

*Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshyeeprofessional'noyeobrazovaniye*, 2016; 1(41):93-101 (In Rus).

4. Sitnikov N.P. Ob upravlenii semenovodstvom mnogoletnikh trav na regional'nom urovne [Seed production management of perennial grasses at the regional level]. *Kormoproizvodstvo*, 2013; 1: 20-21 (In Rus).

5. Rekomendatsii po primeneniyu novykh vysokoehffektivnykh kleveroterek [Recommendations for the use of new high-performance clover threshers]. Kirov, NIISKH Severo-Vostoka, 2016: 52. (In Rus).

6. Burkov A.I., Simonov M.V., Mokiev V.Yu. Kleveroterka barabannogo tipa s tangentsial'noj podachey [Drum-type clover thresher with tangential feed]. *Sel'skiy mekhanizator*, 2016; 4: 12-15 (In Rus).

7. Protokol No. 06-74-2015 (1070022) ot 21 dekabrya 2015 goda priemochnyh ispytaniy kleveroterki-skari-

fikatora KS-0,2 [Protocol No. 06-74-2015 (1070022) from December 21, 2015 on the acceptance tests of clover thresher and scarifier KC-0,2]. Orichi: FGBU "Kirovskaya gosudarstvennaya zonal'naya mashinoispytatel'naya stantsiya", 2015: 50. (In Rus.).

8. Burkov A.I., Simonov M.V., Mokiev V.Yu. Terochnoye ustroystvo [Device for threshing grass seeds]. Patent RU No. 2549929 C2, 2015 (In Rus.).

9. Burkov A.I., Simonov M.V., Mokiev V.Yu. Rezul'taty issledovaniy vytirayushche-skarificiruyushchego ustrojstva pri vytiranii semyan iz pyzhiny klevera [The research results of threshing-scarification device used for threshing seeds from clover wad]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*, 2013; 3: 59-64 (In Rus.).

10. Burkov A.I., Simonov M.V., Mokiev V.Yu. Terochnoye ustroystvo [Device for threshing grass seeds], Patent RU No. 2638844 C2, 2017 (In Rus.).

#### Критерии авторства

Бурков А.И., Симонов М.В., Мокиев В.Ю., Лазыкин В.А. выполнили экспериментальную работу, на основании полученных результатов провели обобщение и написали рукопись. Бурков А.И., Симонов М.В., Мокиев В.Ю., Лазыкин В.А. имеют на статью авторские права и несут ответственность за плагиат.

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила 1.02.2019

#### Contribution

Burkov A.I., Simonov M.V., Mokiev V.Ju., Lazykin V.A. carried out the experimental work, on the basis of the results summarized the material and wrote the manuscript. Burkov A.I., Simonov M.V., Mokiev V.Ju., Lazykin V.A. 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 1, 2019

## ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ АПК / FARM MACHINERY AND TECHNOLOGIES ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL ARTICLE

УДК 631.312.34

DOI 10.34677/1728-7936-2019-3-12-17

## ЭНЕРГОЁМКОСТЬ ПОЧВЕННОЙ ФРЕЗЫ

**БЕЛОВ МИХАИЛ ИВАНОВИЧ**, докт. техн. наук, профессор<sup>1</sup>

E-mail: B-Mikhael@yandex.ru

**ЗВОЛИНСКИЙ ВИКТОР НИКОЛАЕВИЧ**, инженер<sup>2</sup>

E-mail: vic.nik.ru@yandex.ru

**СЛАВКИН ВЛАДИМИР ИВАНОВИЧ**, докт. техн. наук, профессор<sup>3</sup>

E-mail: mcht@rambler.ru

**МЕЛЬНИКОВ ОЛЕГ МИХАЙЛОВИЧ**, доцент<sup>1</sup>

E-mail: ommelnikov@rambler.ru

<sup>1</sup> Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; ул. Тимирязевская, 49, Москва, 127550, Российская Федерация

<sup>2</sup> Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ; 1-й Институтский проезд, д. 5, Москва, 109428, Российская Федерация

<sup>3</sup> Российский государственный аграрный заочный университет; ш. Энтузиастов, 50, Балашиха, 143907, Московская обл., Российская Федерация

Объектом исследования являлась почвенная фреза с горизонтальной осью вращения рабочих органов, позволяющая повысить качество обработки почвы в сравнении с рабочими органами пассивных орудий. Рассчитана мощность, необходимая для обработки почвы фрезой культиватора фрезерного КФГ-3,6. Определена зависимость мощности от параметров фрезы: скорости движения корпуса, окружной скорости точки лезвия ножа, глубины обработки почвы,

подачи на нож, длины дуги резания. Методами пошагового регрессионного анализа осуществлен поиск уравнения регрессии, адекватно аппроксимирующего зависимость мощности на единицу ширины захвата фрезы от исследуемых параметров. Множественный коэффициент корреляции уравнения регрессии с факторами скорости движения рамы фрезы, длины дуги резания, подачи на нож имеет значение 0,95. Установлено, что при заданном числе ножей на окружности ротора для расчёта удельной мощности, необходимой для обработки почвы фрезой, нужно учитывать три параметра: скорость движения рамы фрезы, длину дуги резания, подачу на нож. Значительное влияние на удельную мощность длины дуги резания объясняется тем, что, наряду с резанием почвы лезвием, на затраты энергии также влияет смятие и расклинивание почвы ножом.

**Ключевые слова:** почвенная фреза, удельная мощность при обработке почвы фрезой, скорость движения корпуса фрезы, подача на нож при фрезеровании почвы.

**Формат цитирования:** Белов М.И., Зволинский В.Н., Славкин В.И., Мельников О.М. Энергоёмкость почвенной фрезы // Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Горячкина». 2019. N3(91). С. 12-17. DOI 10.34677/1728-7936-2019-3-12-17.

## POWER REQUIREMENTS OF A ROTARY TILLER

**MIKHAIL I. BELOV**, DSc (Eng), Professor<sup>1</sup>

E-mail: B-Mikhael@yandex.ru

**VIKTOR N. ZVOLINSKIY**, Engineer<sup>2</sup>

E-mail: vic.nik.ru@yandex.ru

**VLADIMIR I. SLAVKIN**, DSc (Eng), Professor<sup>3</sup>

E-mail: mcht@rambler.ru

**OLEG M. MELNIKOV**, Associate Professor<sup>1</sup>

E-mail: ommelnikov@rambler.ru

<sup>1</sup> Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; Timiryazevskaya Str., 49, Moscow, 127550, Russian Federation

<sup>2</sup> Federal Scientific Agroengineering Center VIM; 1<sup>st</sup> Institutskiy Proyezd Str., 5, Moscow, 109428, Russian Federation

<sup>3</sup> Russian State Agrarian Correspondence University; sh. Entuziastov, 50, Balashiha, Moscow region, 143907, Russian Federation

The paper studies a rotary tiller having a horizontal rotation axis of working tools, which allows to improve the quality of soil tillage as compared with passive working elements. The authors have calculated the power required for soil tillage with a rotary tiller КФГ-3.6 and determined the relationship between the power and the rotary tiller parameters: the body movement speed, the peripheral speed of a knife blade point, the depth of soil tillage, the knife feed, and the cutting arc length. Using the methods of step-by-step regression analysis, the authors determined a regression equation that adequately approximates the relationship between power per unit operating width and the studied parameters. The multiple correlation coefficient of the regression equation with the movement speed factors of the rotary tiller frame, the length of the cutting arc, the knife feed equals 0.95. It has been established that for calculating the specific power required for rotary tillage, with a given number of knives on the rotary tiller circumference, three parameters need to be taken into account: the movement speed of the cutter frame, the cutting arc length, and the knife feed. The significant effect on the specific power of the cutting arc length is explained by the fact that, along with soil cutting with a blade, power requirements are also affected by soil crushing and wedging with the knife.

**Key words:** rotary soil tiller, tillage power requirement.

**For citation:** Belov M.I., Zvolinskiy V.N., Slavkin V.I., Melnikov O.M. Power requirements of a rotary tiller. *Vestnik of Moscow Goryachkin Agroengineering University*. 2019; 3(91): 12-17. (In Rus.). DOI 10.34677/1728-7936-2019-3-12-17.

**Введение.** Применение почвенных фрез позволяет улучшить структуру обрабатываемого слоя за счёт образования комков заданных размеров [1]. Обработка почвы осуществляется нарезанием комков режущими кромками ножей почвенной фрезы и разрушением комков хрупкой почвы после ударов их ножами и защитным ограждением. Кинематика почвенных фрез изучена достаточно полно [2-5]. Вопросы же энергоёмкости почвенных фрез достаточно сложны для теоретического изучения и, как правило, рассматриваются в частных случаях [6-8]. Показателями

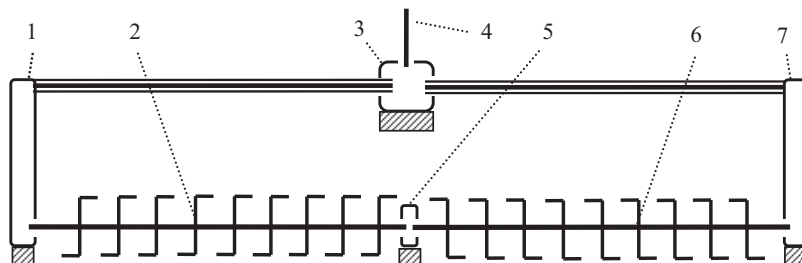
качества обработанной фрезой почвы служат размеры комков и высота гребней на дне борозды. Энергоёмкость обработки почвы фрезой определяется удельной мощностью, приходящейся на единицу ширины захвата машины. Эффективным методом оценки энергоёмкости является регрессионный анализ экспериментальных данных. Представляет интерес оценка влияния на удельную мощность скорости движения орудия, окружной скорости точки лезвия ножа, глубины обработки почвы, подачи на нож и длины дуги резания.

**Цель исследования** – установление зависимости мощности, необходимой для обработки почвы фрезой культиватора КФГ-3,6, определяемой параметрами фрезы: скоростью движения рамы, окружной скоростью точки лезвия ножа, глубиной обработки почвы, подачей на нож, длиной дуги резания.

**Материал и методы.** В работе использованы экспериментальные данные крутящего момента на валу отбора

мощности трактора на холостом ходу и в рабочем режиме при различных скоростях трактора, частоте вращения роторов, глубине обработки почвы, включенных в протокол государственных испытаний культиватора фрезерного КФГ-3,6 (рис. 1) [9].

В слоях почвы, высотой 5 см на глубинах 0, 5 и 10 см, влажность почвы составляла 13,7, 14,2, 15,4%, напряжения разрушения – 0,64, 0,83, 0,91 Мпа соответственно.



**Рис. 1. Схема привода фрезы культиватора фрезерного КФГ-3,6:**

1, 7 – боковые редукторы; 2, 6 – роторы с ножами; 3 – редуктор; 4 – вход от ВОМ трактора; 5 – центральная опора

**Fig. 1. Driving scheme of a rotary tiller of the rotary cultivator КФГ-3,6:**

1, 7 – side reduction gears; 2, 6 – rotors with knives; 3 – gearbox; 4 – input from tractor PTO shaft; 5 – central support

Статистическая обработка данных методами регрессионного анализа произведена с использованием пакета программ «Статистика».

**Результаты и обсуждение.** Введены следующие обозначения к рисунку 2:  $Oxy$  – неподвижная система декартовых координат с осью  $Ox$ , направленной параллельно плоской поверхности почвы вдоль вектора скорости точки оси ротора и перпендикулярной осью  $Oy$ ;  $R$  – расстояние от оси ротора до наиболее удаленной точки планки Г-образного ножа, мм;  $s$  – подача на нож, мм;  $h$  – глубина обработки почвы, мм;  $L$  – длина дуги резания, м;  $\beta$  – угол входа лезвия ножа в почву, рад;  $\varphi$  – угол поворота ротора фрезы с отсчетом от полярной оси, соединяющей ось вращения ротора и лезвие ножа в момент входа в почву в плоскости вращения, рад;  $n$  – частота вращения ротора, об./мин;  $v$  – скорость трактора, м/с;  $v_c$  – окружная скорость точки лезвия ножа или скорость точки при вращении ножа вокруг оси ротора, м/с;  $k$  – число ножей в плоскости вращения;  $P_w, P$  – мощность, необходимая для обработки почвы фрезой, и мощность на единицу ширины захвата, кВт и кВт/м.

Исходные экспериментальные данные по скорости  $v$  корпуса фрезы, частоте  $n$  вращения роторов, глубине  $h$  обработки почвы и мощности  $P_w$  на валу отбора мощности за вычетом мощности на холостом ходу и потерь в приводе приведены в таблице 1 [9].

Принято  $R = 180$  мм;  $k = 3$ ;  $P = P_w/3,6$ . Вместо частоты вращения роторов в качестве независимой переменной рассматривается окружная скорость точки лезвия ножа  $v_c$ , рассчитываемая по формуле  $v_c = (R/1000)n2\pi/60$ .

В число факторов регрессионной модели включены три независимые переменные  $v, v_c, h$  и две расчётные переменные  $s, L$ , функционально связанные с независимыми переменными следующими формулами:

$$s = 2\pi R(v/v_c)/k; \tag{1}$$

$$L = R \int_0^{\pi-2\beta} \sqrt{1 - \frac{2v \sin(\varphi + \beta)}{v_c} + \frac{v^2}{v_c^2}} d\varphi = \int_0^{\pi-2\beta} \sqrt{R^2 - \frac{skR \sin(\varphi + \beta)}{\pi} + \frac{s^2 k^2}{4\pi^2}} d\varphi, \tag{2}$$

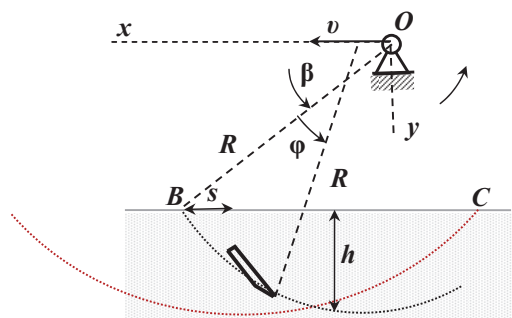
где  $\beta = \arcsin [(R - h)/R]$ .

Равенства (1), (2) показывают, что переменные  $s, L$  зависят от переменных  $v, v_c, h$  и в уравнениях регрессии могут иметь больший эффект, чем одна или две независимые переменные.

Расчёты показали, что корреляционная матрица по переменным  $v, v_c, h, s, L$  плохо обусловлена. Это можно объяснить включением в число регрессоров расчётных переменных  $s, L$ , поэтому регрессионный анализ целесообразно осуществлять пошаговым методом [10].

Для изучения линейных эффектов факторов  $v, v_c, h, s, L$  на удельную мощность  $P$  на первом этапе в модель были включены все факторы.

В таблице 2 приведены уравнения регрессии на каждом шаге, в которых значимые коэффициенты включены в уравнение в порядке значимости.



**Рис. 2. Схема к расчёту угла  $\beta$  входа ножа в почву и длины  $L$  дуги  $BC$  резания**

**Fig. 2. Scheme to the calculation of the angle  $\beta$  of the knife penetration into the soil and the length  $L$  of the cutting arc  $BC$**

## Исходные и расчётные данные испытаний культиватора фрезерного КФГ-3,6

Table 1

## Initial and calculated data of testing the rotary cultivator КФГ-3.6

| $v$ , м/с | $n$ , об./мин | $h$ , мм | $s$ , мм | $L$ , мм | $v_c$ , м/с | $P_w$ , кВт | $P$ , кВт/м |
|-----------|---------------|----------|----------|----------|-------------|-------------|-------------|
| 1,28      | 487           | 58       | 52,6     | 261,2    | 9,18        | 96,3        | 26,8        |
| 1,72      | 487           | 56       | 70,6     | 244,6    | 9,18        | 102,7       | 28,5        |
| 2,05      | 487           | 54       | 84,2     | 230,8    | 9,18        | 110,4       | 30,7        |
| 1,32      | 390           | 60       | 67,7     | 256      | 7,35        | 78,9        | 21,9        |
| 1,73      | 390           | 57       | 88,7     | 235,2    | 7,35        | 77,5        | 21,5        |
| 2,12      | 390           | 54       | 108,8    | 215,4    | 7,35        | 95,2        | 26,4        |
| 1,35      | 321           | 56       | 84,1     | 235,8    | 6,05        | 53,1        | 14,8        |
| 1,75      | 321           | 54       | 109,0    | 215,2    | 6,05        | 56,3        | 15,6        |
| 2,15      | 321           | 53       | 134,0    | 197,7    | 6,05        | 52,6        | 14,6        |
| 1,43      | 390           | 72       | 73,3     | 279,9    | 9,18        | 106,2       | 29,5        |
| 1,32      | 390           | 71       | 67,7     | 281,4    | 7,35        | 111,6       | 31          |
| 1,69      | 390           | 65       | 86,7     | 254,6    | 7,35        | 117,5       | 32,6        |
| 1,33      | 321           | 73       | 82,9     | 275,2    | 6,05        | 89,2        | 24,8        |
| 1,73      | 321           | 68       | 107,8    | 247,2    | 6,05        | 88,1        | 24,5        |
| 2,12      | 321           | 65       | 132,1    | 224,9    | 6,05        | 75,5        | 21,0        |
| 1,28      | 487           | 58       | 52,6     | 261,2    | 9,18        | 96,3        | 26,8        |
| 1,72      | 487           | 56       | 70,6     | 244,6    | 9,18        | 102,2       | 28,4        |
| 2,05      | 487           | 54       | 84,2     | 230,8    | 9,18        | 110,4       | 30,7        |
| 1,43      | 487           | 72       | 58,7     | 290,4    | 9,18        | 116,2       | 32,3        |

Таблица 2

Уравнения регрессии и множественный коэффициент корреляции  $R_k$ 

Table 2

Regression equations and multiple correlation coefficient  $R_k$ 

| Шаг | Уравнение регрессии                                  | $R_k$ |
|-----|--|-------|
| 1   | $P = 3,02 v_c + 2,12^*$                              | 0,72  |
| 2   | $P = 3,20 v_c + 0,36 h - 21,2$                       | 0,85  |
| 3   | $P = 3,44 v_c + 0,47 h + 5,19^* v - 38,6$            | 0,88  |
| 4   | $P = 0,59 h + 28,1 v - 0,43 s - 1,00^* v_c - 12,8^*$ | 0,96  |

\*Незначимые коэффициенты регрессии, т.е. отличные от нуля с достоверной вероятностью меньше 95%

Расчёты показали, что наибольшую вариацию удельной мощности обеспечивает окружная скорость лезвия ножа  $v_c$ , включенная в уравнение на первом шаге. Добавление двух других независимых переменных  $h$  и  $v$  на втором и третьем шагах позволило увеличить множественный коэффициент корреляции, характеризующий адекватность линейной модели с 0,72 до 0,88. Включение на четвертом шаге расчётной переменной  $s$  (подачи на нож) существенно увеличило множественный коэффициент корреляции (до 0,96) и привело к незначимости влияния на мощность окружной скорости. Незначимость окружной скорости  $v_c$  на четвертом шаге можно объяснить тем, что подача  $s$  «учитывает» скорость  $v_c$  согласно формуле (1). Последнее уравнение регрессии, полученное на четвертом шаге, содержит значимые факторы  $h, v, s$ .

На втором этапе фактор  $v_c$  был исключен, так как он оказался незначимым и «заменяемым» фактором  $s$ . Результаты пошагового регрессионного анализа с факторами  $v, h, s, L$  представлены в таблице 3.

Исключение из списка факторов независимой переменной  $v_c$  привело к перераспределению значимых линейных эффектов оставшихся факторов. Итогом трёхшаговой процедуры явилось появление в уравнении регрессии длины дуги резания вместо глубины обработки почвы. При этом множественный коэффициент корреляции уравнения регрессии с факторами  $s, v, L$  равен 0,95. Последние уравнения регрессии на двух этапах имеют фактически одинаковые множественные коэффициенты корреляции (0,957 и 0,954) и практически в равной мере адекватны.

Уравнения регрессии и множественный коэффициент корреляции  $R_k$ 

Table 3

Regression equations and multiple correlation coefficient  $R_k$ 

| Шаг | Уравнение регрессии                   | $R_k$ |
|-----|---------------------------------------|-------|
| 1   | $P = 0,14 L - 8,84^*$                 | 0,60  |
| 2   | $P = 0,32 L + 17,7 v - 82,7$          | 0,84  |
| 3   | $P = 23,6 v + 0,25 L - 0,18 s - 59,3$ | 0,95  |

\* Незначимые коэффициенты регрессии, т.е. отличные от нуля с доверительной вероятностью меньше 95%

Пошаговый регрессионный анализ показал, что при заданном числе ножей на окружности ротора для расчёта удельной мощности, необходимой для обработки почвы фрезой, можно применять три параметра: скорость движения корпуса фрезы, длину дуги резания, подачу на нож. Значительное влияние на удельную мощность длины дуги резания можно объяснить тем, что, наряду с затратами энергии на резание почвы лезвием, от величины дуги зависят также затраты энергии на смятие и расклинивание почвы ножом.

## Выводы

При заданном числе ножей на окружности ротора для расчёта удельной мощности, необходимой для обработки почвы фрезой, рекомендуется использовать три параметра: скорость движения рамы фрезы, длину дуги резания, подачу на нож.

## Библиографический список

1. Синеоков Г.Н., Панов И.М. Теория и расчет почвообрабатывающих машин. М.: Машиностроение, 1977. 328 с.
2. Celik A., Altikat S. 2008. Geometrical analysis of the effects of rotary tiller blade path on the distribution of soil slice size. *Applied Engineering in Agriculture*. Vol. 24(4): 409-413. DOI: 10.13031/2013.25138.
3. Celik A., Ozturk I. and T.R. Way. A Theoretical Approach for Determining the Irregularity of Soil Tillage Depth Caused by Horizontal Axis Rotary Tillers. *Agricultural Engineering International: the CIGR e-journal*. Manuscript PM 08 003. Vol. X. October, 2008.
4. Hendrick J.G. and W.R. Gill. 1978. Rotary-tiller design parameters: Part V. Kinematics. *Transactions of the ASAE* 21(4): 658-664.
5. Belov M. 2018. Kinematics of twin rotary tiller. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 20(4): 91-96. URL: <http://www.cigrjournal.org/index.php/Ejournal/article/view/4852/2884>.
6. Зволинский В.Н., Мосяков М.А., Семичев С.В. Опыт и перспективы применения двухбарабанных ротационных почвообрабатывающих орудий // Тракторы и сельхозмашины. 2016. № 2. С. 24-27.
7. Рамазанова Г.Г., Белов М.И., Гаджиев П.И. Обоснование профиля рабочей поверхности ножа фрезы для обработки почвы // Техника и оборудование для села. 2016. № 2. С. 32-37.
8. Нуралин Б.Н., Константинов М.М. Удельные энергозатраты на фрезерование верхнего слоя почвы // Известия ОГАУ. 2010. № 28-1. С. 65-69. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/udelnye-energozatratty-na-frezerovanie-verhnego-sloya-pochvy>

ru/article/n/udelnye-energozatratty-na-frezerovanie-verhnego-sloya-pochvy (дата обращения: 03.11.2018).

9. Протокол № 33-22-85 государственных приемочных испытаний культиватора глубокорыхлителя КФГ-3,6-01. г. Херсон. 1985 г.

10. Seber G.A.F. and Lee A.J. *Linear Regression Analysis*, Second Edition. John Wiley & Sons, Inc. 2003. 582 p.

## References

1. Sineokov G.N., Panov I.M. *Teoriya i rashchyot pochvoobrabatyvayushchikh mashin* [Theory and calculation of tillage machines]. Moscow, Mashinostroeniye, 1977: 328. (In Rus.).
2. Celik A., Altikat S. 2008. Geometrical analysis of the effects of rotary tiller blade path on the distribution of soil slice size. *Applied Engineering in Agriculture*. Vol. 24(4): 409-413.
3. Celik A., Ozturk I. and T.R. Way. A Theoretical Approach for Determining the Irregularity of Soil Tillage Depth Caused by Horizontal Axis Rotary Tillers. *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal*. Manuscript PM 08 003. Vol. X. October, 2008.
4. Hendrick J.G. and W.R. Gill. 1978. Rotary-tiller design parameters: Part V. Kinematics. *Transactions of the ASAE*. 21(4): 658-664.
5. Belov M. 2018. Kinematics of twin rotary tiller. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 20(4): 91-96.
6. Zvolinskiy V.N., Mosyakov M.A., Semichev S.V. Opyt i perspektivy primeneniya dvukhbarabannykh rotatsionnykh pochvoobrabatyvayushchikh orudiy [Experience and application prospects of double-drum rotary tillage tools]. *Traktory i selhoz mashiny*, 2016; 2: 24-27 (In Rus).
7. Ramazanova G.G., M.I. Belov P.I. Gadzhiev. Obosnovaniye profilya rabochey poverhnosti nozha frezy dlya obrabotki pochvy [Theoretical grounds for designing the work surface profile of a rotary tiller knife]. *Technika i oborudovanie v selhskom khozyastve*, 2016; 2: 32-37. (In Rus.)
8. Nuralin B.N., Konstantinov M.M. Udelniye energozatratty na frezerovaniye verhnego sloya pochvy [Specific energy requirements for rotary tillage of the upper soil layer]. *Izvestiya OGAU*, 2010; 28-1: 65-69. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/udelnye-energozatratty-na-frezerovanie-verhnego-sloya-pochvy> (accessed 03 November 2018) (In Rus.).
9. Protokol No. 33-22-85 gosudarsvennykh priemochnykh ispytaniy kultivatora glubokorykhlitelya KFG-3,6-01 [Protocol No. 33-22-85 of the state acceptance test of the deep tillage cultivator of the deep-ripper КФГ-3.6-01]. Herson. 1985 (In Rus.).
10. Seber G.A.F. and Lee A.J. *Linear Regression Analysis*, Second Edition. John Wiley & Sons, Inc. 2003. 582 p.

**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