

**Критерии авторства**

Белов М.И., Зволинский В.Н., Славкин В.И., Мельников О.М. провели обобщение и написали рукопись. Белов М.И., Зволинский В.Н., Славкин В.И., Мельников О.М. имеют на статью авторские права и несут ответственность за плагиат.

**Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила 25.02.2019

**Contribution**

Belov M.I., Zvolinskiy V.N., Slavkin V.I., Melnikov O.M. summarized the material and wrote the manuscript. Belov M.I., Zvolinskiy V.N., Slavkin V.I., Melnikov O.M. have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

**Conflict of interests**

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper.

The paper was received on February 25, 2019

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ АПК / FARM MACHINERY AND TECHNOLOGIES

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL ARTICLE

УДК 631.354.2

DOI 10.34677/1728-7936-2019-3-17-22

## ОБОСНОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ АКСИАЛЬНО-РОТОРНЫХ ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ НА УБОРКЕ СМЕШАННЫХ ПОСЕВОВ

**АЛДОШИН НИКОЛАЙ ВАСИЛЬЕВИЧ**, докт. техн. наук, профессор

E-mail: cxm.msau@yandex.ru

**БЕРДЫШЕВ ВИКТОР ЕГОРОВИЧ**, докт. техн. наук, профессор

E-mail: v.berdishev@timacad.ru

**МАЛЛА БАХАА**, аспирант

E-mail: cxm.msau@yandex.ru

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; ул. Тимирязевская, 49, Москва, 127550, Российская Федерация

Проведено обоснование выбора режимов работы аксиально-роторных зерноуборочных комбайнов на уборке смешанных посевов зерновых колосовых зерновых и зернобобовых культур. Рассмотрен технологический процесс работы аксиально-роторных зерноуборочных комбайнов. Приведена техническая характеристика и особенности эксплуатации названных типов машин. Составлена математическая модель для определения режимов работы аксиально-роторных молотильно-сепарирующих систем на уборке смешанных посевов. Введены передаточные коэффициенты, один из которых характеризует полный вымолот зерновой колосовой культуры, а другой отражает минимальные повреждения зернобобовой составляющей. Представлена функция агрегирования в виде соотношения показателей одного уровня. Оценены качественные показатели уборки смешанных посевов аксиально-роторным зерноуборочным комбайном. Получены зависимости макро- и микроповреждений зёрен колосовых и бобовых культур в смешанных посевах при уборке комбайнами этого типа. Обоснованы режимы работы зерноуборочного комбайна РСМ-181 «TORUM» на уборке смешанных посевов белого люпина и тритикале. Рекомендован зазор между ротором и декой 35 мм и частота вращения ротора 400...450 мин<sup>-1</sup>.

**Ключевые слова:** уборка, смешанные посевы, потери зерна, повреждаемость зерна.

**Формат цитирования:** Алдошин Н.В., Бердышев В.Е., Малла Бахаа. Обоснование режимов работы аксиально-роторных зерноуборочных комбайнов на уборке смешанных посевов // Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Горячкина». 2019. N3(91). С. 17-22. DOI 10.34677/1728-7936-2019-3-17-22.

## DETERMING OPERATING MODES OF AXIAL-ROTARY COMBINE HARVESTERS FOR HARVESTING MIXED CROPS

**NIKOLAY V. ALDOSHIN**, DSc (Eng), Professor

E-mail: cxm.msau@yandex.ru

**VLADIMIR YE. BERDYSHEV**, DSc (Eng), Professor

E-mail: v.berdishev@timacad.ru

**MALA BAHAA, PhD student**

E-mail: cxm.msau@yandex.ru

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; Timiryazevskaya Str., 49, Moscow, 127550, Russian Federation

The authors have conducted a study to determine a set of operating modes of axial-rotary combine harvesters for mixed harvesting of cereal grain and leguminous crops. The paper outlines a technological process of axial-rotary combine harvesters, lists their technical characteristics and features of operation. A mathematical model has been compiled to determine the operating modes of axial-rotary threshing and separating systems for harvesting mixed crops and transfer coefficients have been specified. The first coefficient describes complete threshing of eared grains, and the second one reflects the minimal damage to the leguminous component. The aggregation function is presented in the form of the relationship between indicators of the same level. The authors have evaluated quality indicators of harvesting mixed crops with axial-rotary combine harvesters. The paper presents dependences of macro- and microdamages of of cereal and legume grains in mixed crops after harvesting with axial-rotary combines. The operation modes of the combine harvester PCM-181 “TORUM” for harvesting mixed crops of white lupine and triticale have been substantiated. As a result, a gap between the rotor and the deck of 35 mm and a rotor speed of 400...450 min<sup>-1</sup> are recommended.

**Key words:** harvesting, mixed crops, grain loss, grain damage.

**For citation:** Aldoshin N.V., Berdyshev V. Ye., Mala Bahaa. Determining operating modes of axial-rotary combine harvesters for harvesting mixed crops. *Vestnik of Moscow Goryachkin Agroengineering University*. 2019; 3(91): 17-22. (In Rus.). DOI 10.34677/1728-7936-2019-3-17-22.

**Введение.** Одним из путей интенсификации производства зерновой продукции, является использование смешанных посевов. Например, создание люпиново-злаковых смешанных посевов, позволяет получать сбалансированный по белку урожай зерна без использования минеральных удобрений, гербицидов и других средств защиты растений. Наиболее трудновыполнимым технологическим приёмом является уборка смешанных посевов из-за различия свойств культур входящих в них.

В 70-х годах прошлого века на мировом рынке появились зерноуборочные комбайны с аксиально-роторными молотильно-сепарирующими устройствами (МСУ). Главное назначение такого комбайна – заменить громоздкую классическую молотильно-сепарирующую систему (МСС), включающую приёмный битер, молотильный барабан (реже два), отбойный битер и соломотряс длиной 4...6 м одним рабочим органом – аксиально-роторным МСУ.

В настоящее время в РФ заводом «Ростсельмаш» выпускается аксиально-роторный зерноуборочный комбайн RCM-181 «TORUM». В сравнении с работой комбайнов с «классической» схемой МСУ у этих машин есть ряд отличий, позволяющих более эффективно использовать их на уборке смешанных посевов зерновых и зернобобовых культур.

**Цель исследования** – оценить эффективность уборки люпиново-злаковых смешанных посевов аксиально-роторными зерноуборочными комбайнами RCM-181 «TORUM».

**Материал и методы.** Аксиально-роторное МСУ комбайна RCM-181 «Torum 740» включает четыре секции: приёмную камеру со сплошным, гладким кожухом, молотильную и сепарирующую секции, выбросную зону. Угол охвата ротора решетчатой поверхностью кожуха в молотильной и сепарирующей секциях составляет 360° (рис. 1). Кожух ротора вращается с частотой 8 мин<sup>-1</sup>. Диаметр ротора 762 мм, длина 3200 мм. Комбайн может оснащаться двигателями мощностью 300 и 370 кВт.



**Рис. 1. Молотильно-сепарирующее устройство аксиально-роторного зерноуборочного комбайна RCM-181 «Torum 740»**

**Fig. 1. Threshing and separating device of axial-rotary combine harvester RCM-181 “Torum 740”**

По результатам эксплуатации и испытаний комбайнов с аксиально-роторными МСУ в различных условиях уборки выявлен ряд преимуществ перед «классическими» и комбинированными системами [1, 2]:

- обмолот и сепарация зерна происходят в одном рабочем органе, что упрощает конструкцию комбайна, уменьшает число приводов, создает условия для снижения габаритов и массы комбайна;
- высокая интенсивность обмолота и сепарации зерна из соломистого вороха позволяют значительно повысить производительность комбайна и снизить потери зерна [3, 4];
- меньшее повреждение зерна или семян (в 2...3 раза);
- высокая стабильность показателей качества работы в различных условиях уборки;
- низкая чувствительность к отклонению регулировочных параметров;
- удобство технического и технологического обслуживания аксиально-роторного МСУ.

Выявлены также следующие недостатки:

- повышенное перебивание соломы, перегрузка системы очистки комбайна мелкоколосистой фракцией и рост потерь зерна за ней;

- неравномерное распределение мелкого вороха по ширине очистки.

У аксиально-роторных комбайнов отмечается повышенная энергоёмкость обмолота хлебной массы в сравнении с «классическими» МСУ, что приводит к увеличению расхода топлива и требует применения более мощных двигателей [5, 6].

Так, режимы работы у аксиально-роторных МСУ являются более щадящими. Зазор между ротором и декой больше, чем в «классических» МСУ. При этом время нахождения массы в устройстве значительно больше, что позволяет наносить значительно больше ударов по массе, обеспечивая вымолот зерновой культуры, которая входит в состав смешанных посевов. Кроме того площадь сепарации значительно превосходит параметры «классических» МСУ, что обеспечивает хорошее выделение как зернобобовой культуры, так и зерновой колосовой.

Технологическая эффективность использования зерноуборочных комбайнов с аксиально-роторными МСУ определяется уровнем прямых и косвенных потерь зерна [7]. В связи с этим необходимо обосновать соответствие технологических параметров и режимов работы агротехническим требованиям и задачам, определяемым потребителями.

Качественные показатели работы зерноуборочного комбайна определяются при комплексной оценке всего технологического процесса его работы с учётом внешних факторов. Для уборки чистых посевов зерновых колосовых и зернобобовых культур эти процессы достаточно хорошо изучены. Уборка смешанных посевов таких культур вызывает главное затруднение при их обмолоте и сепарации зерна в МСУ.

**Результаты и обсуждение.** Задача качественного обмолота зерна без превышения предела повреждаемости может быть решена компромиссным образом. С одной стороны, необходимо обеспечить качественный вымолот зерновой колосовой культуры, исключая потери зерна недомолотом, с другой – обеспечить достаточно низкий уровень повреждаемости зернобобовой составляющей смешанных посевов.

Введём передаточные коэффициенты, характеризующие дробление и потери зерна, представляющие собой отношение приращения выходного параметра к его входной величине

$$R_i = \frac{\partial_i}{\partial_{i-1}}, \quad (1)$$

где  $\partial_i, \partial_{i-1}$  – соответственно дробление  $i$ -м и  $i-1$  объектами комбайна, а при оценке потерь зерна

$$R_i = \frac{\Pi_i}{\Pi_{i-1}}, \quad (2)$$

где  $\Pi_i, \Pi_{i-1}$  – потери  $i$ -м и  $i-1$  объектами комбайна.

Суммарное повреждение зерна можно представить в виде функции

$$\partial_\Sigma = f_0(q, w, s, k_n \dots) R_\Sigma, \quad (3)$$

где  $f_0(q, w, s, k_n \dots)$  – начальное входное воздействие, зависящее от подачи хлебной массы  $q$ , её влажности  $w$ ,

засоренности  $s$ , неравномерности подачи обмолачиваемой массы к МСУ  $k_n$  и др.

Передаточные коэффициенты зависят от различных по природе происхождения факторов: конструктивных (К), технологических (Т) и эксплуатационных (Э). Поэтому они являются векторными величинами

$$R = \{K, T, \mathcal{E}\}. \quad (4)$$

Тогда

$$\begin{aligned} K &= \{K_1, K_2, K_3 \dots K_i \dots\}, \\ T &= \{T_1, T_2, T_3 \dots T_i \dots\}, \\ \mathcal{E} &= \{\mathcal{E}_1, \mathcal{E}_2, \mathcal{E}_3 \dots \mathcal{E}_i \dots\}, \end{aligned} \quad (5)$$

где  $K_i, T_i, \mathcal{E}_i$  соответственно  $i$ -й конструктивный, технологический и эксплуатационный факторы.

Из-за сложности природы передаточные коэффициенты обычно оцениваются при помощи экспериментальных исследований. Это говорит о том, что определение таких показателей, как потери и повреждения зерна, – многофакторная задача. Сложность, прежде всего, определяется различной размерностью параметров и их физическим смыслом. В данном случае эффективным будет приведение отдельных показателей к безразмерной оценке. В таком случае определяется отношение их фактических величин к требуемым значениям.

$$K_\mu = W_\mu / w_\mu^{mp}, \quad (6)$$

где  $W_\mu$  – фактическое значение параметра;  $w_\mu^{mp}$  – требуемая величина параметра.

В качестве функции агрегирования могут быть приняты: аддитивная функция

$$\varphi(W) = \sum_{i=1}^m \gamma_i w_i, \quad (7)$$

где  $\gamma_i$  – коэффициент относительной важности частного показателя  $w_i$ ,  $m$  – количество частных показателей эффективности работы зерноуборочного комбайна; мультипликативная функция

$$\varphi(W) = \prod_{i=1}^m w_i^{\gamma_i}; \quad (8)$$

агрегирующая функция

$$\varphi(W) = \min_i \left\{ \frac{w_i}{\gamma_i} \right\}; \quad \gamma_i \neq 0; \quad i = \overline{1, m}; \quad (9)$$

степенная функция

$$\varphi(W) = \left[ \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m w_i^p \right]^{\frac{1}{p}}, \quad p \neq 0, \quad (10)$$

где  $p$  – показатель, отображающий необходимый уровень компенсации малых значений одних равноценных показателей большими значениями других.

При  $p \rightarrow \infty$  не допускается никакая компенсация и предельный вид агрегирующей функции (10) совпадает с (9). В случае  $p \rightarrow 0$  требуется обеспечение одинаковых уровней частных показателей; функция (10) совпадает с (8), поэтому для выбора зерноуборочного комбайна с лучшими

показателями функции (8), (9) и (10) не могут быть использованы в таком виде.

Агрегированную функцию в виде аддитивной (7) целесообразно использовать для решения поставленной нами задачи, так как не применима компенсация абсолютного уменьшения одного из показателей суммарным абсолютным увеличением других. Это связано с тем, что выбранные показатели эффективности неоднородны. На основании данных рассуждений можно сделать вывод, что применимым вариантом для обоснования технологических параметров и режимов работы аксиально-роторного МСУ может быть использована функция в виде отношения одних показателей к другим:

$$\varphi(W) = \frac{\prod_{i=1}^{m_1} w_i}{\prod_{i=m_1+1}^m w_i}, \tag{11}$$

где  $i = \overline{1, m_1}$  – частные показатели, значения которых желательно увеличивать,  $i = \overline{m_1 + 1, m}$  – уменьшить.

Показатели  $i = \overline{1, m_1}$ , можно отождествлять с обеспечением полного вымолота зерна в МСУ, а показатели,  $i = \overline{m_1 + 1, m}$  – с минимизацией повреждаемости зерна при уборке смешанных посевов.

Однако показатели первой и второй групп неоднородны, имеют различный физический смысл и размерность. Также функция агрегирования из выражения (11) является векторной величиной. Для приведения её к скалярному виду и компенсации неоднородности частных показателей, их различного физического смысла и размерности используем эквивалентное преобразование.

В этом случае функция агрегированного показателя примет вид:

$$\varphi(W) = \frac{\prod_{i=1}^{m_1} \frac{w_i}{w_i^{TP}}}{\prod_{i=m_1+1}^m \frac{w_i}{w_i^{TP}}}. \tag{12}$$

Обозначив

$$\prod_{i=1}^{m_1} \frac{w_i}{w_i^{TP}} = k_1, \quad \prod_{i=m_1+1}^m \frac{w_i}{w_i^{TP}} = k_2, \tag{13}$$

получим 
$$\varphi(W) = \frac{k_1}{k_2}. \tag{14}$$

Тогда показатель эффективности примет вид

$$k_3 = m \{k_1/k_2\}. \tag{15}$$

При помощи метода наименьших квадратов можно провести оценку меры приближения фактического результата к требуемому. Используя функцию эффективности (12), заметим, что для повышения эффективности работы аксиально-роторного МСУ, частные показатели эффективности  $w_i$ , должны стремиться к значениям  $w_i^{TP}$ . В идеальном варианте  $k_1 = 1$  и  $k_2 = 1$ .

В этом случае показатель  $k_{1i}$  имеет смысл эффекта полного вымолота зерновой колосовой культуры, а  $k_2$  – отражает минимальные повреждения зернобобовой составляющей.

Значение, определяемое по выражению (15), представляет собой функцию агрегирования в виде соотношения показателей одного уровня. В этом случае увеличение показателей первой группы  $k_{1i}$ , направлено на достижение одной цели, а второй группы  $k_{2i}$  приводит к обратному результату.

При неоднородности частные показатели эффективности, входящие в функцию  $\varphi(\Pi_3)$ , могут различаться по их влиянию на процесс обмолота и сепарации в аксиально-роторном МСУ. Тогда возникает необходимость введения в выражение (15) коэффициентов относительной важности  $\gamma_i$  элементов  $k_i$ . При этом правомерно предположить, что значение  $\gamma_i$  для элемента  $k_i$  будет соответствовать коэффициенту относительной важности  $i$ -го частного показателя эффективности. Значения коэффициентов относительной важности частных показателей эффективности могут быть определены методом экспертной оценки.

Рассматривая возможные варианты включения  $\gamma_i$  в зависимость (15), приходим к следующему:

1. Так как  $\sum_{i=1}^{i=m} \gamma_i = 1$ , то при количестве частных показателей  $m > 1$ ,  $\gamma_i \neq 1$  и  $\gamma_i \neq 0$ .
2. При  $\gamma_i \rightarrow 1$  влияние  $k_i$  на комплексный показатель должно усиливаться, а при  $\gamma_i \rightarrow 0$  ослабляться.
3. При росте значения  $\gamma_i$  коэффициент  $k_{1i}$  должен увеличиваться, а  $k_{2i}$  уменьшаться.
4. При  $\gamma_i \rightarrow 0$  влияние  $i$ -го частного показателя на комплексный показатель, не должно полностью отвергаться.

Так как нами для исследования качества работы аксиально-роторного МСУ зерноуборочных комбайнов выбраны два частных показателя – прямые потери и повреждаемость зерна, которые необходимо снижать, – то показатель эффективности примет вид

$$k_3 = m \{1/k_{21}k_{22}\}, \tag{16}$$

а с учётом коэффициентов относительной важности  $\gamma_i$  частных показателей комплексный показатель эффективности определяется следующим образом:

$$k_3 = m \left\{ \frac{1}{\gamma_1 k_{21} \gamma_2 k_{22}} \right\}. \tag{17}$$

Учитывая выражения коэффициентов  $k_{21}$  и  $k_{22}$ , получим

$$k_3 = m \left\{ \frac{1}{\gamma_1 \frac{\Pi_3}{\Pi_3^{доп}} \gamma_2 \frac{\Pi_{др}}{\Pi_{др}^{доп}}} \right\}, \tag{18}$$

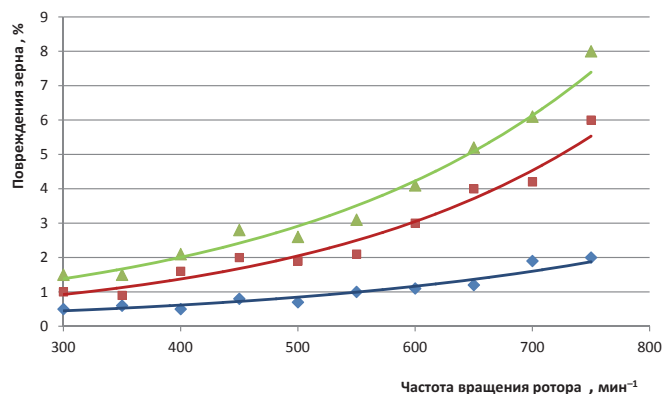
где  $\Pi_3$  и  $\Pi_3^{доп}$  – соответственно прямые потери зерна фактические и допустимые;  $\Pi_{др}$  и  $\Pi_{др}^{доп}$  – соответственно дробление зерна фактическое и допустимое.

Допустим, что  $\gamma_1 = \gamma_2$ , тогда, получим выражение для определения комплексного критерия эффективности качества работы МСУ:

$$k_3 = m \left\{ \frac{\Pi_3^{доп} \Pi_{др}^{доп}}{\Pi_3 \Pi_{др}} \right\}. \tag{19}$$

Зависимость прямых потерь и дробления зерна можно получить на основании экспериментальных данных,

исследуя влияние различных факторов  $X_1, X_2, \dots, X_n$  на работу аксиально-роторного МСУ. По итогам обработки результатов экспериментов получили следующие зависимости (рис. 2, 3).

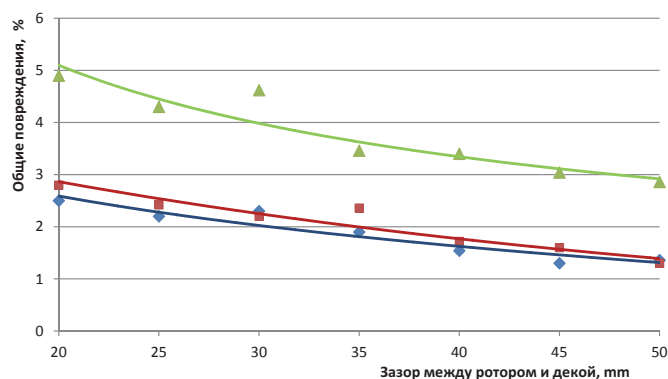


**Рис. 2. Зависимость повреждений зерна от частоты вращения ротора, мин<sup>-1</sup>, (зазор между ротором и декой 35 мм):**

▲ – общее повреждение; ◆ – макроповреждение;  
■ – микроповреждение

**Fig. 2. Relationship between grain damage and the rotor speed, min<sup>-1</sup>, (at the gap between the rotor and the deck of 35 mm):**

▲ – general damage; ◆ – macrodamage;  
■ – microdamage



**Рис. 3. Зависимость повреждения зерна от зазора между ротором и декой:**

◆ – частота вращения ротора, 350 мин<sup>-1</sup>;  
■ – частота вращения ротора, 450 мин<sup>-1</sup>;  
▲ – частота вращения ротора, 550 мин<sup>-1</sup>

**Fig. 3. Relationship between grain damage and the gap between the rotor and the deck:**

◆ – rotor speed of 350 min<sup>-1</sup>;  
■ – rotor speed of 450 min<sup>-1</sup>;  
▲ – rotor speed of 550 min<sup>-1</sup>

На графиках (рис. 2 и 3) отображено, что с увеличением частоты вращения ротора более 450 мин<sup>-1</sup> происходит резкое увеличение повреждений зерна. С увеличением зазора между ротором и декой повреждения зерна уменьшаются при всех рассматриваемых частотах вращения ротора. Также необходимо отметить, что при больших зазорах между ротором и декой (40...50 мм) наблюдается недомолот тритикале.

## Выводы

На уборке смешанных посевов зерновых колосовых и зернобобовых культур можно применять аксиально-роторные зерноуборочные комбайны. При этом необходимо устанавливать частоту вращения ротора 400...450 мин<sup>-1</sup>, а зазор между ротором и декой должен составлять 35 мм.

## Библиографический список

1. Шрейдер Ю.М. Повышение эффективности зерноуборочных комбайнов с аксиально-роторными молотильно-сепарирующими устройствами // Техника и оборудование для села. 2015. № 2 (212). С. 16-19.
2. Белов М.И., Шрейдер Ю.М. Роторные молотильно-сепарирующие устройства // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2015. № 11. С. 43-50.
3. Жалнин Э.В. Какой комбайн выбрать? // Сельский механизатор. 2015. № 4. С. 4-6.
4. Aldoshin N. Methods of harvesting of mixed crops. Proceeding of 6<sup>th</sup> International Conference on Trends in Agricultural Engineering 2016. Part 1. Czech University of Life Sciences Prague – Faculty of Engineering, p. 26-32. ISBN978-80-213-2649-1.
5. Ожерельев В.Н., Жалнин Э.В., Никитин В.В. Перспективы развития конструкции зерноуборочного комбайна // Материалы Международной научно-практической конференции «Энергоэффективность и энергосбережение в современном производстве и обществе». 2018. С. 137-143.
6. Жалнин Э.В., Ценч Ю.С., Пьянов В.С. Методика анализа технического уровня зерноуборочных комбайнов по функциональным и конструктивным параметрам // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2018. Т. 12. № 2. С. 4-8.
7. Ломакин С.Г., Бердышев В.Е. Анализ технического уровня зерноуборочных комбайнов «РОСТСЕЛЬМАШ» // Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Горячкина». 2017. № 6 (82). С. 34-42. DOI: 10.26897/1728-7936-2017-6-34-42.

## References

1. Shreyder Yu.M. Povysheniye effektivnosti zernoubo-rochnykh kombaynov s aksial'no-rotornymi molotil'no-separiruyushchimi ustroystvami [Improving the efficiency of combine harvesters with axial-rotary threshing and separating units]. *Tekhnika i oborudovaniye dlya sela*, 2015; 2 (212): 16-19. (In Rus.)
2. Belov M.I., Shreyder Yu.M. Rotornyye molotil'no-separiruyushchiye ustroystva [Rotor threshing and separating units]. *Traktory i sel'skokhozyaystvennyye mashiny*, 2015; 11: 43-50. (In Rus.)
3. Zhalnin E.V. Kakoy kombayn vybrat'? [Which combine to choose?]. *Sel'skiy mekhanizator*, 2015; 4: 4-6. (In Rus.)
4. Aldoshin N. Methods of harvesting of mixed crops. Proceeding of 6th International Conference on Trends in Agricultural Engineering 2016. Part 1. Czech University of Life Sciences Prague – Faculty of Engineering: 26-32. ISBN978-80-213-2649-1.
5. Ozherel'yev V.N., Zhalnin E.V., Nikitin V.V. Perspektivy razvitiya konstruktsii zernoubochnogo kombayna

[Prospects for the design development of a combine harvester]. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Energoeffektivnost' i energosberezheniye v sovremenном proizvodstve i obshchestve"*, 2018: 137-143. (In Rus.)

6. Zhalnin E.V., Tsench Yu.S., P'yanov V.S. Metodika analiza tekhnicheskogo urovnya zernouborochnykh kombaynov po funktsional'nym i konstruktivnym parametram [Methodology for analyzing the technical level of combine

harvesters by functional and design parameters]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*, 2018, vol 12, 2: 4-8. (In Rus.)

7. Lomakin S.G., Berdyshev V.Ye. Analiz tekhnicheskogo urovnya zernouborochnykh kombaynov "ROSTSEL'MASH" [Analysis of the technical level of "ROSTSELMASH" combine harvesters]. *Vestnik of Moscow Goryachkin Agroengineering University*, 2017: 6 (82): 34-42. DOI: 10.26897/1728-7936-2017-6-34-42. (In Rus.)

#### Критерии авторства

Алдошин Н.В., Бердышев В.Е., Малла Бахаа провели обобщение и написали рукопись. Алдошин Н.В., Бердышев В.Е., Малла Бахаа имеют на статью авторские права и несут ответственность за плагиат.

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила 20.05.2019

#### Contribution

Aldoshin N.V., Berdyshev V.Ye., Mala Bahaa summarized the material and wrote the manuscript. Aldoshin N.V., Berdyshev V.Ye., Mala Bahaa have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

#### Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper.

The paper was received on May 20, 2019

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ АПК / FARM MACHINERY AND TECHNOLOGIES

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL ARTICLE

УДК 631

DOI 10.34677/1728-7936-2019-3-22-27

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РАБОЧЕГО ОРГАНА ДВУХУРОВНЕВОГО ГЛУБОКОРЫХЛИТЕЛЯ

**ТЕЛОВОВ НОРМУРОД КАНДАХОРОВИЧ**, старший преподаватель

E-mail: telovov@mail.ru

**АБДУЛМАЖИДОВ ХАМЗАТ АРСЛАНБЕКОВИЧ**, канд. техн. наук, доцент

E-mail: Hamzat72@mail.ru

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, ул. Тимирязевская, 49, Москва, 127550, Российская Федерация

Целью разработки рабочего органа двухуровневого глубокорыхлителя является уменьшение тяговых сопротивлений при глубоком рыхлении и увеличении степени и качества разрыхления пахотных слоев почв и плужной подошвы. Экспериментальные исследования проводились на грунтовом лотке с уменьшенной моделью нового двухуровневого глубокорыхлителя. Применение данной конструкции направлено на более масштабную обработку профиля почвы внутри контура рыхлителя с уменьшением тяговых сопротивлений. Увеличение степени разрыхления достигается за счёт установки боковых стенок и лемеха рабочего органа под оптимальным углом. Тяговые сопротивления определялись зависимостью от глубины рыхления. Степень разрыхления измерялась по величине «вспученности» почвы на поверхности, а также на поперечном срезе разрыхленного участка. Обработка результатов экспериментальных исследований проведена с использованием методов статистического анализа. Установлено, что при использовании нового двухуровневого глубокорыхлителя тяговые сопротивления рыхлению по сравнению с базовым рабочим органом уменьшаются на 7...10%. При этом степень разрыхления, с обеспечением максимальной однородности комков почвы по всей площади обработки, увеличилась на 10...15%.

**Ключевые слова:** глубокое рыхление почв, глубокорыхлители, качество рыхления, величина «вспученности» почв после рыхления, сопротивление почв рыхлению, плужная подошва.

**Формат цитирования:** Теловов Н.К., Абдулмажидов Х.А. Экспериментальные исследования физической модели рабочего органа двухуровневого глубокорыхлителя // Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Горячкина». 2019. N3(91). С. 22-27. DOI 10.34677/1728-7936-2019-3-22-27