

**АГРОИНЖЕНЕРИЯ И ПИЩЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**  
**AGROENGINEERING AND FOOD TECHNOLOGIES**

**Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса**  
**Technologies, Machines and Equipment for the Agro-industrial Complex**

Научная статья

УДК 631.372

DOI: 10.55196/2411-3492-2025-4-50-70-76

**Выбор оптимальных масс и скоростей машинно-тракторных агрегатов  
с учетом уплотняющего воздействия на почву**

**Руслан Асланбиевич Балкаров<sup>✉1</sup>, Заур Измайлович Мизиев<sup>2</sup>**

Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова, проспект  
Ленина, 1в, Нальчик, Россия, 360030

<sup>✉1</sup>rus.balkarov.52@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8946-7867>

<sup>2</sup>zaur.misiev@mail.ru

**Аннотация.** Для повышения эффективности сельского хозяйства необходимо не только сохранение, но также требуется значительное улучшение всех компонентов природной среды, включая как естественные, так и искусственные составляющие в экологических системах. Полученные статистические данные по России утверждают, что ежегодный недобор урожая только по зерновым культурам в связи с чрезмерным уплотнением почвы вследствие работы тяжелой техники достигает 20–30 млн т, а перерасход топлива составляет 2,5–3 млн т. Вредное воздействие машинно-тракторных агрегатов (МТА) на почву выражается в ухудшении таких физических свойств, как плотность, твердость, пористость, структурное состояние, влаго- и воздухопроницаемость и др. Это в конечном итоге приводит к снижению урожайности сельскохозяйственных культур при одновременном росте удельных энергозатрат в расчете на единицу выполненной работы. Задача заключается в выборе таких масс и скоростей МТА, при которых удельные энергозатраты и отрицательное воздействие на почву будут минимальными в заданных условиях. Вопросы расхода энергии и уплотнения почвы наиболее актуальны для тяговых агрегатов, поэтому исследование проводится на их примере.

**Ключевые слова:** машинно-тракторные агрегаты, выбор оптимальных масс и скоростей, учет уплотняющего воздействия на почву, минимальные удельные энергозатраты

**Для цитирования:** Балкаров Р. А., Мизиев З. И. Выбор оптимальных масс и скоростей машинно-тракторных агрегатов с учетом уплотняющего воздействия на почву // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова. 2025. № 4(50). С. 70–76. DOI: 10.55196/2411-3492-2025-4-50-70-76

Original article

**Selection of optimal weights and speeds of machine and tractor units,  
taking into account the compacting effect on the soil**

**Ruslan A. Balkarov<sup>✉1</sup>, Zaur I. Miziev<sup>2</sup>**

Kabardino-Balkarian State Agricultural University named after V.M. Kokov, 1v Lenin Avenue,  
Nalchik, Russia, 360030

<sup>✉1</sup>rus.balkarov.52@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8946-7867>

<sup>2</sup>zaur.misiev@mail.ru

**Abstract.** Improving agricultural efficiency requires not only preserving but also significantly improving all components of the natural environment, including both natural and artificial components in ecological systems. Statistical data obtained for Russia indicate that annual yield losses for grain crops alone, due to excessive soil compaction caused by heavy machinery, reach 20–30 million tons, while excess fuel consumption amounts to 2.5–3 million tons. V.P. Goryachkin noted that when selecting the weights and speeds of agricultural machinery and implements, it is necessary to consider simultaneously the resulting positive and negative effects. Specifically, he notes the need to account for increased energy consumption, as well as soil compaction by tractors. In other works, the author has primarily considered the justification for the weights and speeds of machine-tractor units (MTU) from the perspective of reducing energy consumption. In this article, in accordance with V. P. Goryachkin's ideas, an interconnected solution to the problem of reducing energy consumption due to soil compaction during MTU operation is proposed. Its detrimental impact on the soil is manifested in the deterioration of physical properties such as density, hardness, porosity, structural condition, moisture and air permeability, etc. This ultimately leads to a decrease in agricultural yields while simultaneously increasing specific energy consumption per unit of work performed. The challenge is to select MTU weights and speeds that minimize specific energy consumption and negative impact on the soil under given conditions. Energy consumption and soil compaction issues are most relevant for traction units, so the following discussions are conducted using them as an example.

**Keywords:** MTU, selection of optimal masses and speeds, consideration of the soil's compaction effect, and minimum specific energy consumption

**For citation:** Balkarov R.A., Miziev Z.I. Selection of optimal weights and speeds of machine and tractor units, taking into account the compacting effect on the soil. *Izvestiya of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov*. 2025;4(50):70–76. (In Russ.). DOI: 10.55196/2411-3492-2025-4-50-70-76

**Введение.** Экологи небезосновательно утверждают, что высокоразвитые технологии производства не могут принести обществу ожидаемой социально-экономической пользы, если они наносят ущерб природе.

Для повышения эффективности сельского хозяйства необходимо не только сохранение, но также требуется значительное улучшение всех компонентов природной среды включая как естественные, так и искусственные составляющие в экологических системах [1].

Проиллюстрируем это на примере развития мобильной сельскохозяйственной техники. Так, в СССР в период 1964–1992 гг. были внедрены колесные тракторы К-700 и Т-150К, масса которых в 2,5–3,5 раза больше, чем у предшественников. За последние десятилетия во много раз увеличилась масса уборочных комбайнов, машин для внесения удобрений и других транспортных средств. Подобная картина наблюдается и за рубежом. Например, в США и в развитых странах Европы масса колесных и гусеничных тракторов увеличилась в 1,7 раза. При этом повышается также давление движителей на почву. Все это привело к тому, что значительно уменьшилась урожайность различных культур из-за уплотнения почвы.

Полученные статистические данные по России утверждают, что ежегодный недобор урожая только по зерновым культурам в связи с чрезмерным уплотнением почвы вследствие работы тяжелой техники достигает 20–30 млн т, а перерасход топлива составляет 2,5–3 млн т [2].

Подобные результаты характерны и для других стран. Например, в США, уплотнение почвы машинами считается национальной проблемой. По данным специалистов, только в Калифорнии уплотненные почвы составляют 0,8 млн га, что значительно увеличивают затраты на обработку почвы, а еще до 24 млн га почвы близки к этому состоянию. Предположительный ущерб при этом составляет 1,5 млрд долл. Урожай зерновых уменьшился на 9–14% [4].

Необходимо отметить также, что, помимо уплотнения почвы тяжелыми машинами, под влиянием буксования тракторов одновременно происходит интенсивное разрушение структуры почвы [5, 6].

Известно, что академиком В. П. Горячкиным были сформулированы закономерности земледельческой механики.

Согласно этому тезису технику следует рассматривать только в связи с живой природой и живыми организмами, так как задача агротехники, опирающейся на машинные технологии, – не разрушать, а беречь и приумножать богатства природы.

В работах [5, 6] В. П. Горячкин указывал, что при выборе масс и скоростей сельскохозяйственных машин и орудий необходимо одновременно учитывать возникающие положительные и отрицательные явления.

Отмечается, в частности, необходимость учета увеличения затрат энергии, а также уплотнения почвы поля вследствие работы тракторов. Вопросы обоснования масс и скоростей машинно-тракторных агрегатов (МТА) в других работах автора рассматривались в основном с позиции снижения расхода энергии.

В данной статье в соответствии с идеями В. П. Горячкина осуществлено взаимосвязанное решение задач уменьшения расхода энергии, уплотняющего воздействия на почву при работе МТА, которое выражается в ухудшении таких физических свойств, как плотность, твердость, пористость структурное состояние, влаго- и воздухопроницаемость и др., это в конечном итоге приводит к снижению урожайности сельскохозяйственных культур при одновременном росте удельных энергозатрат в расчете на единицу выполненной работы [7].

**Цель исследования** – выбор оптимальных масс и скоростей МТА с учетом уплотняющего воздействия на почву.

**Материалы, методы и объекты исследования.** Исследование проводилось методами поиска экстремума, теории вероятностей, динамики МТА. Объекты исследования – МТА для основной обработки почвы.

**Результаты исследования.** Задача заключается в выборе таких масс и скоростей МТА, при которых удельные энергозатраты и отрицательное воздействие на почву будут минимальными в заданных условиях. Вопросы расхода энергии и уплотнения почвы наиболее актуальны для тяговых агрегатов, поэтому исследование проводится на их примере [8].

Удельные энергозатраты определяются из равенства:

$$E = N_{\text{н}} \varepsilon_N / Bv = k_a / \eta_T, \quad (1)$$

где

$E$  – удельные энергозатраты, Дж/м<sup>2</sup>;

$N_{\text{н}}$  – номинальная мощность двигателя, Вт;

$\varepsilon_N$  – допустимый коэффициент загрузки двигателя;

$B$  – ширина захвата агрегата, м;

$V$  – рабочая скорость, м/с;

$k_a$  – удельное тяговое сопротивление машин и сцепки, Н/м;

$\eta_T$  – тяговый КПД трактора.

При этом:

$$k_a = k_0 + k_1 V = k_0 [1 + \mu V_T (1 - \delta)], \quad (2)$$

$$\eta_T = \eta_M (1 - \frac{f g V_T}{\varepsilon_N \eta_M}) (1 - \delta), \quad (3)$$

$$\delta = \frac{a \varphi_{\text{кр}}}{f - \varphi_{\text{кр}}} = \frac{a (\varepsilon_N \eta_M / g V_T - f)}{b + f \frac{\varepsilon_N \eta_M}{g V_T}}, \quad (4)$$

где

$\mu = k_1 / k_0$  – постоянная часть удельного сопротивления при  $V_0 \approx 1,4$  м/с;

$k_1$  – коэффициент, характеризующий прирост удельного сопротивления при увеличении скорости агрегата на 1 м/с начиная с  $V_0$ ;

$V_T$  – теоретическая скорость, м/с;

$\delta$  – коэффициент буксования;

$\eta_{Mf}$  – КПД трансмиссии и коэффициент сопротивления качению трактора;

$\varepsilon = N_{\text{н}} / m$  – энергонасыщенность трактора, Вт/кг;

$m$  – эксплуатационная масса трактора, кг;

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$a, b$  – эмпирические коэффициенты;

$\varphi_{\text{кр}}$  – коэффициент использования эксплуатационного веса трактора [9].

На основании формул (1–4) можно обосновать оптимальное соотношение энергонасыщенности трактора ( $\varepsilon$ ) и скорости ( $V$ ), при котором удельные энергозатраты ( $E$ ) будут минимальными в заданных условиях [10–12].

Такой подход изложен и в других работах автора. Однако для комплексной оценки влияния масс и скоростей МТА на показатели их работы необходимо учитывать также и уплотняющее воздействие их на почву [13, 14]. Важнейшее значение при этом приобретает правильный выбор наиболее полно характеризующего оценочного критерия. Можно воспользоваться в данном случае идеей В. П. Горячкина, который в качестве общей меры воздействия сельскохозяйственного орудия на обрабатываемый материал предложил импульс силы.

Основное воздействие МТА на почву производит сила тяжести трактора ( $G = m g$ ) и касательная сила тяги ( $P_k$ ), которые действуют соответственно по нормали и параллельно поверхности обрабатываемой площади. Вызываемые этими силами деформации почвы в соответствии с механикой грунтов подразделяются на объемные сжатия и сдвиг.

При прочих разных условиях желательно, чтобы суммарное отрицательное воздействие силы тяжести и касательной силы тяги трактора на почву было минимальным. Соответственно, минимальным должен быть и суммарный удельный импульс этих сил, приходящихся на единицу обработанной площади:

$$J = \sqrt{(m g t)^2 + (P_k t)^2} / B l, \quad (5)$$

где

$J$  – удельный импульс, (кгм/с)/м<sup>2</sup>;

$P_k$  – касательная сила тяги трактора, Н;

$t$  – продолжительность рабочего хода агрегата, с;

$l$  – длина рабочего пути, м;

$B$  – ширина захвата агрегата, м.

Силу тяжести и касательную силу тяги трактора в пределах задачи данного исследования условно принимаем приложенными в одной точке. При этом пренебрегаем воздействием на почву силы тяжести сельскохозяйственных машин, так как они распределены на значительной площади, и их отрицательное влияние намного меньше. Кроме того, указанное допущение не отражается на получаемых общих закономерностях.

По своему физическому смыслу удельный импульс ( $J$ ) характеризует секундное материалоперемещение в расчете на 1 м<sup>2</sup> обработанной площади. После преобразований равенство (5) с учетом (1) можно представить в более наглядном виде:

$$J = k_a \Phi / \eta_T = E \Phi, \quad (6)$$

где

$\Phi$  – фронт сцепки, м.

$$\Phi = \sqrt{\eta_M^2 / V_T^2 + g^2 / \Delta \varepsilon_N^2}.$$

Полученное равенство — обобщенное соотношение между удельным импульсом и энергозатратами, которое для общности результатов исследования целесообразно с учетом (2) представить в виде:

$$J_0 = J / k_0 = E_0 \Phi, \quad (7)$$

где

$$E_0 = E / k_0.$$

При этом минимумы относительных удельного импульса ( $J_{0min}$ ) и удельных энергозатрат ( $E_{0min}$ ) будут соответствовать минимальным значениям  $J_{min}$  и  $E_{min}$ , но получаемые результаты исследований справедливы для множества полевых работ с близкими значениями  $\mu$  из (2) на данном почвенном фоне.

Переход к конкретным агрегатам с заданными значениями  $k_0$  из (2) осуществляется с учетом соотношений:

$$J = J_0 k_0, E = E_0 k_0.$$

Каждому значению энергонасыщенности трактора ( $\mathcal{E}$ ) в (7) соответствуют оптимальные теоретические скорости  $V_{TEopt}$  и  $V_{TJopt}$ , при которых имеют место  $J_{0min}$  и  $E_{0min}$ . Минимальными при этом будут, соответственно, удельные энергозатраты:

$$E_{min} = E_{0min} k_0$$

и удельный импульс:

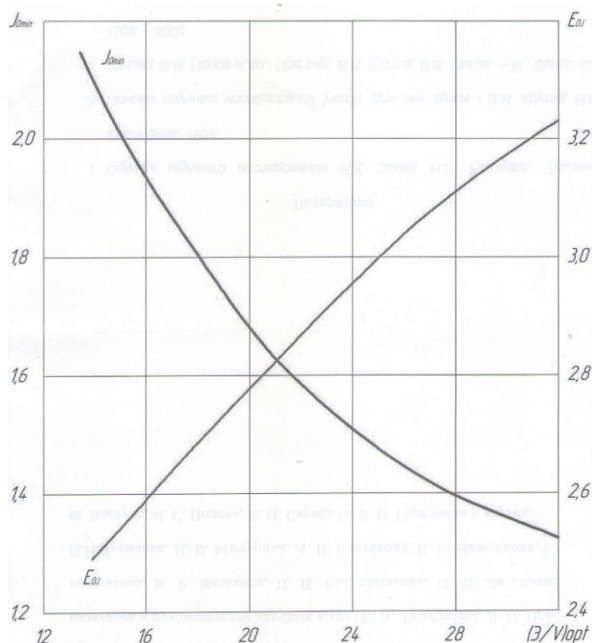
$$J_{min} = J_{0min} k_0$$

при заданном значении  $k_0$ .

Выявлено, что при реальных пределах изменения энергонасыщенности тракторов ( $\mathcal{E}$ ) оптимальные скорости  $V_{TEopt}$  и  $V_{TJopt}$  близки между собой [4, 5]. Исходя из этого последующие исследования проводятся на базе одной скорости  $\bar{V}_{Topt} = \bar{V}_{TJopt}$ , которой соответствует минимальное значение  $J_{0min}$  и относительные удельные энергозатраты ( $E_{0j}$ ).

Полученные закономерности изменения  $J_{0min}$  и  $E_{0j}$  в зависимости от оптимального соотношения ( $\mathcal{E} / V_{Topt}$ ) представлены на рисунке 1 на примере тракторов МТЗ-80, МТЗ-100, типа 4К2 при работе на стерне, приняв в (2)  $\mu = 2$ .

Видно, что с ростом ( $\mathcal{E} / V_{Topt}$ ) минимальные значения  $J_{0min}$  и  $J_{min}$  снижаются, а соответствующие им удельные относительные энергозатраты ( $E_{0j}$ ) возрастают. Например,  $J_{0min}$  снижается от 2,17 до 1,34 (кг м/с)/м<sup>2</sup>), а  $E_{0j}$  возрастает от 2,5 до 3,23 Дж/м<sup>2</sup>.



**Рисунок 1.** Оптимальные зависимости  $J_{0 \min}$  и  $E_{0j}$  от  $(\mathcal{E}/V_{top})$

**Figure 1.** Optimal dependences of  $J_{0 \min}$  and  $E_{0j}$  on  $(\mathcal{E}/V_{top})$

Поскольку желательно уменьшать как удельные импульсы, так и удельные энергозатраты при работе МТА, для получения желаемых значений  $J_0$  и  $E_{0j}$  следует принимать компромиссное решение с учетом условий работы с допустимым буксованием  $\delta$ .

По полученным значениям  $\mathcal{E}_{opt}$ ,  $V_{top}$  и  $\delta$  при известной мощности  $N_H$  определяется оптимальная масса трактора:

$$m_{opt} = N_H / \mathcal{E}_{opt}$$

и соответствующая рабочая скорость:

$$V_{opt} = V_{top} (1 - \delta).$$

**Вывод.** Результаты исследования следует рассматривать лишь как первый этап снижения негативного воздействия МТА на почву. Дальнейшее уменьшение этого показателя может быть достигнуто за счет комбинирования операций, использования постоянной технологической колеи, других методов, по которым необходимы самостоятельные исследования.

### Список литературы

1. Современные проблемы науки и производства в агроинженерии: учебник / Под ред. А. И. Завражнова. Санкт-Петербург: Лань, 2013. 496 с. ISBN 978-5-8114-1356-0
2. Временные рекомендации по ограничению уровня воздействия движителей сельскохозяйственной техники на почву. Москва: Агропромиздат, 1985. 16 с.
3. Ксенович И. П., Скотников В. А., Ляско М. И. Ходовая система – почва – урожай. Москва: Агропромиздат, 1985. 304 с.
4. Воздействие движителей тракторов на почву и ее плодородие / В. А. Русанов, А. Н. Садовников, Е. С. Юшков [и др.] // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1983. № 5. С. 3–8. EDN: WPMTVZ
5. Горячкин В. П. Теория масс и скоростей сельскохозяйственных машин и орудий. Собрание сочинений. Т. 1. Москва: Колос, 1965. 720 с.
6. Зангиев А. А. Оптимизация эксплуатационных параметров и режимов работы машинно-тракторных агрегатов: учебное пособие. Москва: МИИСП, 1986. 80 с.
7. Зангиев А. А. Комплектование ресурсосберегающих машинно-тракторных агрегатов. Москва: Изд-во МИИСП, 1991. 87 с.
8. Зангиев А. А. Оптимизация состава и режимов работы машинно-тракторных агрегатов по критериям ресурсосбережения: дис. ... д-ра техн. наук. Москва: 1987. 500 с.
9. Синеоков Г. Н., Панов И. М. Теория и расчет почвообрабатывающих машин. Москва: Машиностроение, 1977. 328 с.
10. Зангиев А. А., Лышко Г. П., Скороходов А. Н. Производственная эксплуатация машинно-тракторного парка. Москва: Колос, 1996. 320 с. ISBN 5-10-002861-0
11. Скороходов А. Н., Левшин А. Г. Производственная эксплуатация машинно-тракторного парка. Москва: БИБИКОМ; ТРАНСЛОГ, 2017. 478 с. ISBN 978-5-905563-66-9. EDN: WWONWA
12. Ляско М. И., Рубенчик Е. В., Кутин Л. Н. Методика определения удельных давлений ходовых систем на почву // Пути снижения удельного давления ходовых систем гусеничных сельскохозяйственных тракторов на почву: сборник статей / Науч. ред. В. К. Андронов. Москва: ЦНИИТЭИ трактороселхозмаш, 1979. Вып. 7. С. 6–11.

13. Сорочкин В. М., Шептухов В. Н. Грочностные свойства почв как основа для расчета агротехнически допустимых давлений ходовых систем на почву // Проблемы снижения уплотняющего воздействия на почву ходовых систем трактора, мобильной сельскохозяйственной техники и рабочих органов почвообрабатывающих машин: тр. УСХА, 1982. С. 97–102.

14. Влияние ходовых систем тракторов на урожайность пропашных культур / В. А. Русанов, В. М. Баутин, И. С. Небогин, Е. С. Юшков // Влияние сельскохозяйственной техники на почву: тр. Почвенного института им. В. В. Докучаева, 1981. С. 37–43.

### References

1. *Sovremennye problemy nauki i proizvodstva v agroinzhenerii: uchebnik. Pod red. A.I. Zavrazhnova* [Modern Problems of Science and Production in Agricultural Engineering: textbook. Ed. by A.I. Zavrazhnov]. Saint Petersburg: Izdatel'stvo «Lan'», 2013. 496 p. ISBN 978-5-8114-1356-0. (In Russ.)

2. *Vremennye rekomendacii po ogranicheniyu urovnya vozdejstviya dvizhitelej sel'skohozyajstvennoj tekhniki na pochvu* [Temporary recommendations for limiting the impact of agricultural machinery engines on the soil]. Moscow: Agropromizdat, 1985. 16 p. (In Russ.)

3. Ksenevich I.P., Skotnikov V.A., Lyasko M.I. *Hodovaya sistema – pochva – urozhaj* [The running system – soil – harvest]. Moscow: Agropromizdat, 1985. 304 p. (In Russ.)

4. Rusanov V.A., Sadovnikov A.N., Yushkov E.S. [et al.]. The Impact of Tractor Drives on the Soil and Its Fertility. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo hoz'yajstva*. 1983;(5):3–8. (In Russ.). EDN: WPM TVZ

5. Goryachkin V.P. *Teoriya mass i skorostej sel'skohozyajstvennykh mashin i orudij. Sbornik sochinenij. T. 1* [Theory of Masses and Velocities of Agricultural Machines and Implements. Collected Works. Vol. 1]. Moscow: Kolos, 1965. 720 p. (In Russ.)

6. Zangiev A.A. *Optimizatsiya ekspluatatsionnykh parametrov i rezhimov raboty mashinno-traktornykh agregatov: uchebnoe posobie* [Optimization of operational parameters and modes of machine and tractor units: a tutorial]. Moscow: MIISP, 1986. 80 p. (In Russ.)

7. Zangiev A.A. *Komplektovanie resursoberegayushchih mashinno-traktornykh agregatov* [Assembly of resource-saving machine-tractor units]. Moscow: Izd-vo MIISP, 1991. 87 p. (In Russ.)

8. Zangiev A.A. *Optimizatsiya sostava i rezhimov raboty mashinno-traktornykh agregatov po kriteriyam resursoberezheniya: dis. ... d-ra tekhn. nauk* [Optimization of the composition and operating modes of machine-tractor units based on resource-saving criteria: dis. ... Doctor of Technical Sciences]. Moscow: 1987. 500 p. (In Russ.)

9. Sineokov G.N., Panov I.M. *Teoriya i raschet pochvoobrabatyvayushchih mashin* [Theory and calculation of tillage machines]. Moscow: Mashinostroenie, 1977. 328 p. (In Russ.)

10. Zangiev A.A., Lyshko G.P., Skorokhodov A.N. *Proizvodstvennaya ekspluatatsiya mashinno-traktornogo parka* [Industrial operation of the machine and tractor fleet]. Moscow: Kolos, 1996. 320 p. ISBN 5-10-002861-0. (In Russ.)

11. Skorokhodov A. N., Levshin A. G. *Proizvodstvennaya ekspluatatsiya ma-shinno-traktornogo parka*. Moskva: BIBIKOM; TRANSLOG, 2017. 478 s. ISBN 978-5-905563-66-9. (In Russ.). EDN: WWONWA

12. Lyasko M.I., Rubenchik E.V., Kutin L.N. Methodology for determining the specific pressure of the running gear on the soil. *Puti snizheniya udel'nogo davleniya hodovykh sistem gusenichnykh sel'skohozyajstvennykh traktorov na pochvu: sbornik statej / Nauch. red. V.K. Andronov* [Ways to reduce the specific pressure of the running gear of tracked agricultural tractors on the soil: a collection of articles. Scientific editor V.K. Andronov]. Moscow: CNIITEI traktorosel-hozmash, 1979. Issue 7. Pp. 6–11. (In Russ.)

13. Sorochkin V.M., Sheptukhov V.N. Soil compaction properties as a basis for calculating agrotechnically permissible pressures of running systems on the soil. *Problemy snizheniya uplotnyayushchego vozdejstviya na povu hodovykh sistem traktora, mobil'noj sel'skohozyajstvennoj tekhniki i rabochih organov pochvoobrabatyvayushchih mashin: tr. USKHA* [Problems of reducing the compaction effect on the soil of running systems of tractors, mobile agricultural machinery and working bodies of tillage machines. Proceedings of USHA], 1982. Pp. 97–102. (In Russ.)

14. Rusanov V.A., Bautin V.M., Nebogin I.S., Yushkov E.S. The influence of tractor chassis systems on the yield of row crops. *Vliyanie sel'skohozyajstvennoj tekhniki na pochvu: tr. Pochvennogo instituta im. V.V. Dokuchaeva* [The influence of agricultural machinery on the soil: proc. of the V. V. Dokuchaev Soil Science Institute]. 1981. Pp. 37–43. (In Russ.)

**Сведения об авторах**

**Балкаров Руслан Асланбиевич** – доктор технических наук, профессор кафедры агроинженерии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова», SPIN-код: 1074-2232, Scopus ID: 6505576211, Researcher ID: AAB-3748-2020

**Мизиев Заур Измаилович** – аспирант кафедры агроинженерии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова»

**Information about the authors**

**Ruslan A. Balkarov** – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Agricultural Engineering, Kabardino-Balkarian State Agricultural University named after V.M. Kokov, SPIN-code: 1074-2232, Scopus ID: 6505576211, Researcher ID: AAB-3748-2020

**Zaur I. Miziev** – Postgraduate student of the Department of Agricultural Engineering, Kabardino-Balkarian State Agricultural University named after V.M. Kokov

---

**Авторский вклад.** Все авторы принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования. Все авторы ознакомились и одобрили окончательный вариант статьи.

**Author's contribution.** All authors have directly participated in the planning, execution and analysis of this study. All authors have read and approved the final version of this article.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

---

*Статья поступила в редакцию 06.11.2025;  
одобрена после рецензирования 02.12.2025;  
принята к публикации 09.12.2025.*

*The article was submitted 06.11.2025;  
approved after reviewing 02.12.2025;  
accepted for publication 09.12.2025.*