

АГРОИНЖЕНЕРИЯ И ПИЩЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

AGRO-ENGINEERING AND FOOD TECHNOLOGIES

Научная статья

УДК 631.314

EDN SISSMM

<https://doi.org/10.22450/1999-6837-2024-18-3-94-102>

Определение параметров прикатывающего катка

Роман Викторович Даманский

Омский аграрный научный центр, Омская область, Омск, Россия

damanskiy@anc.ru

Аннотация. Цель работы – исследование уплотнения почвы прикатывающим катком, состоящим из закрепленных на оси, равномерно расположенных дисков, по окружности которых находятся полосы, осуществляющие дробление и прикатывание почвы. Приведены результаты исследований прикатывающего катка почвы, а также причин, нарушающих агротехнические требования. Представлена задача исследования прикатывающих катков для оценки конструктивных просчетов и поиска новых технических решений, позволяющих оптимизировать работу орудий для уплотнения почвы. Дана принципиальная схема прикатывающего катка почвы, состоящего из закрепленных на оси, равномерно расположенных дисков, по окружности которых находятся полосы, осуществляющие дробление и прикатывание почвы. Приведены результаты экспериментальных исследований и получена многофакторная модель изменения плотности почвы в зависимости от ряда параметров прикатывающего катка: массы катка, количества полос и скорости движения агрегата. Показаны оптимальные технические параметры для прикатывающего катка культиватора, предназначенного для предпосевной обработки почвы. Содержатся выводы экспериментальных исследований, в которых отражена математическая модель изменения плотности поверхностного слоя почвы после обработки прикатывающим катком в зависимости от ряда параметров, таких как масса катка, скорость движения, диаметр диска и количество полос. Установлена оптимальная масса катка в пределах 70–73 кг, оптимальная скорость перемещения катка в диапазоне от 9 до 10,8 км/ч. Рекомендуемое количество полос принято равным 8 шт. Диапазон диаметра диска составляет 0,31–0,34 м.

Ключевые слова: диск, полосы дисков катка, плотность почвы, прикатывающий каток, структура почвы

Для цитирования: Даманский Р. В. Определение параметров прикатывающего катка // Дальневосточный аграрный вестник. 2024. Том 18. № 3. С. 94–102. <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2024-18-3-94-102>.

Original article

Determination of press roller parameters

Roman V. Damanskiy

Omsk Agricultural Research Center, Omsk region, Omsk, Russian Federation

damanskiy@anc.ru

Abstract. The article presents the results of a study of the soil compactor and the reasons that violate agrotechnical requirements. The task of studying compaction rollers is presented to evaluate design flaws and search for new technical solutions to optimize the operation of tools for

soil compaction. A schematic diagram of a soil compacting roller is presented, consisting of evenly spaced disks mounted on an axis, along the circumference of which there are strips that crush and compact the soil. The results of experimental studies are presented and a multifactorial model of changes in soil density is obtained depending on a number of parameters of the compacting roller: the mass of the roller, the number of strips and the speed of movement of the unit. The optimal technical parameters for the press roller of a cultivator intended for pre-sowing tillage are given. The conclusions of experimental studies are presented, which reflect a mathematical model of changes in the density of the surface layer of soil after treatment with a compacting roller depending on a number of parameters, such as the mass of the roller, the speed of movement, the diameter of the disk and the number of stripes. The optimal weight of the roller is determined to be between 70 and 73 kg, the optimal speed of movement of the roller can be in the range from 9 to 10.8 km/h. The recommended number of strips is 8 pcs. Disc diameter range 0.31–0.34 m.

Keywords: disk, disk strips of the roller, soil density, compactor roller, soil structure

For citation: Damanskiy R. V. Determination of press roller parameters. *Dal'nevostochnyj agrarnyj vestnik*. 2024;18;3:94–102. (in Russ.). <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2024-18-3-94-102>.

Введение. Урожайность зерновых культур зависит от качества семян и совершенства агротехники их выращивания. Используемые в настоящее время агротехнические приемы выращивания зерновых включают подготовку почвы под посев (обеспечение требуемой структуры, плотности и влажности почвы), а также обеспечение условий для наилучшего питания и прорастания семян.

В процессе подготовки почвы к посеву особенно важно обеспечить плотность почвы, от которой зависит скорость прорастания семян, их питание кислородом, тепловое состояние в области зерна, влагообмен с окружающей средой. Плотность почвы – важный фактор в процессе развития зерновых культур. Обеспечение требуемой плотности почвы способствует существенному росту урожайности.

Прикатывание почвы осуществляется прикатывающими катками различной конструкции, которые по разным причинам не в полной мере отвечают агротехническим требованиям. Поэтому задача исследования прикатывающих катков с целью поиска новых технических решений по их конструктивному решению в настоящее время является актуальной [1–4, 7].

Цель исследований – изучить процесс уплотнения почвы прикатывающим катком культиваторов для предпосевной обработки почвы, состоящим из закрепленных на оси, равномерно расположенных дисков, по окружности которых находятся полосы, осуществляющие дробление и прикатывание почвы.

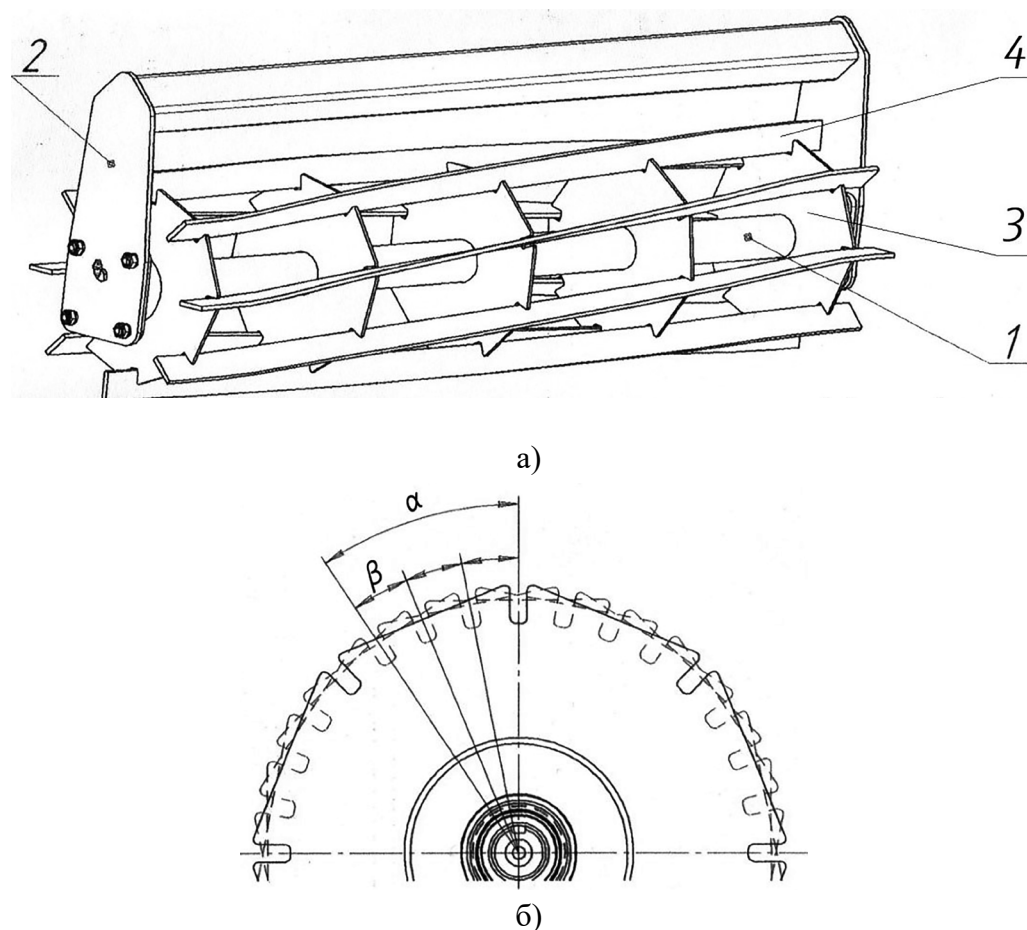
Материалы и методы исследований. Принципиальная конструкция прикатывающего катка показана на рисунке 1.

Прикатывающий каток состоит из вала 1, на котором крепятся диски 3, смещенные друг относительно друга на угол β , и полос 4, установленных в пазы дисков, смещенных друг относительно друга на угол α . Вал в собранном виде крепится в креплении 2. Длина катка составляет 1 070 мм.

Анализ работы представленного прикатывающего катка показал, что основные показатели качества работы, влияющие на будущую урожайность зерновых, зависят от следующих параметров: масса катка, скорость движения, диаметр дисков и количество полос.

Исследования проводили в почвенном канале лаборатории отдела механизации Омского аграрного научного центра. При лабораторном исследовании влияния различных факторов на плотность поверхностного слоя при прикатывании катком был использован активный эксперимент. В качестве плана эксперимента использован четырехфакторный центральный композиционный план второго порядка [1, 4]. Функцией отклика принята плотность поверхностного слоя толщиной 0–8 см, в котором происходит размещение семян зерновых культур в процессе высева [1, 5, 6].

В качестве варьируемых факторов взяты: масса катка (m), кг; диаметр катка (D), м; количество полос (n), шт.; скорость движения (v), м/с.



а) каток в сборе; б) схема смещения дисков
 1 – вал; 2 – крепление катка; 3 – диск; 4 – полоса
 a) assembled roller; b) disk displacement diagram
 1 – shaft; 2 – roller fastening; 3 – disk; 4 – stripe

Рисунок 1 – Принципиальная схема прикатывающего катка

Figure 1 – Schematic diagram of compacting roller

Каждый фактор варьировали на трех уровнях: максимальном, минимальном и нулевом (табл. 1). При этом для исключения разницы в размерностях факторы приводили к безразмерному виду путем кодирования по формуле (1):

$$X = \frac{x - x_0}{\Delta x} \quad (1)$$

где X – кодированное значение фактора;
 x – натуральное значение фактора;
 x_0 – нулевое значение натурального фактора;
 Δx – интервал варьирования фактора.

При кодировании факторов по формуле (1) максимальное значение любого фактора приобретает значение +1, а минимальное значение минус –1.

Матрица четырехфакторного центрального композиционного плана включает 25 экспериментов (16 – полный факторный эксперимент, 8 – эксперимент в звездных точках и один эксперимент в нулевой точке). Плечо звездных точек определяли по формуле (2) [7, 8]:

$$\alpha = \sqrt{\frac{1}{2} \sqrt{NN_0} - N_0} \quad (2)$$

Таблица 1 – Факторы, интервалы и уровни варьирования

Table 1 – Factors, intervals and levels of variation

Уровни и интервал варьирования факторов	Факторы			
	масса катка (m), кг	скорость перемещения (v), км/ч	диаметр диска (D), м	количество полос (n), штук
+1	75	10,8	0,34	10
0	70	9,0	0,32	8
–1	65	7,2	0,30	6
Δx	5	1,8	0,02	2

где N – общее количество точек эксперимента;

N_0 – количество точек полного факторного эксперимента.

Для нахождения числа «а» использовали формулу (3):

$$a = \sqrt{\frac{N_0}{N}} \quad (3)$$

Опыты проводили в трехкратной повторности.

Однородность параллельных опытов проверяли по критерию Кохрена (4):

$$G_p = \frac{S_{imax}^2}{\sum_{i=1}^N S_i^2} \quad (4)$$

где S_{imax}^2 – максимальное значение дисперсии в опыте.

Значимость коэффициентов проверяли по критерию Стьюдента, адекватность модели – по критерию Фишера [9]:

$$F = \frac{S_{ад}^2}{S^2(y)} \quad (5)$$

где $S_{ад}^2$ – дисперсия адекватности;

$S^2(y)$ – дисперсия воспроизводимости.

Плотность почвы находили методом режущего цилиндра по Качинскому в слое 0–10 см после прохода прикатывающего катка в трехкратной повторности [5].

Диаметр диска измеряли измерительной линейкой длиной 1 000 мм. Массу катка измеряли с помощью врезных весов

марки 4D-PMF-12/10 до 150 кг с ценой поверочного деления 50 г.

Скорость устанавливали изменением частоты вращения коленчатого вала двигателя путем изменения подачи топлива [10, 11].

Результаты исследований. В результате обработки полученных экспериментальных данных сформирована математическая модель в кодированном виде, представляющая зависимость плотности поверхностного слоя от массы катка X_1 , скорости движения X_2 , диаметра катка X_3 и количества полос X_4 , следующего вида:

$$Y = 1,122 + 0,0715X_1 - 0,1159X_2 - 0,0007X_3 - 0,0003X_4 + 0,0003X_1X_2 - 0,007X_1X_3 + 0,0004X_1X_4 + 0,009X_2X_3 + 0,0002X_2X_4 + 0,0002X_3X_4 - 0,039X_1^2 + 0,0627X_2^2 + 0,0004X_3^2 + 0,0009X_4^2 \quad (6)$$

Однородность параллельных опытов подтверждена критерием Кохрена. Расчетное значение критерия равно 0,154, табличное значение составляет 0,2354 при $\alpha = 0,95$ и $f_1 = 2, f_2 = 25$.

Расчетное значение критерия Фишера составляет 1,93, тогда как табличное равно 2,02 при $\alpha = 0,95$ и $f_1 = 10, f_2 = 50$.

При расчете зависимости поверхностной плотности почвы от массы (X_1) и скорости движения (X_2), факторы X_3 и X_4 в формуле (6) принимали равными нулю. В этом случае зависимость принимала вид выражения (7):

$$Y = 1,122 + 0,0715X_1 - 0,1159X_2 + 0,0003X_1X_2 - 0,039X_1^2 + 0,0627X_2^2 \quad (7)$$

Результаты расчетов плотности верхнего почвенного слоя по формуле (7) приведены на рисунке 2.

Анализ кривых показывает, что с увеличением массы катка после его прохода плотность поверхностного слоя повышается. В то же время с увеличением скорости плотность поверхностного слоя снижается. При работе катка на скоростях от 9 до 10,8 км/ч для обеспечения требуемой плотности поверхностного слоя на уровне 1–1,2 г/см³ [2, 3] необходима масса катка от 70 до 73 кг.

При расчете зависимости поверхностной плотности почвы от массы (X_1) и диаметра диска (X_3), факторы X_2 и X_4 в формуле (6) принимали равными нулю. В этом случае зависимость имела вид выражения (8):

$$Y = 1,122 + 0,0715X_1 - 0,0007X_3 - 0,007X_1X_3 - 0,039X_1^2 + 0,0004X_3^2 \quad (8)$$

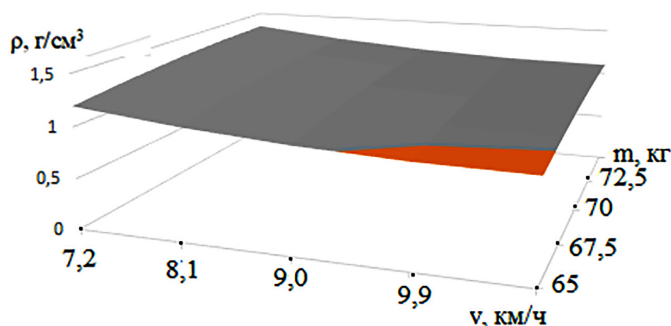


Рисунок 2 – Зависимость плотности поверхностного слоя в почвенном канале после прохода уплотняющего катка ($D = 0,32$ м, $n = 8$)

Figure 2 – Dependence of surface soil layer density in tray after compacting roller passage ($D = 0.32$ m, $n = 8$)

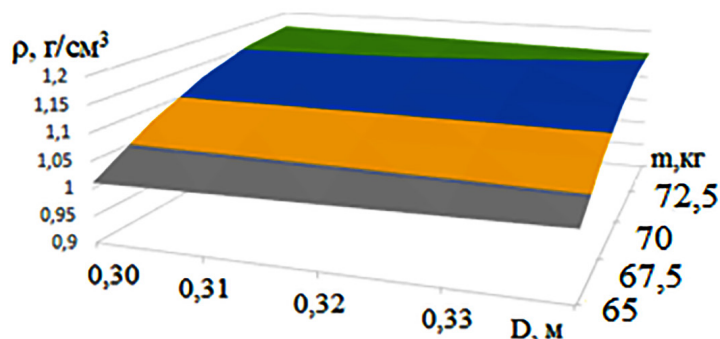


Рисунок 3 – Зависимость плотности поверхностного слоя почвы от массы катка и диаметра диска при скорости и количестве пластин катка, равных нулю

Figure 3 – Dependence of surface soil layer density on roller mass and disk diameter at speed and number of plates equal to 0

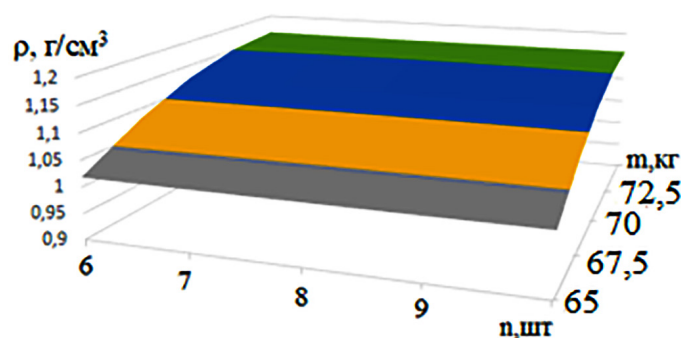


Рисунок 4 – Зависимость плотности поверхностного слоя почвы от массы катка и количества пластин

Figure 4 – Dependence of surface soil layer density on roller mass and number of plates

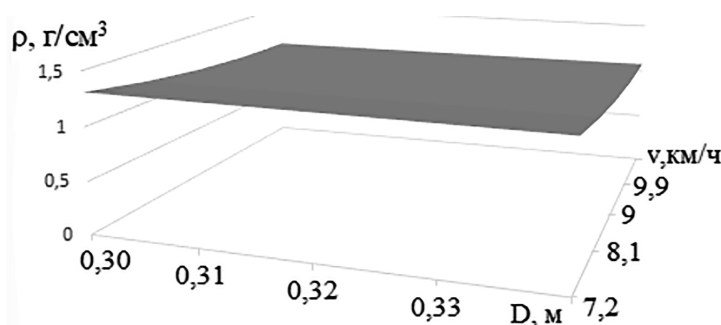


Рисунок 5 – Зависимость плотности поверхностного слоя почвы от скорости и диаметра диска

Figure 5 – Dependence of surface soil layer density on speed and disk diameter

диаметра диска. Поверхность показывает, что плотность поверхностного слоя при увеличении скорости движения уменьшается. При скоростях от 9 км/ч и выше, а также диаметре диска от 0,31 м и выше плотность поверхностного слоя почвы находится в допустимых пределах.

На рисунке 6 приведена поверхность, характеризующая влияние на плотность поверхностного слоя скорости и количества полос. Анализ графика показывает, что при скорости 7,2 км/ч при любом из исследуемых значений полос величина плотности поверхностного слоя почвы превышает допустимую величину; при скоростях, превышающих 8,1 км/ч, при числе полос, исследуемых в опыте, плотность поверхностного слоя находится в пределах, допускаемых агротехникой возделывания зерновых.

На рисунке 7 показана поверхность, характеризующая влияние на плотность поверхностного слоя диаметра и количе-

ства полос катка. Анализ графика показывает, что взаимное влияние диаметра и количества полос приводит к получению плотности поверхностного слоя, соответствующей допустимой величине.

Закключение. 1. Получена математическая модель изменения плотности поверхностного слоя почвы после обработки прикатывающим катком в зависимости от массы катка, скорости движения, диаметра диска и количества полос.

2. Установлено, что масса катка должна находиться в пределах 70–73 кг.

3. Установлено, что скорость движения катка может находиться в диапазоне от 9 до 10,8 км/ч.

4. Количество полос рекомендуется принимать равным 8.

5. Диаметр диска можно принимать в диапазоне от 0,31 до 0,34 м.

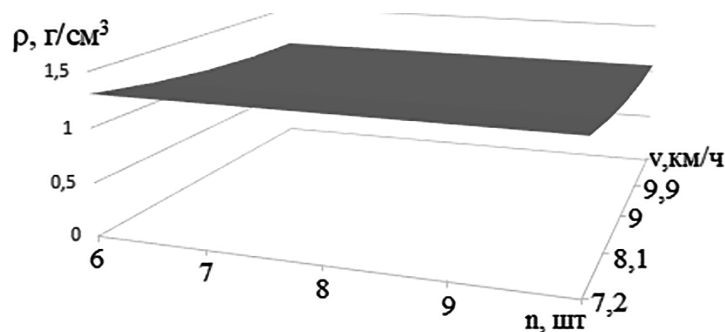


Рисунок 6 – Зависимость плотности поверхностного слоя почвы от скорости и количества полос

Figure 6 – Dependence of surface soil layer density on speed and number of n-strips

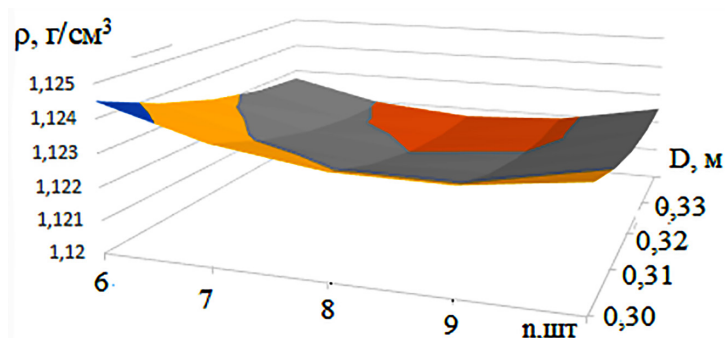


Рисунок 7 – Зависимость плотности поверхностного слоя почвы от диаметра и количества полос

Figure 7 – Dependence of surface soil layer density on diameter and number of n-strips

Список источников

1. Shuliko N. N., Khamova O. F., Timokhin A. Y., Boiko V. S., Tukmacheva E. V., Krempa A. Influence of long-term intensive use of irrigated meadow-chernozem soil on the biological activity and productivity of the arable layer // Scientific Reports. 2022. Vol. 12. No. 1. P. 14672. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-18639-1>.
2. Союнов А. С., Прокопов С. П., Головин А. Ю., Сабиев У. К., Мальцева Е. И. Изыскание современных факторов, влияющих на эффективность работы машинно-тракторных агрегатов // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2021. № 4 (44). С. 232–240. https://doi.org/10.48136/2222-0364_2021_4_232.
3. Дубенок Н. Н. Мелиорация земель – основа успешного развития агропромышленного комплекса // Мелиорация и водное хозяйство. 2013. № 3. С. 7–9. EDN QALAEED.
4. Даманский Р. В., Керученко Л. С. К вопросу о повышении долговечности распылителей форсунок // Перспективные технологии в аграрном производстве: человек, «цифра», окружающая среда (AgroProd 2021) : материалы междунар. науч.-практ. конф. Омск : Омский государственный аграрный университет имени П. А. Столыпина, 2021. С. 304–310. EDN MLLAXT.
5. Виноградов Н. Н., Захаров С. В., Мальцева Е. И., Кузьмин Д. Е. Сравнительные характеристики почвообрабатывающих машин на глубокой безотвальной обработке почвы // Научное и техническое обеспечение АПК, состояние и перспективы развития : материалы IV междунар. науч.-практ. конф. Омск : Омский государственный аграрный университет имени П. А. Столыпина, 2020. С. 57–61. EDN NOPGGW.

6. Даманский Р. В., Керученко Л. С., Немцев А. Е. Исследование параметров износа уплотняющего пояса запорного конуса иглы распылителя форсунки ФД-22 при работе на дизельном топливе с добавкой // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2020. № 4 (40). С. 118–124. EDN PPBEDE.

7. Zaripova N. A., Soyunov A. S., Prokopov S. P., Golovin A. Y., Abdylmanova R. K. Technology of antierosive soil surface deriving // Innovative technologies in engineering : IX International Scientific Practical Conference. Yurga : Institute of Physics Publishing, 2018. P. 012012. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1059/1/012012>.

8. Eben E. Verfahren zur Abtrennung von Rubenerde // Zuckerindustrie. 2000. Vol. 125 (1). P. 13–17.

9. John Deere // СибзаводАгро. URL: <https://sibzavodagro.ru/tehnika/posevnaya/seyal-skp-21> (дата обращения: 14.06.2022).

10. Чекусов М. С., Кем А. А., Михальцов Е. М., Даманский Р. В., Шмидт А. Н. Современные цифровые технологии в растениеводстве АПК Омской области // Инновационные технологии в АПК как фактор развития науки в современных условиях : материалы VI междунар. науч.-практ. конф. Омск : Омский государственный аграрный университет имени П. А. Столыпина, 2021. С. 180–185. EDN PBEGDJ.

11. Lykhovyd P., Lavrenko S., Ushkarenko V., Maksymov M., Lavrenko N. Beans (*Phaseolus vulgaris* L.) yields forecast using normalized difference vegetation index // International Journal of Agricultural Technology. 2022. Vol. 18. No. 3. P. 1033–1044. EDN CWDDYV.

References

1. Shuliko N. N., Khamova O. F., Timokhin A. Y., Boiko V. S., Tukmacheva E. V., Krempa A. Influence of long-term intensive use of irrigated meadow-chernozem soil on the biological activity and productivity of the arable layer. Scientific Reports, 2022;12;1:14672. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-18639-1>.

2. Soyunov A. S., Prokopov S. P., Golovin A. Yu., Sabiev U. K., Maltseva E. I. The investigation of modern factors affecting the efficiency of machine and tractor aggregates. *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2021;4(44):232–240. https://doi.org/10.48136/2222-0364_2021_4_232 (in Russ.).

3. Dubenok N. N. Land reclamation is the basis of national agricultural complex improvement. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo*, 2013;3:7–9. EDN QALAEED (in Russ.).

4. Damanskiy R. V., Keruchenko L. S. On the issue of increasing the durability of spray nozzles. Proceedings from Promising technologies in agricultural production: human, digital, environment (AgroProd 2021): *Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya*. (PP. 304–310), Omsk, Omskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet imeni P. A. Stolypina, 2021. EDN MLLAXT (in Russ.).

5. Vinogradov N. N., Zakharov S. V., Maltseva E. I., Kuzmin D. E. Comparative characteristics of tillage machines for deep tillage. Proceedings from Scientific and technical support of agro-industrial complex, status and prospects of development: *VI Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya*. (PP. 57–61), Omsk, Omskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet imeni P. A. Stolypina, 2020. EDN HOPGGW (in Russ.).

6. Damanskiy R. V., Keruchenko L. S., Nemtsev A. E. A study on the wear parameters of the sealing belt of the needle locking cone of the nozzle sprayer FD-22 when operating on mixed diesel fuel. *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2020;4(40):118–124 EDN PPBEDE (in Russ.).

7. Zaripova N. A., Soyunov A. S., Prokopov S. P., Golovin A. Y., Abdylmanova R. K. Technology of antierosive soil surface deriving. Proceedings from Innovative technologies in engineering: IX International Scientific Practical Conference. (PP. 012012), Yurga, Institute of Physics Publishing, 2018. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1059/1/012012>.

8. Eben E. Verfahren zur Abtrennung von Rubenerde. Zuckerindustrie, 2000;125(1):13–17.

9. John Deere. *Sibzavodagro.ru* Retrieved from <https://sibzavodagro.ru/tehnika/posevnaya/seyalka-skp-21> (Accessed 14 June 2022) (in Russ.).

10. Chekusov M. S., Kem A. A., Mihaltsov E. M., Damanskiy R. V., Schmidt A. N. Modern digital technologies in crop production of the agro-industrial complex in Omsk region. Proceedings from Innovative technologies in agro-industrial complex as a factor of science development in modern conditions: *VI Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya*. (PP. 180 –185), Omsk, Omskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet imeni P. A. Stolypina, 2021. EDN PBEGDJ (in Russ.).

11. Lykhovyd P., Lavrenko S., Ushkarenko V., Maksymov M., Lavrenko N. Beans (*Phaseolus vulgaris* L.) yields forecast using normalized difference vegetation index. *International Journal of Agricultural Technology*, 2022;18;3:1033–1044. EDN CWDDYV.

© Даманский Р. В., 2024

Статья поступила в редакцию 18.07.2024; одобрена после рецензирования 20.08.2024; принята к публикации 27.08.2024.

The article was submitted 18.07.2024; approved after reviewing 20.08.2024; accepted for publication 27.08.2024.

Информация об авторе

Даманский Роман Викторович, кандидат технических наук, научный сотрудник, Омский аграрный научный центр, damanskiy@anc.ru

Information about the author

Roman V. Damanskiy, Candidate of Technical Sciences, Researcher, Omsk Agricultural Research Center, damanskiy@anc.ru