

## ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 631.31:631.5:631.158(477.7)

DOI: 10.26897/2687-1149-2023-5-40-45



## Оценка эффективности почвообрабатывающих элементов глубоких рыхлителей с применением коэффициента рационального использования

Ушаков Александр Евгеньевич, канд. техн. наук, старший преподаватель

sashka-ushakov@mail.ru

Скамарохов Никита Викторович<sup>✉</sup>, аспирант<sup>1</sup>

skamarohov95@yandex.com<sup>✉</sup>

Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А.К. Кортунова – филиал Донского государственного аграрного университета; 346428, Российская Федерация, Ростовская обл., г. Новочеркасск, Пушкинская ул., 111

**Аннотация.** В условиях увеличения объемов производства и оборота сельскохозяйственных культур деградация почвы, связанная с ветровой и водной эрозией, приводит к истощению плодородной земли и снижению урожайности. Одним из способов повышения защитной способности обработанных участков является глубокое рыхление. Разработка способов оценки эффективности и прогнозирования использования почвообрабатывающих элементов, учитывающих экономические, качественные и агротехнические требования, является актуальной задачей. С целью рационального выбора почвообрабатывающего элемента сравнивались серийно выпускаемые отечественные и зарубежные долота, их механико-экономические параметры и агротехнические требования, предъявляемые к глубокой обработке почв Южного федерального округа. Для оценки эффективности рабочих органов почвообрабатывающих орудий использован анализ математических моделей и математических методов. Прогнозирование ресурса их наработки и оценки качества рыхления осуществлялось с помощью алгоритма, разработанного в среде Matlab. Алгоритм позволил рассчитать коэффициент рационального использования долота на основе данных его толщины и угла установки, начального размера комка почвы и степени крошения. Коэффициент рационального использования учитывает конструктивные параметры долота (марка стали, толщина, угол заточки и твердость), экономические (цена и заявленный ресурс) и агротехнические (глубина обработки) параметры. Зная коэффициент рационального использования, можно на стадии проектирования или приобретения получить примерную оценку качества орудия. Это позволяет сократить ненужные расходы, выявить недостатки конструкции, определить теоретическую степень крошения пассивными рабочими органами и выбрать оптимальное орудие с учетом экономических, качественных и агротехнических требований.

**Ключевые слова:** коэффициент рационального использования, долото, глубокое рыхление, ресурс, глубина обработки, конструктивные параметры долота

**Финансирование.** Исследование проводилось при поддержке и финансировании Фонда содействия инноваций в рамках договора «Старт-1»: Договор от 15 ноября 2021 г. 4290ГС1/70521. Вн. код 0070521; заяв. (С1-106429).

**Формат цитирования:** Ушаков А.В., Скамарохов Н.В. Оценка эффективности почвообрабатывающих элементов глубоких рыхлителей с применением коэффициента рационального использования // Агроинженерия. 2023. Т. 25, № 5. С. 40-45. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-5-40-45>.

© Ушаков А.В., Скамарохов Н.В., 2023

## ORIGINAL ARTICLE

### Estimation of the operating efficiency of deep loosening soil tillage elements using the rational utilisation factor

Aleksandr E. Ushakov, CSc (Eng), Senior Lecturer

sashka-ushakov@mail.ru

Nikita V. Skamarokhov<sup>✉</sup>, postgraduate student<sup>1</sup>

skamarohov95@yandex.com

Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute named after A.K. Kortunov – Branch of Don State Agrarian University; 111, Pushkinskaya Str., Novocherkassk, Rostov region, 346428, Russian Federation

**Abstract.** In conditions of increasing production and turnover of agricultural crops, soil degradation associated with wind and water erosion leads to depletion of fertile land and reduction of crop yields. One of the ways to increase the protective capacity of cultivated areas is deep loosening. The development of methods for assessing the efficiency and forecasting

the use of tillage elements, taking into account economic, qualitative and agrotechnical requirements is an urgent task. To provide for the rational choice of a tillage element, the authors compared commercially produced domestic and foreign chisels, their mechanical and economic parameters and agrotechnical requirements for deep tillage of soils in the Southern Federal District. The analysis of mathematical models and methods was applied to evaluate the efficiency of working elements of soil tillage implements. Forecasts of their service life and loosening quality evaluation were made based on the algorithm developed in Matlab. The algorithm was used to calculate the rational utilisation factor of the chisel based on the data of its thickness and angle of installation, the initial size of the soil clod and the degree of crumbling. The rational utilization factor takes into account chisel design parameters (steel grade, thickness, sharpening angle and hardness), economic (price and estimated service life) and agrotechnical (depth of cultivation). Knowing the rational utilisation factor, we can get a rough estimate of the tool quality at the stage of design or purchase. This solution will reduce unnecessary costs, identify design deficiencies, determine the theoretical degree of crumbling by passive working elements and select the optimal tool taking into account economic, qualitative and agrotechnical requirements.

**Keywords:** rational utilisation factor, bit, deep loosening, resource, working depth, chisel design parameters

**Funding.** The research was supported and financed by the Foundation for Promotion of Innovations under the contract “Start-1” Contract 4290GS1/70521 from 15.11.2021 Code 0070521 application (C1-106429).

**For citation:** Ushakov A.E., Skamarokhov N.V. Estimation of the operating efficiency of deep loosening soil tillage elements using the rational utilisation factor. *Agricultural Engineering (Moscow)*, 2023;25(5):40-45. (In Rus.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-5-40-45>.

**Введение.** В Российской Федерации эрозии подвержены свыше 117 млн га земель сельскохозяйственного назначения<sup>1</sup>. Актуальность проблемы деградации почв подтверждается анализом запросов в Google Trends за последние 10 лет. Учёные всего мира пытаются решить задачу существенного снижения влияния дефляции на продуктивность почв.

Ветровая и водная эрозия является одной из основных проблем земель Южного федерального округа. Одним из способов повышения защитной способности обработанных участков является глубокое рыхление поперёк склона [1]. Данная операция осуществляется путём разрушения почвенного пласта при помощи глубокорыхлителя или чизельных плугов на глубину от 40 до 60 см в зависимости от высаживаемой культуры и сформированных ядер уплотнений. Глубокое рыхление повышает влагопроницаемость почвы и способствует переходу поверхностного стока в нижележащие слои почвы. К тому же снижение плотности и повышение пористости почвы приводят к большему насыщению её кислородом и росту аэробных микроорганизмов.

Глубокое рыхление заменяет более энергоемкую обработку – вспашку. Однако при работе на такой глубине почвообрабатывающие агрегаты испытывают высокие нагрузки. Как следствие, рабочие элементы в агрессивной среде подвержены интенсивному абразивному износу и имеют небольшой ресурс. В настоящее время не существует методов оценки рационального использования элементов глубокорыхлителей и чизельных плугов (долото), подверженных интенсивному износу и высоким тяговым нагрузкам.

<sup>1</sup> Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации в 2019 году. М.: ФГБНУ Росинформагротех», 2021. 404 с.

**Цель исследований:** определение рационального выбора долота при глубоком рыхлении на почвах Южного федерального округа.

**Материалы и методы.** Изучены теоретические аспекты в области физики почвогрунтов и проведён анализ статей по оценке работоспособности и качества рыхления разнообразными орудиями<sup>2</sup> [2-4]. Из отчётов докладов Минсельхоза и Росстата<sup>1</sup> получены данные о почвах, подверженных различным факторам деградации, в том числе водной и ветровой эрозии.

Для оценки эффективности рабочих органов почвообрабатывающих орудий был применён анализ математических моделей и математических методов [5, 6]. Для прогнозирования ресурса их наработки и оценки качества рыхления использовались алгоритмы, разработанные в среде Mathcad и Matlab. Популярность проблемы и её динамическое развитие выявлялись при анализе запросов в Google Trends.

Для определения лучшего решения необходимо ввести обобщённый показатель рационального использования долота  $K_{р.исп}$ , включающий в себя его экономические и качественные характеристики с учётом агротехнических требований с иерархической структурой построения. Согласно ГОСТ 15467-79 показатель – это характеристика свойств объекта (количественная), входящая в его качество, рассматриваемая при определённых условиях его создания или применения<sup>3</sup>.

<sup>2</sup> Панов И.М., Ветехин В.И. Физические основы механики почв: монография. Киев: Феникс, 2008. 266 с.

<sup>3</sup> ГОСТ 15467-79. Управление качеством продукции. Основные понятия термины и определения, с изм. № 1. М.: Стандартинформ, 2009. 22 с.

Чтобы правильно выбрать долото, необходимо определить факторы, влияющие на его эффективность. В таблице 1 представлены серийно выпускаемые отечественные и зарубежные долота, их механико-экономические параметры, заявленные производителями, и некоторые агротехнические требования, предъявляемые к глубокой обработке почвы.

Обобщённый показатель рационального использования долота  $K_{р.исп}$ , руб/га, можно определить по формуле:

$$K_{р.исп} = \frac{U}{K_{кач}}, \quad (1)$$

где  $U$  – удельные затраты на обработку 1 га, руб./га;  $K_{кач}$  – качественный показатель выбранного сменного элемента с учётом теоретической степени крошения  $\lambda$  при обработке почвы на глубину 60 см.

$$U = \frac{C}{T}, \quad (2)$$

где  $T$  – заявленный производителем ресурс долота;  $C$  – стоимость долота, руб.

Смысл обобщённого показателя рационального использования долота заключается в учёте экономических затрат на глубокую обработку почвы, качественных характеристик самого элемента и интегрального показателя качества рыхления. Чем меньше показатель эффективности, тем меньше финансовых затрат на обработку 1 га за счёт качественных параметров выбранного почвообрабатывающего элемента, то есть  $K_{р.исп} \rightarrow \min$ .

На ранней стадии выбора примерную оценку качества использования долота можно получить с помощью коэффициента качества ( $K_{кач} \rightarrow \max$ ).

Качественный коэффициент позволяет получить количественную оценку физико-механических свойств долота.

Согласно [2] элементы коэффициента качества  $K_{кач}$  можно представить в виде аддитивного выражения процентов, заложенных в ограничениях по производству и в некоторых агротехнических требованиях. Выбор данных показателей обусловлен простотой получения информации от производителей почвообрабатывающих элементов, а также известными агротехническими требованиями к глубокой обработке почвы:

$$K_{кач} = K_{\sigma} + K_{\beta} + K_H + K_h + K_{sr} + K_{\lambda}, \quad (3)$$

где  $K_{\sigma}$  – коэффициент прочности;  $K_{\beta}$  – коэффициент угла заточки;  $K_H$  – коэффициент твёрдости;  $K_h$  – коэффициент глубины обработки почвы;  $K_{sr}$  – коэффициент сменности;  $K_{\lambda}$  – коэффициент степени крошения.

Марка стали и её количественный аналог заменяются на прочность, которая рассчитывается согласно теории прочности:

$$\sigma_{теор} \approx 0,1E,$$

где  $E$  – модуль Юнга (максимальная из возможных по данным маркам стали прочность составляет 100%);

$$K_{\sigma} = \frac{\sigma}{21600}, \quad (4)$$

где  $\sigma$  – прочность согласно марке стали.

Таблица 1

Сравнение параметров почвообрабатывающих элементов отечественного и зарубежного производства

Table 1

Comparison of parameters of soil tillage elements of domestic and foreign manufacturing

Сравниваемые величины <i>Comparable values</i>	Почвообрабатывающий элемент (долото) / <i>Tillage element (chisel)</i>					
	Оборотное, <i>Gaspardo, rotary</i>	<i>Gregoire Besson</i>	<i>Case Ecolotaiger</i>	<i>Horsch MulchMix</i>	СабСоил	Агросервер
						
	<b>Конструктивный параметр / <i>Design parameter</i></b>					
Марка стали / <i>Steel grade</i>	15НЗМА	65Г	70Г	65 Mn	65Г	G15660
Твёрдость, НВ / <i>Hardness, HB</i>	269	285	425	240	325	345
Угол заточки, ° / <i>Angle of sharpening, deg</i>	≈45	≈40	≈45	≈30	≈15	≈18
Толщина долота, мм / <i>Chisel thickness, mm</i>	40	40	25	20	30	14
	<b>Экономический показатель / <i>Economic indicator</i></b>					
Цена, руб. / <i>Price, rub</i>	9612	7500	19500	4400	3450	13500
Заявленный ресурс, га / <i>Indicated service life, ha</i>	До 1500	До 1200	До 2000	До 600	До 1000	До 1850
	<b>Агротехнический показатель / <i>Agrotechnical indicator</i></b>					
Глубина обработки, см / <i>Working depth, cm</i>	40...60	40...60	30...50	30...50	45...65	30...45

Угол установки долота является существенным показателем, отвечающим за качество проведённой обработки, и характера износа. Угол установки режущих элементов  $45^\circ$  обоснован рациональным выбором направления линий скольжения почвенной стружки<sup>2</sup>:

$$K_\beta = \frac{\beta}{45^\circ}, \quad (5)$$

где  $\beta$  – угол установки режущих элементов на выбранных образцах.

Одним из начальных пунктов формирования эффективности использования разнообразных элементов почвообрабатывающей техники является установление связи между условиями функционирования объекта и целесообразностью затрат [2].

Твёрдость  $H$  ограничивается максимально возможным уровнем её повышения до приемлемой хрупкости:

$$K_H = \frac{H}{425}. \quad (6)$$

Согласно данным литературы [7, 8] глубина обработки почвы адаптируется под культуры и сформированное внутри почвы уплотнение. При глубоком рыхлении глубина обработки  $h$  должна составлять 60 см [9]:

$$K_h = \frac{h}{60}. \quad (7)$$

Дополнительный коэффициент сменности  $K_{sr}$  позволяет определить, сколько раз механизатору необходимо сменить долото относительно лучшего из сравниваемых вариантов:

$$K_{sr} = \frac{T}{2000}, \quad (8)$$

где  $T$  – заявленный производителем ресурс работы долота.

Качество проведённой обработки оценивается с помощью алгоритма оценки теоретической степени крошения  $\lambda$  пассивными рабочими органами [10].

Лучшая степень крошения достигается активными рабочими органами и составляет 9-10:

$$K_\lambda = \frac{\lambda}{9,5};$$

$$\lambda = D / d. \quad (9)$$

Необходимо учесть, что на территории Южного федерального округа преобладают каштановые, серые лесные и чернозёмные почвы. Они, как правило, являются плодородными и имеют высокий процент органического вещества, что уменьшает удельные и экономические затраты на их обработку. Как известно, модуль упругости почвы зависит от многих факторов. Для таких почв влажность варьируются от 8 до 30%, твёрдость – соответственно 2...8 и 30...80 МПа.

**Результаты и их обсуждение.** Зарубежные [11-13] и отечественные ученые [2, 7-9] отмечают высокую эффективность применения технологии глубокой обработки почвы для снижения водной и ветровой эрозии. Рабочими органами глубоких рыхлителей и чизельных плугов являются стойки, оснащённые разным видами долота. Их разнообразие объясняется тем, что правильно выбранное долото под соответствующие условия и режимы работы позволит фермерам повысить качество обработки почв и рентабельность хозяйства.

С помощью коэффициента рационального использования долота  $K_{р.исп}$  можно достаточно быстро и без сложных математических действий принять решение по выбору почвообрабатывающего элемента при использовании на определённых почвах с учётом его качества.

Проведём сравнение рабочих органов глубоких рыхлителей разных производителей с помощью алгоритма, разработанного в среде Matlab [10] (табл. 2). По полученным данным рассчитан коэффициент рационального использования долота (табл. 3).

Анализируя данные таблицы 3, можно сказать, что долото итальянской фирмы

Таблица 2

Данные, полученные с помощью алгоритма

Table 2

Data obtained with the help of the algorithm

Показатель Indicator	Долото, производитель / Chisel, manufacturer					
	Оборотное, Gaspardo rotary	Gregoire Besson	Case Ecolotaiger	Horsch MulchMix	СабСоил	Агросервер
Толщина долота, мм / Chisel thickness, mm	40	40	25	20	30	14
Угол установки, ° / Angle of installation, °	45	40	45	30	15	18
Начальный размер комка почвы, D, м / Initial soil clod size, D, m	0,089	0,09	0,0812	0,0814	0,089	0,0796
Степень крошения, $\lambda$ / Crumbling degree, $\lambda$	2,9	2,8	2,91	2,77	2,8	2,75

Таблица 3

## Коэффициент рационального использования долота

Table 3

## Rational utilisation factor of the chisel

Показатель <i>Indicator</i>	Долото, производитель / <i>Chisel, manufacturer</i>					
	Оборотное, <i>Gaspardo rotary</i>	<i>Gregoire Besson</i>	<i>Case Ecolotaiger</i>	<i>Horsch MulchMix</i>	СабСоил	Агросервер
$K_{\sigma}$	1,00	0,96	1,00	0,94	0,96	0,94
$K_{\beta}$	1,00	0,89	1,00	0,67	0,89	0,56
$K_H$	0,63	0,67	1,00	0,56	0,76	0,81
$K_h$	0,83	0,83	0,67	0,67	0,92	0,67
$K_{sr}$	0,75	0,60	1,00	0,30	0,35	0,925
$K_{\lambda}$	0,305	0,295	0,306	0,292	0,295	0,289
$K_{\text{квч}}$	4,515	4,245	4,976	3,432	4,175	4,194
$U$	6,41	6,25	9,57	7,33	5,86	7,3
$K_{\text{р,исп}}$	1,42	1,47	1,96	2,14	1,40	1,74

Gaspardo ( $K_{\text{р,исп}} = 1,42$ ), французского производителя Gregoire Besson ( $K_{\text{р,исп}} = 1,47$ ) и отечественного производителя СабСоил ( $K_{\text{р,исп}} = 1,4$ ) является лучшим. Однако стоит отметить, что у отечественного долота коэффициент сменности –  $K_{sr} = 0,35$ , что говорит о необходимости более частой замены элемента, но это несущественно снизит коэффициент его использования.

Оценка теоретической степени крошения пассивными рабочими органами и экономический показатель (затраты, руб. на 1 га обработанного участка) оказывают существенное влияние на качественный коэффициент. При увеличении стоимости повышается качество выбираемого почвообрабатывающего элемента, а дальнейшее увеличение качества сопряжено с существенным повышением экономических затрат.

## Список использованных источников

1. Ушаков А.Е. Разработка и испытание почвообрабатывающего орудия для проведения мелиоративного глубокого рыхления склоновых земель // Вестник НГИЭИ. 2022. № 2 (129). С. 31-40. <https://doi.org/10.24412/2227-9407-2022-2-31-40>
2. Щириков В.Н., Пархоменко Г.Г. Метод оценки эффективности глубоких рыхлителей нового поколения по энергозатратам и качеству обработки почвы // Проблемы механизации и электрификации сельского хозяйства: Материалы Всероссийской научно-практической конференции, Краснодар, 6 декабря 2013 г. Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет, 2014. С. 176-181. EDN: SLLQAX
3. Хусниязов И.И., Ружьев В.А., Калинин А.Б. Управление качеством работы культиватора-глубокорыхлителя при дифференциальной по глубине обработке почвы // Роль молодых учёных и исследователей в решении актуальных задач АПК: Материалы Международной научно-практической конференции молодых учёных и обучающихся. СПб. – Пушкин, 2020. Ч. 1. С. 354-356. EDN: WMFNWT
4. Салахов И.М. Агротехнические аспекты применения рабочего органа для безотвальной обработки почвы //

## Выводы

1. Обладая данными об обрабатываемых почвах в совокупности с предварительной теоретической оценкой качества рыхления, можно подобрать экономически выгодный почвообрабатывающий элемент (долото), применяя рациональный коэффициент использования. Это позволит сократить ненужные расходы, спрогнозировать период эксплуатации конструкции, выявить теоретическую степень крошения пассивными рабочими органами.

2. Применив экспериментальные данные и агротехнические требования, выдвигаемые к виду обработки, можно получить закономерности и зависимости между качественными, агротехническими и экономическими показателями рабочих органов почвообрабатывающих машин.

## References

1. Ushakov A.E. Development and testing of tillage tools for reclamation deep loosening of sloping lands. *Vestnik NGIEI*. 2022;2(129):31-40. (In Rus.) <https://doi.org/10.24412/2227-9407-2022-2-31-40>
2. Shchirov V.N., Parkhomenko G.G. Method for assessing the efficiency of new generation deep loosening machines in terms of energy inputs and tillage quality. *Problemy mekhanizatsii i elektrifikatsii selskogo khozyaystva: Materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*, Krasnodar, December 06, 2013. Krasnodar: Kubanskiy gosudarstvenniy agrarniy universitet, 2014:176-181. (In Rus.)
3. Khusniyarov I.I., Ruzhiev V.A., Kalinin A.B. Quality control of the performance of a deep loosener during differential depth tillage. *Rol molodykh uchenykh i issledovateley v reshenii aktualnykh zadach APK*. SPb., 2020;1:354-356. (In Rus.)
4. Salakhov I.M. Agrotechnical aspects of the working unit application for underground soil treatment. *Vestnik of the Kazan State Agrarin University*. 2017;12(3):82-85. (In Rus.) [https://doi.org/10.12737/article\\_5a1d9aa31ec6e6.52700948](https://doi.org/10.12737/article_5a1d9aa31ec6e6.52700948)
5. Dzhaborov N.I., Semenova G.A. Mathematical models of operating performance of tillage machines with dynamic working tools.

Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2017. Т. 12, № 3 (45). С. 82-85. [https://doi.org/10.12737/article\\_5a1d9aa31ec6e6.52700948](https://doi.org/10.12737/article_5a1d9aa31ec6e6.52700948)

5. Джаббаров Н.И., Семёнова Г.А. Математические модели эксплуатационных качеств почвообрабатывающих агрегатов с динамичными рабочими органами // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2018. № 96. С. 93-104. <https://doi.org/10.24411/0131-5226-2018-10062>

6. Брусенцов А.С., Дробот В.А. Исследование влияния конструктивных особенностей рабочих органов почвообрабатывающих машин на качество выполняемой операции // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2020. № 156. С. 180-191. <https://doi.org/10.21515/1990-4665-156-011>

7. Камбулов С.И., Рыков В.Б., Трубилин Е.И., Колесник В.В. Технологические аспекты разуплотнения почвы // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2019. № 153. С. 193-201. <https://doi.org/10.21515/1990-4665-153-021>

8. Скороходов В.Ю., Максюттов Н.А., Зоров А.А., Митрофанов Д.В., Кафтан Ю.В., Зенкова Н.А. Влияние глубины и способа обработки почвы на ослабление засухи в Оренбургской области // Плодородие. 2022. № 2 (125). С. 29-33. <https://doi.org/10.25680/S19948603.2022.125.08>

9. Даманский Р.В., Чекусов М.С., Кем А.А., Михальцов Е.М., Шмидт А.Н. Формирование технологических условий орудий для разуплотнения почвы // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2022. № 2 (46). С. 138-144. EDN: WRXHHTH.

10. Максимов В.П., Ушаков А.Е., Скамарохов Н.В. Математическое моделирование разрушение почвенного монолита глубокорыхлителем с заданной степенью крошения // Инженерный вестник Дона. 2022. № 12 (96). С. 788-802. EDN: IEPDOS

11. Jin H., Zhong Y., Shi D., Li J., Lou Y., Li Y., Li J. Quantifying the impact of tillage measures on the cultivated-layer soil quality in the red soil hilly region: Establishing the thresholds of the minimum data set. *Ecological Indicators*. 2021;130:108013. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108013>

12. Madaline D. Young, Gerard H. Ros, Wim de Vries. Impacts of agronomic measures on crop, soil, and environmental indicators: A review and synthesis of meta-analysis // *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2021;319:107551. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107551>

13. Jin He, Hongwen Li, Xiaoyan W., McHugh A.D., Wenyang Li, Huanwen Gao, Kuhn N.J. The adoption of annual subsoiling as conservation tillage in dryland maize and wheat cultivation in northern China // *Soil and Tillage Research*. 2007;94 (2):493-502. <https://doi.org/10.1016/j.still.2006.10.005>

*Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktii rastenievodstva i zhivotnovodstva*. 2018;96:93-104. (In Rus.) <https://doi.org/10.24411/0131-5226-2018-10062>

6. Brusentsov A.S., Drobot V.A. Research of the influence of design features of tillage working tools on the quality of the performed operation. *Polythematic Online Scientific Journal of Kuban State Agrarian University*. 2020;156:180-191. (In Rus.) <https://doi.org/10.21515/1990-4665-156-011>

7. Kambulov S.I., Rykov V.B., Trubilin E.I., Kolesnik V.V. Technological aspects of soil deployment. *Polythematic Online Scientific Journal of Kuban State Agrarian University*. 2019;153:193-201. (In Rus.) <https://doi.org/10.21515/1990-4665-153-021>

8. Skorokhodov V.Yu., Maksyutov N.A., Zorov A.A., Mitrofanov D.V., Kaftan Yu.V., Zenkova N.A. Role of the depth and method of winter tillage in reducing drought in the Orenburg region. *Plodородие*. 2022;2(125):29-33. (In Rus.) <https://doi.org/10.25680/S19948603.2022.125.08>

9. Damanskiy R.V., Chekusov M.S., Kem A.A., Mikhailtsov E.M., Shmidt A.N. Providing technological conditions for using soil decompaction implements. *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2022;2(46):138-144. (In Rus.) [https://doi.org/10.48136/2222-0364\\_2022\\_2\\_138](https://doi.org/10.48136/2222-0364_2022_2_138)

10. Maksimov V.P., Ushakov A.E., Skamarokhov N.V. Mathematical modelling of soil monolith breaking by a deep loosener with a given degree of crumbling. *Engineering Journal of Don*. 2022;12:788-802. (In Rus.)

11. Jin H., Zhong Y., Shi D., Li J., Lou Y., Li Y., Li J. Quantifying the impact of tillage measures on the cultivated-layer soil quality in the red soil hilly region: Establishing the thresholds of the minimum data set. *Ecological Indicators*. 2021;130:108013. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108013>

12. Madaline D. Young, Gerard H. Ros, Wim de Vries. Impacts of agronomic measures on crop, soil, and environmental indicators: A review and synthesis of meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2021;319:107551. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107551>

13. Jin He, Hongwen Li, Xiaoyan W., McHugh A.D., Wenyang Li, Huanwen Gao, Kuhn N.J. The adoption of annual subsoiling as conservation tillage in dryland maize and wheat cultivation in northern China. *Soil and Tillage Research*. 2007;94(2):493-502. <https://doi.org/10.1016/j.still.2006.10.005>

Статья поступила 09.03.2023; после рецензирования и доработки 25.08.2023, принята к публикации 30.08.2023

Received 09.03.2023; revised 25.08.2023; accepted 30.08.2023