжительной работе будет возникать забивание межзубового пространства стеблевой массой, тем самым увеличивая потери семян.

Проведенный анализ конструкций рабочих органов очесывающих устройств в России позволяет сделать вывод о том, что гребенки различных производителей жаток, выпускаемых серийно, не способны обеспечить полноту сбора семян белого люпина.

Материалы и методы

Исследования проводились в соответствии с методиками ГОСТа 20915-2011 и ГОСТа 28301-2015¹.

На базе ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» разработана и запатентована гребенка для крупносемянных культур, изображенная на рисунке 6 [15].

Параметры конструкции рабочего органа теоретически были определены: наклон зубьев гребенки относительно горизонтальной поверхности



Р и с. 5. Рабочий орган очесывающего устройства «Славянка»

F i g. 5. The working body of the Slavyanka stripper header

¹ ГОСТ 20915-2011. Испытания сельскохозяйственной техники. Методы определения условий испытаний; ГОСТ 28301-2015. Комбайны зерноуборочные. Методы испытаний.



Р и с. 6. Гребенка для крупносемянных культур:
1 – изогнутая пластина; 2 – рабочая поверхность; 3 – зуб
F i g. 6. Fingers for large seed crops: 1 – curved plate; 2 – working surface; 3 – finger

$\eta = 24^\circ$, длина зуба $l_3 = 0,072$ м, ширина зуба $b_3 = 0,021$ м и межзубовое расстояние $0,032$ м.

Для определения качественных показателей полноты сбора семян белого люпина очесывающей жаткой с гребенками для крупносемянных культур разработан лабораторный стенд, натурное изображение которого отражено на рисунке 7, а основные технические параметры представлены в таблице 1 [16; 17].

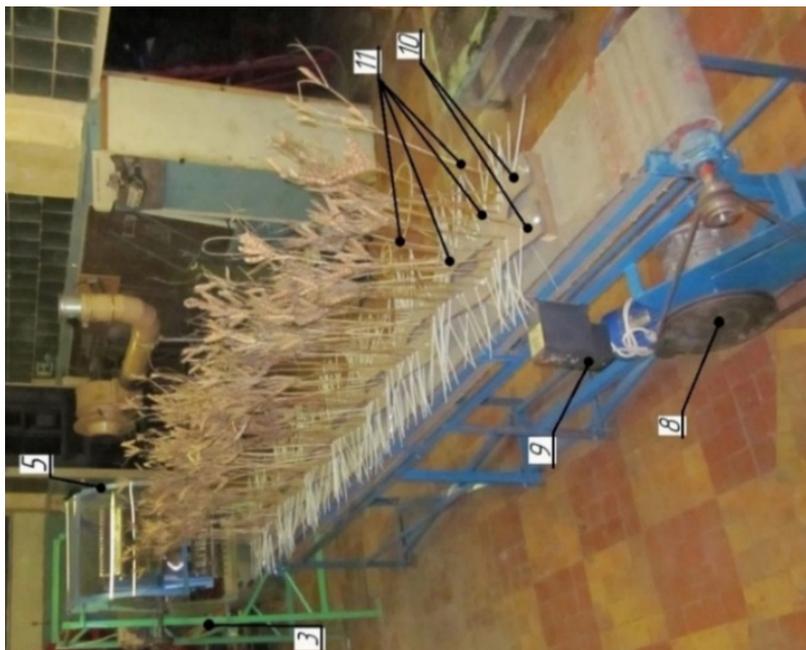
При проведении камеральных работ обрабатываемый материал 11 устанавливался в фиксаторе стеблестоя 10, закрепленном на подающем конвейере 7.

Движение конвейера 7 осуществлялось при помощи мотор-редуктора. Поступательная скорость движения транспортера 7 изменялась посредством варьирования частоты колебаний постоянного тока использованием преобразователя частоты 9, позволяющего изменять частоту вращения ведущего

Т а б л и ц а 1
T a b l e 1

Технические параметры лабораторной установки
Technical parameters of the laboratory installation

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Внешний радиус очесывающего ротора R , м / External radius of the stripping rotor R , m | 0,37 |
| Количество рядов гребенок z , шт / Number of the rows of the fingers z , pc | 8 |
| Регулирование угла установки рабочих органов ε , град / Regulation of the angle of installation of the working devices ε , gon | 0...180 |
| Частота вращения очесывающего ротора n , об/мин / The frequency of rotation of the stripping rotor n , r/min | 0...590 |
| Регулировка высоты очесывающего ротора H_p , м / Height adjustment of stripping rotor H_p , m | 0,8...1,8 |
| Регулировка установки угла обтекателя $\alpha_{об}$, град / Adjusting the setting of the angle of the fairing $\alpha_{об}$, gon | 0...45 |
| Длина транспортера-питателя («бегущее поле») L_T , м / Conveyor-feeder length (“running field”) L_T , m | 4,0 |
| Скорость поступательного движения «бегущего поля» V_T , м/с / The speed of the forward movement of the “running field” V_T , m/s | 0...2,5 |
| Количество рядов очесываемых растений, шт / Number of rows of stripped plants, pc | 2 |
| Регулировка высоты «бегущего поля», м / Height adjustment of “running field”, m | 0...0,1 |



Р и с. 7. Общий вид лабораторной установки для определения качественных показателей полноты сбора семян белого люпина очесывающим адаптером с гребенками для крупносемянных культур: 1 – адаптер очесывающий; 2 – привод очесывающий; 3 – блок управления адаптером; 4 – ротор; 5 – кожух; 6 – рабочие органы; 7 – конвейер; 8 – привод конвейера; 9 – блок управления конвейером; 10 – фиксатор стеблей; 11 – стеблестой; 12 – емкость для сбора семян

Fig. 7. General view of the laboratory setup for determining the quality indicators of the completeness of the collection of white lupine seeds with a combing adapter with combs for large seed crops: 1 – combing adapter; 2 – adapter drive; 3 – adapter control unit; 4 – rotor; 5 – a case; 6 – working bodies; 7 – conveyor; 8 – conveyor drive; 9 – conveyor control unit; 10 – stem clamp; 11 – stem; 12 – capacity for collecting seeds

вала транспортера 7, что обеспечивает изменение скорости движения конвейера 7 от минимального значения (0 м/с) до предельно допустимого (2,5 м/с) с шагом варьирования 0,25 м/с. Приборная база, используемая при камеральных исследованиях, представлена в таблице 2.

Перемещение обрабатываемого материала 11 к очесывающему адаптеру 1, представляющему собой ротор 4 с установленными рабочими элементами 6, осуществляется на ленте конвейера 7 [15].

Причем для исследования угла входа очесывающих элементов 6 в стеблестой угол наклона последних варьируется перемещением относительно оси вращения ротора 4.

Для выполнения технологического процесса камеральных исследований в качестве источника энергии использовали трехфазную сеть переменного электрического тока.

Силовая установка привода включает в себя электродвигатель и преобразователь частотный 3, позволяющий изменять частоту вращения вала электродвигателя в интервале от 0 до 500 мин⁻¹, контроль исследуемого параметра электродвигателя осуществлялся лазерным частотомером Speed.

При создании воздушного потока, обусловленного вращением ротора 4, фиксировался факт витания семян, для этого использовался прибор Testo 410-1.

При перемещении транспортера 7 с закрепленным обрабатываемым материалом 11 к адаптеру 1 происходит его взаимодействие с кожухом 5 очесывающего ротора 4, что способствует перемещению в направлении, противоположном движению конвейера 7, и повышению взаимодействия очесывающих элементов 6, окружное вертикальное перемещение которых влево направо на оси ротора 4 обеспечивает захват стеблестоя и направление его в технологический зазор, образованный рабочими поверхностями смежных очесывающих элементов 6.

В дальнейшем семена, поступившие в емкость для сбора семян 12, извлекались из нее, а на электронных весах определялась их масса.

Потери семян белого люпина определяли, используя формулу:

$$\sum q = \frac{U_{\phi}}{U_6} \cdot 100, \quad (1)$$

где U_6 – биологическая урожайность, ц/га; U_{ϕ} – фактическая урожайность (емкость для сбора семян), ц/га.

При определении качественных показателей работы лабораторной установки вычислялась полнота сбора семян (2):

$$q_{ж} = \frac{q}{U_6} \cdot 100 - \sum q_e, \quad (2)$$

Т а б л и ц а 2

Table 2

Приборы, используемые при проведении лабораторных исследований

Instruments used for laboratory studies

| Определяемый показатель / Indicator | Наименование приборов / Name of devices | Допускаемая погрешность измерения / Permissible measurement error |
|--------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| Скорость воздушного потока / Air speed | Анемометр с крыльчаткой Testo 410-1 / Impeller Anemometer Testo 410-1 | ±0,2 м/с |
| Продолжительность опыта / Experience duration | Секундомер ГОСТ 5072-79 / Stopwatch GOST 5072-79 | ±0,2 с |
| Частота вращения очесывающего ротора / Stripping rotor speed | Тахометр цифровой бесконтактный Speed / Digital non-contact tachometer Speed | ±0,02 % |

где q – потери семян и бобов в рамке, г; U_6 – биологическая урожайность, ц/га; $\sum q_e$ – естественные суммарные потери, %. Микроповреждения семян после взаимодействия с рабочими органами определялись по общеизвестной методике.

Перед проведением камеральных работ в 2015–2017 гг. были изучены морфологические признаки растений белого люпина в ООО «Экспериментальное хозяйство по селекции и семеноводству белого люпина» (Тамбовская обл.) при влажности растений 25 %, влажности семян 20 %.

Результаты исследования

Значимость исследуемого фактора, влияющего на полноту сбора семян белого люпина, определялась проведением серии отсеивающих экспериментов по определению конструктивно-технологических параметров и режимов работы устройства, обеспечивающих высокие качественные показатели работы.

Последующие исследования проводились в соответствии с планом эксперимента:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3.$$

Исследуемые факторы и интервалы их варьирования размещались по горизонтали, показатели качества работы были нанесены по вертикальной оси диаграммы отсеивающего эксперимента.

Наибольшее влияние каждого фактора определялось выделением наиболее значимых точек на диаграмме рассеивания, что позволило определить режимные и технологические параметры очесывающего устройства: x_1 – отношение окружной скорости ротора адаптера к поступательной скорости конвейера; x_2 – расстояние от рабочего органа адаптера в нижнем положении до поверхности конвейера, м; x_3 – рас-

стояние от нижней точки кожуха в месте контакта с растением до поверхности конвейера, м (табл. 3).

Результаты проведенных поисковых исследований отражают перспективность дальнейших исследований по повышению качества полноты сбора семян белого люпина.

После обработки данных многофакторного эксперимента на персональном компьютере с программным пакетом Statistica были получены значения функций отклика (полнота сбора семян) при варьировании факторов и получена адекватная математическая модель (4) зависимости потерь убираемой культуры за адаптером от определенных ранее факторов $K = f(\lambda, h_{ж}, h_0)$ в закодированном виде:

$$Y = 0,566 + 0,012x_1 + 0,025x_2 + 0,037x_3 - 0,108x_1^2 - 0,083x_2^2 - 0,058x_3^2 - 0,025x_1x_2 - 0,001x_1x_3 + 0,075x_2x_3. \quad (4)$$

Для получения действительного значения выбранного критерия оптимизации, характеризующего качество полноты сбора семян, выполним подстановку значений исследуемых факторов при своевременном их варьировании в указанном интервале значений: $x_1, x_2, x_3 = 0$.

$$\left\{ \begin{array}{l} x_1 = 0 : Y = 0,566 + 0,025x_2 + 0,037x_3 - 0,083x_2^2 - 0,058x_3^2 + 0,075x_2x_3, \\ x_2 = 0 : Y = 0,566 + 0,012x_1 + 0,037x_3 - 0,108x_1^2 - 0,058x_3^2 - 0,001x_1x_3, \\ x_3 = 0 : Y = 0,566 + 0,012x_1 + 0,025x_2 - 0,108x_1^2 - 0,083x_2^2 - 0,025x_1x_2. \end{array} \right. \quad (5)$$

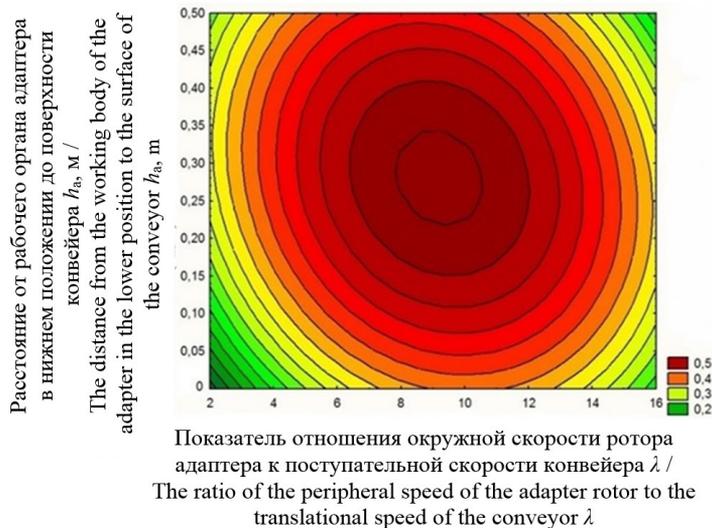
Т а б л и ц а 3
T a b l e 3

Матрица плана и уровня варьирования факторов
Plan matrix and level of variation of factors

| Обозначение / Designation | Факторы / Factors | | |
|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | Показатель отношения окружной скорости ротора адаптера к поступательной скорости конвейера λ / The ratio of the peripheral speed of the adapter rotor to the translational speed of the conveyor λ | Расстояние от рабочего органа адаптера в нижнем положении до поверхности конвейера h_a , м / The distance from the working body of the adapter in the lower position to the surface of the conveyor h_a , m | Расстояние от нижней точки кожуха в месте контакта с растением до поверхности конвейера h_0 , м / The distance from the lower point of the casing at the place of contact with the plant to the surface of the conveyor h_0 , m |
| | x_1 | x_2 | x_3 |
| 1 | 14 | 0,50 | 0,65 |
| 2 | 5 | 0,10 | 0,65 |
| 3 | 14 | 0,10 | 0,65 |
| 4 | 5 | 0,50 | 0,65 |
| 5 | 14 | 0,30 | 0,80 |
| 6 | 5 | 0,30 | 0,50 |
| 7 | 14 | 0,30 | 0,50 |
| 8 | 5 | 0,30 | 0,80 |
| 9 | 9 | 0,50 | 0,80 |
| 10 | 9 | 0,10 | 0,50 |
| 11 | 9 | 0,50 | 0,50 |
| 12 | 9 | 0,10 | 0,80 |
| 13 | 9 | 0,30 | 0,65 |
| 14 | 9 | 0,30 | 0,65 |
| 15 | 9 | 0,30 | 0,65 |

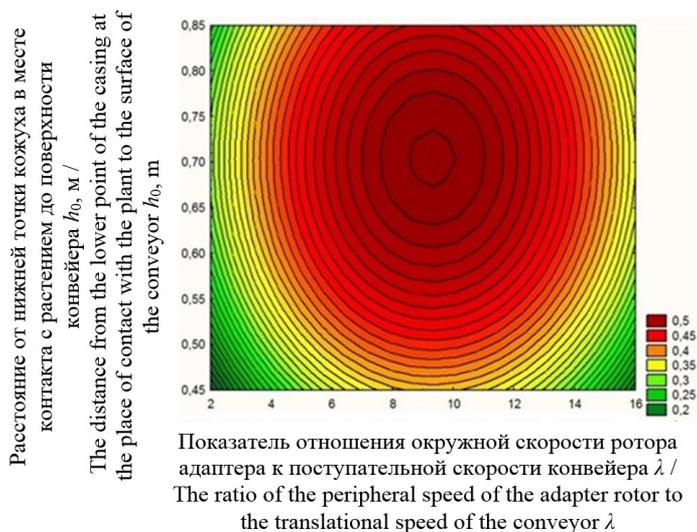
Решение системы дифференциальных уравнений (5) позволило определить оптимальное сочетание исследуемых параметров очесывающего устройства (табл. 4). На ос-

новании проведенных вычислений построены графические зависимости (рис. 8–10) влияния исследуемых параметров на выбранный критерий оптимизации.



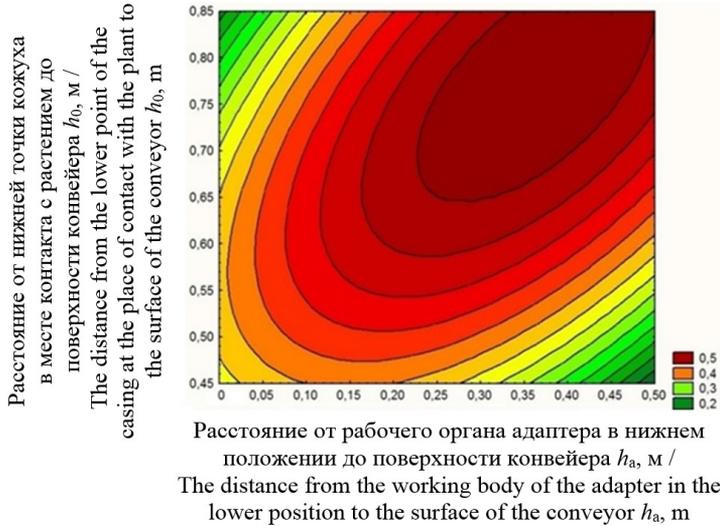
Р и с. 8. Двумерное сечение поверхности отклика, характеризующее зависимость полноты сбора семян белого люпина от отношения окружной скорости ротора адаптера к поступательной скорости конвейера λ и расстояния от рабочего органа адаптера в нижнем положении до поверхности конвейера h_0 , м

F i g. 8. Two-dimensional cross-section of the response surface characterizing the dependence of the completeness of the collection of white lupine seeds on the ratio of the peripheral speed of the adapter rotor to the translational speed of the conveyor λ and the distance from the working body of the adapter in the lower position to the surface of the conveyor h_0 , m



Р и с. 9. Двумерное сечение поверхности отклика, характеризующее зависимость полноты сбора семян белого люпина от отношения окружной скорости ротора адаптера к поступательной скорости конвейера λ и расстояния от нижней точки кожуха в месте контакта с растением до поверхности конвейера h_0 , м

F i g. 9. Two-dimensional cross-section of the response surface, characterizing the dependence of the completeness of collection of white lupine seeds on the ratio of the peripheral speed of the adapter rotor to the translational speed of the conveyor λ and the distance from the lower point of the casing at the point of contact with the plant to the conveyor surface h_0 , m



Р и с. 10. Двумерное сечение поверхности отклика, характеризующее зависимость полноты сбора семян белого люпина от расстояния от рабочего органа адаптера в нижнем положении до поверхности конвейера h_a , м, и расстояния от нижней точки кожуха в месте контакта с растением до поверхности конвейера h_0 , м

Fig. 10. Two-dimensional cross-section of the response surface characterizing the dependence of the completeness of the collection of white lupine seeds on the distance from the working body of the adapter in the lower position to the conveyor surface h_a , m, and the distance from the lower point of the casing at the point of contact with the plant to the conveyor surface h_0 , m

Таблица 4

Table 4

**Координаты центра поверхности отклика
Center coordinates of the response surface**

| Координаты исследуемых факторов / The coordinates of the studied factors | | Критерий оптимизации двумерных сечений / Optimization criterion for two-dimensional sections |
|-----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Закодированный вид / Encoded view | Раскодированный вид / Decoded view | |
| $x_2 = 0,414$ | $h_{ж} = 0,282$ м | $Y_s = 0,582$ |
| $x_3 = 0,582$ | $h_0 = 0,721$ м | |
| $x_1 = 0,054$ | $\lambda = 8,429$ м | $Y_s = 0,572$ |
| $x_3 = 0,336$ | $0 = 0,705$ м | |
| $x_1 = 0,038$ | $\lambda = 9,324$ м | $Y_s = 0,568$ |
| $x_2 = 0,151$ | $h_{ж} = 0,327$ м | |

Уравнение (5) с учетом значимости коэффициентов можно представить в следующем виде:

$$\begin{aligned}
 Y = & 2,777 + 0,192 \cdot \lambda - 2,308 \cdot h_{ж} - \\
 & -9,173 \cdot h_0 - 0,007 \cdot \lambda^2 + 3,333 \cdot h_{ж}^2 + \\
 & +7,037 \cdot h_0^2 + 0,025 \cdot \lambda \cdot h_{ж} - \\
 & -0,066 \cdot \lambda \cdot h_0 + 0,833 \cdot h_{ж} \cdot h_0. \quad (6)
 \end{aligned}$$

Коэффициент корреляции результатов камеральных работ с результатами полевых испытаний составляет 0,95 (табл. 5).

Результаты исследований и конструкторская документация на рабочие органы были переданы на завод ПАО «Пензмаш», производственное объединение «Энергоспецтехника»

Процессы и машины агроинженерных систем

Интервалы варьирования факторов при лабораторных исследованиях и полевых испытаниях**Factor variation intervals in laboratory studies and field trials**

| Показатель / Indicator | Теоретическое значение / Theoretical value | Экспериментальное значение / Experimental value | Принятое значение / Accepted value |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------|
| Показатель отношения окружной скорости ротора адаптера к поступательной скорости конвейера λ / The ratio of the peripheral speed of the adapter rotor to the translational speed of the conveyor λ | 8...10 | 4...14 | 8...10 |
| Расстояние от рабочего органа адаптера в нижнем положении до поверхности конвейера h_a , м / The distance from the working body of the adapter in the lower position to the surface of the conveyor h_a , m | 0,25...0,33 | 0,1...0,5 | 0,28...0,33 |
| Расстояние от нижней точки кожуха в месте контакта с растением до поверхности конвейера h_0 , м / The distance from the lower point of the casing at the place of contact with the plant to the surface of the conveyor h_0 , m | 0,70...0,75 | 0,5...0,8 | 0,70...0,75 |

и в хозяйства «ООО Красная Горка», ООО «ЭХССБЛ», что подтверждено актами внедрения.

Обсуждение и заключение

Уточнены морфологические признаки растений белого люпина сорта «Дега»: высота отобранных образцов 760,0...1050,0 мм, диаметр стеблестоя 5,50...10,50 мм, масса навески тысячи семян 350,0...410,0 г; параметры семян из выборки: длина 8,3...12,0 мм, ширина семян 7,2...11,1 мм, толщина семян 3,2...5,7 мм; параметры бобов из выборки: длина 63,0...77,3 мм, ширина бобов 9,4...14,2 мм, толщина бобов 6,6...9,8 мм; количество растений на м² 110...152 шт.

Экспериментально исследованы физико-механические свойства: предел прочности стеблестоя 0,87...1,15 кг/мм², среднее значение коэффициента трения

семян, стеблей о рабочие органы 0,44 и 0,36. Прочность при динамических нагрузках бобов со стеблем изменяется в пределах 3...25 Н. Скорость витания семян отобранных образцов влажностью 20,6 % составила 13,8 м/с.

Камеральные работы по уборке белого люпина очесывающей жаткой с гребенками для крупносемянных культур позволяют сделать выводы о том, что максимальная полнота сбора семян составляет 99,5 % при отношении окружной скорости ротора адаптера к поступательной скорости конвейера $\lambda = 8...10$; расстояние от рабочего органа адаптера в нижнем положении до поверхности конвейера $h_{ж} = 0,28...0,33$ м и расстояние от нижней точки кожуха в месте контакта с растением до поверхности конвейера $h_0 = 0,70...0,75$ м.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. **Zhao, Z.** Grain Separation Loss Monitoring System in Combine Harvester / Z. Zhao, Y. Li, J. Chen [et al]. – DOI 10.1016/j.compag.2011.01.016 // Computers and Electronics in Agriculture. – 2011. – Vol. 76, Issue 2. – Pp. 183–184. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169911000354?via%3Dihub> (дата обращения: 30.07.2020).

2. **Chegini, G.** Experimental Comparison of Combine Performance with Two Harvesting Methods: Stripper Header and Conventional Header / G. Chegini, S. V. Mirnezami // Agricultural Engineering International: GIGR E-journal. – 2016. – Vol. 18, Issue 1. – Pp. 192–200. – URL: https://www.researchgate.net/publication/305374833_Experimental_comparison_of_combine_performance_with_two_harvesting_methods_Stripper_header_and_conventional_header (дата обращения: 30.07.2020).

3. **Straksas, A.** Development of a Stripper-Header for Grain Harvesting / A. Straksas // Agronomy Research. – 2006. – Vol. 4, Issue 1. – Pp. 79–89. – URL: <http://agronomy.emu.ee/vol041/p4108.pdf> (дата обращения: 30.07.2020).

4. **Adisa, A. F.** Determination of Optimum Operational Conditions of a Grain Stripper Header for Rice Harvesting in Nigeria / A. F. Adisa, V. I. O. Ndirika, Y. D. Yiljep [et al.] // International Journal of Engineering and Technology. – 2012. – Vol. 2, Issue 7. – Pp. 1290–1300. – URL: <https://unaab.edu.ng/determination-of-optimum-operational-conditions-of-a-grain-stripper-for-rice-harvesting-in-nigeria/> (дата обращения: 30.07.2020).

5. **Галкин, А. В.** Исследование качественных характеристик льноволокна в зависимости от конструкции очесывающего аппарата / А. В. Галкин, Д. Г. Фадеев, И. В. Ущуповский. – DOI 10.15507/0236-2910.028.201803.389-399 // Вестник Мордовского университета. – 2018. – Т. 28, № 3. – С. 389–399. – URL: <http://vestnik.mrsu.ru/index.php/en/articles2-en/62-18-3/429-10-15507-0236-2910-028-201803-8> (дата обращения: 30.07.2020). – Рез. англ.

6. **Aldoshin, N.** Harvesting of Leguminous Crops by the Method of Stripping / N. Aldoshin, N. Lylin, M. Mosyakov // Far Eastern Agrarian Bulletin. – 2017. – Vol. 1. – Pp. 67–73.

7. **Алдошин, Н. В.** Совершенствование конструкции очесывающих устройств для уборки зернобобовых культур / Н. В. Алдошин, М. А. Мосяков. – DOI 10.26897/1728-7936-2018-2-23-27 // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В. П. Горячкина». – 2018. – № 2 (84). – С. 23–27. – URL: <http://elib.timacad.ru/dl/full/vmgau-04-2018-02.pdf/view> (дата обращения: 30.07.2020). – Рез. англ.

8. **Yuan, J.** Development of a Cereal Stripping Harvester / J. Yuan, Y. Lan // Agricultural Engineering International: the CIGR E-journal. – 2007. – Vol. 9. – 12 p. – URL: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.504.7187&rep=rep1&type=pdf> (дата обращения: 30.07.2020).

9. **Ince, A.** Comparing of Different Harvesting Systems in Wheat Harvesting / A. Ince, S. M. Say, O. Kara [et al.] // Tarim Makinalari Bilimi Dergisi (Journal of Agricultural Machinery Science). – 2011. – Vol. 7, Issue 1. – Pp. 89–93. – URL: http://dergipark.org.tr/en/pub/tarmak/issue/11539/137456#article_cite (дата обращения: 30.07.2020).

10. **Патент № 2442313 Российская Федерация, МПК А01D 41/08 (2006.01).** Съёмная гребенка барабана очесывающего оборудования : № 2009149613/13 : заявл. 30.12.2009 : опубл. 10.07.2011 / Бурьянов М. А., Колесников Г. Е., Пахомов В. И. [и др.] ; патентообладатель Государственное научное учреждение «Северо-Кавказский научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства» Российской академии сельскохозяйственных наук (ГНУ СКНИИ-МЭСХ Россельхозакадемии). – 7 с. : ил. – URL: <http://www.freepatent.ru/images/patents/16/2442313/patent-2442313.pdf> (дата обращения: 30.07.2020).

11. **Патент № 2646054 Российская Федерация, МПК А 01D 41/08 (2006.01).** Съёмная гребенка очесывающего оборудования : № 2017111437 : заявл. 04.04.2017 ; опубл. 01.03.2018 / Кухарев О. Н., Семов И. Н., Федин М. А. ; патентообладатель ФГБОУ ВО «Пензенский государственный аграрный университет». – URL: <https://pgau.ru/nauka/patenty/patenty-na-izobretenie> (дата обращения: 30.07.2020).

12. **Patent No. 5519989 USA, A01D 45/00.** Crop Stripping Apparatus : No. 446547 : appl. 19.05.1995 : publ. 28.05.1996 / Shelbourne K. H., McCredie P. J. – 6 p. – URL: <https://patentimages.storage.googleapis.com/39/f6/28/326a2cc1e30753/US5519989.pdf> (дата обращения: 30.07.2020).

13. **Milyutkin, V. A.** Developing Universal Hardware for Harvesting Crops / V. A. Milyutkin, I. V. Borodulin, Z. P. Antonova // Eastern European Scientific Journal. – 2014. – № 3 (52). – С. 259–267. – URL: <http://journale.auris-verlag.de/index.php/EESJ/article/view/159> (дата обращения: 30.07.2020).

14. **Патент № 2439871 Российская Федерация, МПК A01D 41/08 (2006.01) A01D 45/00(2006.01).** Гребенка очесывающего устройства : № 2010129501/13 : заявл. 15.07.2010 : опубл. 20.01.2012 / Колинко В. П., Ознов Г. Р., Сабашкин В. А. ; заявитель ОАО «САД». – URL: https://www1.fips.ru/fips_serv/fips_servlet?DB=RUPAT&DocNumber=2439871&TypeFile=html (дата обращения: 30.07.2020).

15. **Патент № 172995 Российская Федерация, МПК A01D 41/08(2006.01).** Очесывающее устройство для крупносемянных культур : № 2017116419 : заявл. 11.05.2017 : опубл. 03.08.2017 / Алдошин Н. В., Золотов А. А., Лылин Н. А. [и др.] ; заявитель ФГБОУ ВО «РГАУ – МСХА имени К. А. Тимирязева». – URL: https://patents.s3.yandex.net/RU172995U1_20170803.pdf (дата обращения: 30.07.2020).

16. **Masebu, H. P.** Design, Fabrication and Operation of a Static Laboratory Grain Stripping Rig for the Study of Stripping of Sorghum Panicles by Various Stripping Tools / H. P. Masebu, D. R. White, L. Chico-Santamarta // International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology. – 2013. – Vol. 2, Issue 12. – Pp. 7613–7619. – URL: http://www.ijrset.com/upload/2013/december/64_DESIGN.pdf (дата обращения: 30.07.2020).

17. **Goli, A.** The Study of the Effect of the Rotational Speed and the Horizontal Distance Fingertips to Nose on the Head Losses of Wheat Stripping / A. Goli, A. Khojamli, J. Khazaei [et al.] // International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology. – 2017. – Vol. 6, Issue 5. – Pp. 1–11. – URL: <http://www.ijrset.com/open-access/the-study-of-the-effect-of-the-rotational-speed-and-the-horizontal-distance-fingertips-to-nose-on-the-head-losses-of-wheat-strippi-.pdf> (дата обращения: 30.07.2020).

18. **Алдошин, Н. В.** Результаты лабораторно-полевых исследований очеса белого люпина / Н. В. Алдошин, М. А. Мосяков // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В. П. Горячкина». – 2018. – № 3 (85). – С. 25–30. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rezultaty-laboratorno-polevyh-issledovaniy-ochesa-belogo-lyupina> (дата обращения: 30.07.2020). – Рез. англ.

Поступила 11.11.2019; принята к публикации 20.01.2020; опубликована онлайн 30.09.2020

Об авторах:

Алдошин Николай Васильевич, заведующий кафедрой сельскохозяйственных машин ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» (127550, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49), доктор технических наук, профессор, Researcher ID: F-7131-2019, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0446-1096>, sxm.msau@yandex.ru

Мосяков Максим Александрович, старший научный сотрудник лаборатории машинных технологий возделывания и уборки овощных культур в открытом грунте ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (109428, Россия, г. Москва, 1-й Институтский проезд, д. 5), Researcher ID: A-8482-2019, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5151-7312>, maks.mosyakov@yandex.ru

Заявленный вклад соавторов:

Н. В. Алдошин – научное руководство, формулирование основной концепции исследования, подготовка начального варианта текста и формирование выводов; М. А. Мосяков – проведение критического анализа экспериментальных исследований, литературный и патентный анализ, редактирование текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

REFERENCES

1. Zhao Z., Li Y., Chen J., et al. Grain Separation Loss Monitoring System in Combine Harvester. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2011; 76(2):183-184. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2011.01.016>
2. Chegini G., Mirnezami S.V. Experimental Comparison of Combine Performance with Two Harvesting Methods: Stripper Header and Conventional Header. *Agricultural Engineering International: GIGR E-journal*. 2016; 18(1):192-200. Available at: https://www.researchgate.net/publication/305374833_Experimental_comparison_of_combine_performance_with_two_harvesting_methods_Stripper_header_and_conventional_header (accessed 30.07.2020). (In Eng.)
3. Straksas A. Development of a Stripper-Header for Grain Harvesting. *Agronomy Research*. 2006; 4(1):79-89. Available at: <http://agronomy.emu.ee/vol041/p4108.pdf> (accessed 30.07.2020). (In Eng.)
4. Adisa A.F., Ndirika V.I.O., Yiljep Y.D., et al. Determination of Optimum Operational Conditions of a Grain Stripper Header for Rice Harvesting in Nigeria. *International Journal of Engineering and Technology*. 2012; 2(7):1290-1300. Available at: <https://unaab.edu.ng/determination-of-optimum-operational-conditions-of-a-grain-stripper-for-rice-harvesting-in-nigeria/> (accessed 30.07.2020). (In Eng.)
5. Galkin A.V., Fadeev D.G., Uschapovsky I.V. Studying Quality Characteristics of Flax Fiber Depending on Deseeding Device Design. *Vestnik Mordovskogo universiteta = Mordovia University Bulletin*. 2018; 28(3):389-399. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.15507/0236-2910.028.201803.389-399>
6. Aldoshin N., Lysin N., Mosyakov M. Harvesting of Leguminous Crops by the Method of Stripping. *Far Eastern Agrarian Bulletin*. 2017; 1:67-73. (In Eng.)
7. Aldoshin N.V., Mosyakov M.A. Design Improvement of a Stripping Device for Harvesting Leguminous Crops. *Vestnik Federal'nogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego professional'nogo obrazovaniya "Moskovskiy gosudarstvennyy agroinzhenernyy universitet imeni V.P. Goryachkina"* = Bulletin of the Goryachkin Moscow State Agroengineering University. 2018; (2):23-27. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.26897/1728-7936-2018-2-23-27>
8. Yuan J., Lan Y. Development of a Cereal Stripping Harvester. *Agricultural Engineering International: the CIGR E-journal*. 2007; 9:12 p. Available at: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.504.7187&rep=rep1&type=pdf> (accessed 30.07.2020). (In Eng.)
9. Ince A., Say S.M., Kara O., et al. Comparing of Different Harvesting Systems in Wheat Harvesting. *Tarim Makinalari Bilimi Dergisi (Journal of Agricultural Machinery Science)*. 2011; 7(1):89-93. Available at: http://dergipark.org.tr/en/pub/tarmak/issue/11539/137456#article_cite (accessed 30.07.2020). (In Eng.)
10. Removable Fingers of Stripping Cylinder: Patent 2442313 Russian Federation. No. 2009149613/13; appl. 30.12.2009; publ. 10.07.2011. Bulletin No. 5. 7 p. Available at: <http://www.freepatent.ru/images/patents/16/2442313/patent-2442313.pdf> (accessed 30.07.2020). (In Russ.)
11. Removable Fingers of the Stripping Equipment: Patent 2646054 Russian Federation. No. 2017111437; appl.04.04.2017; publ. 01.03.2018. Available at: <https://pgau.ru/nauka/patenty/patenty-na-izobreteniya> (дата обращения: 30.07.2020). (In Russ.)
12. Crop Stripping Apparatus: Patent 5519989 USA. No. 446547; appl. 19.05.1995; publ. 28.05.1996. 6 p. Available at: <https://patentimages.storage.googleapis.com/39/f6/28/326a2cc1e30753/US5519989.pdf> (accessed 30.07.2020). (In Eng.)
13. Milyutkin V.A., Borodulin I.V., Antonova Z.P. Developing Universal Hardware for Harvesting Crops. *Eastern European Scientific Journal*. 2014; (3):259-267. Available at: <http://journale.auris-verlag.de/index.php/EESJ/article/view/159> (accessed 30.07.2020). (In Eng.)
14. Comb of Stripping Device: Patent 2439871 Russian Federation. No. 2010129501/13; appl. 15.07.2010; publ. 20.01.2012. Bulletin No. 2. Available at: https://www1.fips.ru/fips_servl/fips_servlet?DB=RUPAT&DocNumber=2439871&TypeFile=html (accessed 30.07.2020). (In Russ.)
15. Stripping Device for Large Seed Crops: Patent 172995 Russian Federation. No. 2017116419; appl. 11.05.2017; publ. 03.08.2017. Available at: https://patents.s3.yandex.net/RU172995U1_20170803.pdf (accessed 30.07.2020). (In Russ.)



16. Masebu H.P., White D.R., Chico-Santamarta L. Design, Fabrication and Operation of a Static Laboratory Grain Stripping Rig for the Study of Stripping of Sorghum Panicles by Various Stripping Tools. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*. 2013; 2(12):7613-7619. Available at: http://www.ijrset.com/upload/2013/december/64_DESIGN.pdf (accessed 30.07.2020). (In Eng.)
17. Goli A., Khojamli A., Khazaei J., et al. The Study of the Effect of the Rotational Speed and the Horizontal Distance Fingertips to Nose on the Head Losses of Wheat Stripping. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*. 2017; 6(5):1-11. Available at: <http://www.roij.com/open-access/the-study-of-the-effect-of-the-rotational-speed-and-the-horizontal-distance-finger-tips-to-nose-on-the-head-losses-of-wheat-strippi-.pdf> (accessed 30.07.2020). (In Eng.)
18. Aldoshin N.V., Mosyakov M.A. Results of Laboratory-Field Research of White Lupine Stripping. *Vestnik Federalnogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego professional'nogo obrazovaniya "Moskovskiy gosudarstvennyy agroinzhenernyy universitet imeni V.P. Goryachkina"* = Bulletin of the Goryachkin Moscow State Agroengineering University. 2018; (3):25-30. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/rezultaty-laboratorno-polevyh-issledovaniy-ochesa-belogo-lyupina> (accessed 30.07.2020). (In Russ.)

Received 11.11.2019; revised 20.01.2020; published online 30.09.2020

About the authors:

Nikolay V. Aldoshin, Head of Agriculture Machinery Chair, Russian Timiryazev State Agrarian University (49 Timiryazevskaya St., Moscow 127550, Russia), D.Sc. (Engineering), Professor, Researcher ID: F-7131-2019, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0446-1096>, cxm.msau@yandex.ru

Maxim A. Mosyakov, Senior Researcher of the Laboratory of Machine Technology for Cultivation and Harvesting of Vegetable Crops in the Open Field, Federal Scientific Agroengineering Center VIM (5, 1st Institutskiy Proyezd, Moscow 109428, Russia), Researcher ID: A-8482-2019, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5151-7312>, maks.mosyakov@yandex.ru

Contribution of the authors:

N. V. Aldoshin – scientific guidance, formulation of the basic concept of the study, preparation of the initial version of the text and drawing conclusions; M. A. Mosyakov – conducting critical analysis of experimental research, literary and patent analysis, text editing.

All authors have read and approved the final manuscript.