

ТЕХНОЛОГИИ, МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ / TECHNOLOGIES, MACHINERY AND EQUIPMENT

<https://doi.org/10.15507/2658-4123.035.202501.101-120>

EDN: <https://elibrary.ru/orptue>

УДК 631.354.2

ISSN Print 2658-4123

ISSN Online 2658-6525

<https://vestnik.mrsu.ru>

Оригинальная статья / Original article



Агротехническая проходимость зерноуборочных комбайнов с комплектацией ведущих колес разными шинами

Л. В. Кравченко¹✉, В. А. Кравченко¹,
В. В. Журба¹, И. М. Меликов²

¹ Донской государственный технический университет
(г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация)

² Дагестанский государственный аграрный университет
имени М. М. Джамбулатова
(г. Махачкала, Российская Федерация)

✉ Lyudmila.vl.kravchenko@yandex.ru

Аннотация

Введение. Важным направлением развития сельскохозяйственного производства является повышение эксплуатационной эффективности колесной мобильной сельскохозяйственной техники. Анализ реальной ситуации показал, что существует ряд трудностей, связанных со многими факторами, в том числе с высокой массой техники, которая, наряду с увеличением производительности, способствует переуплотнению всех слоев почвенного основания, что приводит к снижению урожайности возделываемых культур и увеличению энергозатрат при последующей обработке. Наличие этих трудностей, несмотря на значительные успехи исследователей в этом направлении, не позволили до сих пор найти оптимальное решение проблемы, поэтому актуальность представляемых в работе материалов не вызывает сомнений.

Цель исследования. Оценка агротехнической проходимости отечественных зерноуборочных комбайнов пятого поколения при уборке озимой пшеницы.

Материалы и методы. При исследовании агротехнической проходимости зерноуборочных комбайнов был применен экспериментальный метод с использованием измерительного комплекса «шинный тестер» и других контрольно-измерительных приборов. В качестве объектов испытаний использовались двигатели комбайнов на шинах моделей Ф-136, Ф-179, Ф-81Э, Ф-81ДР и фирмы «Cood Year» одинакового типоразмера 30,5-32.

Результаты исследования. Определили показатели агротехнической проходимости зерноуборочных комбайнов пятого поколения с комплектацией их колесных двигателей шинами разных моделей. Установили, что данные комбайны при определении по стандартным методикам максимальных давлений, оказываемых на почву и создаваемых на глубине в 50 см нормальных напряжений, не соответствуют ГОСТ Р 58655-2019 при любых вариантах комплектования шинами ведущих колес (за исключением установки экспериментальных шин при влажности почвы не более 0,5 НВ). Прямое измерение показателей агротехнической проходимости

© Кравченко Л. В., Кравченко В. А., Журба В. В., Меликов И. М., 2025



Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

комбайнов показало, что по максимальным давлениям в контакте ведущих колес с почвой и создаваемым напряжениям на глубине 0,5 м комбайн пятого поколения при уборке зерновых колосовых в условиях Южного федерального округа выполняет требования ГОСТ Р 58655-2019 на всех сравниваемых шинах.

Обсуждение и заключение. Определение значений показателей агротехнической проходимости прямым измерением доказывает возможность применения современных комбайнов отечественного производства на уборке зерновых колосовых при комплектовании их двигателей радиальными (с оптимальным армированием внутреннего строения) и опытными диагонально-параллельными шинами. Результаты исследований необходимо учитывать при комплектовании шинами двигателей зерноуборочных комбайнов пятого поколения.

Ключевые слова: мобильная сельскохозяйственная техника, двигатель, шина, шинный тестер, показатели агропроходимости комбайна, напряжение в почве, плотность сложения почвы

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности: авторы выражают признательность анонимным рецензентам, обьективные замечания которых способствовали повышению качества статьи.

Для цитирования: Кравченко Л.В., Кравченко В.А., Журба В.В., Меликов И.М. Агротехническая проходимость зерноуборочных комбайнов с комплектацией ведущих колес разными шинами. *Инженерные технологии и системы*. 2025;35(1):101–120. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.035.202501.101-120>

Agro Cross-Country Ability of Combine Harvesters with Driving Wheels Equipped with Different Tires

L. V. Kravchenko^a✉, V. A. Kravchenko^a,
V. V. Zhurba^a, I. M. Melikov^b

^a Don State Technical University
(Rostov-on-Don, Russian Federation)

^b Dagestan State Agricultural University
named after M. M. Dzhambulatov
(Makhachkala, Russian Federation)

✉ Lyudmila.vl.kravchenko@yandex.ru

Abstract

Introduction. An important area of agricultural industry development is improving the operating efficiency of wheeled mobile agricultural machinery. The real situation analyzing has shown the presence of a number of difficulties associated with many factors including high agricultural machine weight, which, along with increased performance, leads to the over-compaction of all soil layers that results in reduced yields of cultivated crops and increased energy consumption during subsequent processing. Despite the significant successes of domestic and foreign researchers and research teams in this area, these difficulties impede the development of an optimal solution to the problem. Therefore, the relevance of the materials presented in the work is beyond doubt.

Aim of the Study. The study is aimed at assessing of agro cross-country ability of the fifth-generation domestic combine harvesters when harvesting winter wheat.

Materials and Methods. In the study of the agro cross-country ability of combine harvesters, there was applied an experimental method using the measuring complex “tire tester” and other control and measuring devices. As the test objects there were used the propelling devices of the combines on the tires of the models F-136, F-179, F-81E, F-81DP and by the company “Cood year” of the same standard size 30.5-32.

Results. There were determined the indicators of agro cross-country ability of fifth-generation combine harvesters with the wheel propelling devices equipped with the tires of different models. Using standard methods for determining the maximum pressures on soil and normal stress at a depth of 50 cm, it has been found that these combines do not meet the requirements of GOST R 58655-2019 at any options of completion of driving wheels with tires (except for the installation of experimental tires when soil moisture is not more than 0.5 NV). Direct measurement of the indicators of agro cross-country ability of combine harvesters has shown that judging by the figures of the maximum pressures when driving wheels are in contact with soil and stress caused at a depth of 0.5 m, the fifth generation combine harvester in harvesting spike cereals in the conditions of the Southern Federal District meets the requirements of GOST R 58655-2019 on all compared tire.

Discussion and Conclusion. Identifying agro cross-country ability indicators through direct measuring has shown that it is possible to use modern domestic combine harvesters equipped with radial tires (with optimal reinforcement of the inner structure) and experimental diagonal-parallel tires for harvesting spike cereals. The results of the study should be taken into account when equipping of the fifth generation combine harvesters with tires.

Keywords: mobile agricultural machinery, propelling device, tire, tire tester, indicators of agro cross-country ability of the combine harvester, stress in the soil, soil density

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

Acknowledgements: The authors are grateful to anonymous reviewers whose comments and suggestions contributed to improving the quality of the submitted article.

For citation: Kravchenko L.V., Kravchenko V.A., Zhurba V.V., Melikov I.M. Agro Cross-Country Ability of Combine Harvesters with Driving Wheels Equipped with Different Tires. *Engineering Technologies and Systems*. 2025;35(1):101–120. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.035.202501.101-120>

Введение. Основной задачей, стоящей перед работниками агропромышленного комплекса, является повышение эффективности производства продукции для населения и необходимого для промышленности сырья. Согласно стратегии устойчивого развития сельских территорий Российской Федерации до 2030 г. повышение эффективности производства сельскохозяйственной продукции требует технического перевооружения за счет внедрения новой и усовершенствованной мобильной сельскохозяйственной техники (МСТ). Наибольшее распространение в Российской Федерации получила МСТ на колесных движителях¹ [1; 2].

В Российской Федерации при уборке зерновых колосовых культур используются отечественные высокопроизводительные комбайны пятого поколения: Тогум-740, Асрос-530 и его модификации² [1; 2], обладающие большой переменной массой. Высокая масса МСТ негативно сказывается на изменении структуры и свойств почвы агрофонов, что приводит к снижению ее плодородия [3–5].

В соответствии с современными требованиями к движителям МСТ целесообразно оценивать их по агротехнической проходимости. Под данным термином [4] понимается способность машины перемещаться по поверхности поля с установленными требованиями по воздействию на почву, которые обуславливаются допустимым изменением ее физико-механических свойств без нарушения потенциального плодородия.

¹ Кононова Н. Н., Улезько А. В. Техничко-технологическая модернизация сельского хозяйства: условия и перспективы : моногр. Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2021. 195 с. EDN: [EXCQLL](https://doi.org/10.15507/2658-4123.035.202501.101-120)

² Там же.

Нормируемыми показателями, характеризующими уплотняющее воздействие МСТ на почву, являются максимальные величины давлений их на поверхность агрофона и нормальных напряжений, возникающих в слоях почвы, которые полагаются на глубине до 50 см, после прохода агрегата.

Следует заметить, что обобщающим показателем, который характеризует потенциальное плодородие почвы, является ее объемная масса, то есть плотность сложения. Плотность сложения почвы выступает одним из главных регуляторов обеспечения растений доступными питательными веществами³.

Для разных почв существует предельное и допустимое по уплотнению значение плотности сложения почвы⁴. Например, для предкавказского карбонатного чернозема они соответственно составляют 1,45 г/см³ и от 1,25–1,27 до 1,30 г/см³ [6; 7]. Наиболее благоприятная для произрастания большинства сельскохозяйственных культур величина плотности сложения чернозема равна 1,15–1,17 г/см³. Следовательно, в зависимости от убираемой культуры – кормовая с последующим ее произрастанием и новым скашиванием или зерновая – допускаемое значение плотности сложения почвы в условиях Северного Кавказа может быть соответственно 1,17 или 1,27 г/см³ [6]. Данные значения плотности сложения являются основными при оценке агротехнической проходимости зерноуборочных комбайнов пятого поколения в указанной зоне.

Целью исследования является оценка основных показателей, характеризующих агротехническую проходимость отечественных зерноуборочных комбайнов пятого поколения при уборке озимой пшеницы.

Обзор литературы. Исследования по определению влияния сельскохозяйственных машин на почву в нашей стране были начаты Н. А. Качинским и М. Х. Пигулевским еще в 20-х гг. прошлого столетия. В тот период на полях в основном использовалась мобильная техника с массой от 3 до 6 т. Находящаяся в эксплуатации современная техника имеет массу от 10 до 20 и более т, что приводит к значительному превышению допустимых норм, установленных стандартами [4].

Аналогичные случаи применения сверхтяжелой техники наблюдаются и в зарубежных странах⁵ [8; 9].

С начала 70-х гг. XX в. с появлением на сельскохозяйственных полях мощных энергонасыщенных тракторов и высокопроизводительных комбайнов исследования по проблеме были продолжены учеными Агрофизического НИИ ВАСХНИЛ, ВИМ, Белорусской СХА, БИМСХ, Почвенного института имени В. В. Докучаева и других научных и учебных заведений⁶ [10–12]. Однако полученные ими данные носят противоречивый характер.

³ Кулен А., Куиперс Х. Современная земледельческая механика. Л. : Агропромиздат, 1986. 349 с.

⁴ Наумов В. Д. География почв. Почвы России. Ч. 2 : учебник. М. : РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева, 2022. 212 с.

⁵ Кулен А., Куиперс Х. Современная земледельческая механика; Gill W. R. Economik Assessment of Soil Compaction. ASAE, 1977.

⁶ Русанов В. А. Проблемы переуплотнения почв движителями и эффективные пути ее решения. М. : ВИМ, 1998. 368 с.; Романюк Н. Н. Снижение уплотняющего воздействия на почву мобильных энергосредств. Минск : БГАТУ, 2020. 200 с. URL: <https://clck.ru/3GmJjb> (дата обращения: 25.08.2024).

Результаты исследований показали, что ходовые системы мобильной техники деформируют почву в трех плоскостях [5; 7; 10]. В большей степени деформация почвы происходит по нормали к поверхности поля, что и определяет величину ее уплотнения. Деформация почвы в продольном направлении, вперед по ходу движения и в противоположную сторону, происходит за счет возникновения в контакте колеса с почвенным основанием нормальных и тангенциальных напряжений.

Характер и величину деформационного состояния почвы определяют конструктивные и эксплуатационные параметры шин [11; 12], режимы нагружения колесных движителей [13; 14], внутришинного давления [15] и ее физико-механические свойства [16].

Работы некоторых зарубежных исследователей⁷ были выполнены с целью выявления влияния, которое оказывает уплотненная почва на процесс развития корней растений.

На основании результатов многочисленных исследований можно сделать вывод, что негативное воздействие современных зерноуборочных комбайнов на почву, в том числе и на подпахотные горизонты, в конечном итоге снижает урожайность возделываемых культур и повышает энергозатраты на последующую обработку агрофона. Однако реальные данные определения показателей агротехнической проходимости современных зерноуборочных комбайнов пятого поколения в настоящее время в научной литературе отсутствуют, тем более отсутствуют данные о показателях проходимости зерноуборочных комбайнов с различной комплектацией ходовых систем.

Критериями воздействия МСТ на почвенное основание стандартами ГОСТ Р 58656-2019⁸, ГОСТ 26954-2019⁹, ГОСТ Р 58655-2019¹⁰ установлены значения максимальных давлений пневматических колес на почву и нормальные напряжения в ней на глубине 0,5 м.

На наш взгляд, по изменению объемной массы (плотности сложения), которая является совокупным интегральным показателем агрегатного состояния почвы, можно судить о величине негативного влияния МСТ на агрофон.

Материалы и методы. В качестве объекта исследования выступил процесс взаимодействия с агрофоном ходовых систем отечественных зерноуборочных комбайнов пятого поколения на шинах моделей Ф-136, Ф-179 фирмы «Cood Year», Ф-81Э (с оптимальным армированием волокон каркаса), Ф-81DP (предлагаемой нами к разработке и изготовлению [17]).

В процессе исследований был принят экспериментальный метод с использованием измерительного комплекса «шинный тестер» [18], а также автотракторных весов, планиметра, малогабаритных потенциометрических датчиков давлений движителя

⁷ Кулен А., Куиперс Х. Современная земледельческая механика.; Gill W. R. Economik Assessment of Soil Compaction.

⁸ ГОСТ Р 58656-2019. Техника сельскохозяйственная мобильная. Методы определения воздействия движителей на почву [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200169433> (дата обращения: 25.08.2024).

⁹ ГОСТ 26954-2019. Техника сельскохозяйственная мобильная. Метод определения максимального нормального напряжения в почве [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200169046> (дата обращения: 25.08.2024).

¹⁰ ГОСТ Р 58655-2019. Техника сельскохозяйственная мобильная. Нормы воздействия движителей на почву [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200169432> (дата обращения: 25.08.2024).

на почву и датчиков напряжений, возникающих в различных слоях почвы после прохода движителя, сушильных шкафов, весов аптекарских, осциллографа К-12-22, персонального компьютера и т. д. [19–21]. Предусматривалось определение основных показателей агротехнической проходимости (максимальные давления движителя на почву, напряжения, возникающие по слоям почвы, и плотность ее сложения в различных слоях) зерноуборочных комбайнов пятого поколения [22–24].

Ведущие колеса комбайна комплектовались поочередно шинами типоразмера 30,5-32 с различным внутренним строением оболочек, техническая характеристика которых представлена в таблице 1.

Т а б л и ц а 1

Table 1

Техническая характеристика испытываемых шин
Technical characteristics of the tested tires

Параметры шины / Tire Parameters	Значение параметров шин / The value of the tire parameters				
	Ф-136 / F-136 30,5L-32	Ф-179 / F-179 30,5L-32	«Good Year» 30,5L-32	Ф-81Э / F-81E 30,5R-32	Ф-81DP / F-81DP 30,5DP-32
Наружный диаметр, мм / Outer diameter, mm	1 926	1 798	1 861	1 825 ± 4	1 885 ± 4
Ширина профиля, мм / Profile width, mm	772	774	774	725	768
Шаг грунтозацепов, мм / The pitch of the ground grousers, mm	402	390	240	276	288
Высота грунтозацепов, мм / The height of the ground grousers, mm	80	50	45	65	46
Коэффициент насыщенности рисунка протектора / Saturation coefficient of the tread pattern	0,224	0,273	0,212	0,328	0,315
Масса, приходящаяся на шину, кг / Weight per tire, kg	6 875	6 790	6 750	6 850	6 850
Внутреннее давление воздуха, МПа / Internal air pressure, MPa			0,171		

На колеса управляемого моста комбайна были установлены шины типоразмера 18,4R-24.

Для обеспечения нагрузки на левое ведущее колесо комбайна, как наиболее нагруженное при полном бункере, производилось заполнение бункера комбайна балластными грузами [25]. Такая же нагрузочная масса на пневматический движитель устанавливалась и при испытаниях его на шинном тестере [18].

Полевые испытания комбайна и отдельно взятого движителя с испытываемой шиной на агротехническую проходимость проводились на стерне озимой пшеницы при строгом выполнении условий, определяемых стандартами ГОСТ 20915-2011¹¹ и ГОСТ 7057-2001¹² (табл. 2).

¹¹ ГОСТ 20915-2011. Испытания сельскохозяйственной техники. Методы определения условий испытаний [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200094197> (дата обращения: 25.08.2024).

¹² ГОСТ 7057-2001. Тракторы сельскохозяйственные. Методы испытаний [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200030186> (дата обращения: 25.08.2024).

Показатели, характеризующие почву на стерне озимой пшеницы

Indicators characterizing the soil on the stubble of winter wheat

Показатели / Indicators		Значения / Values
Микрорельеф поля, мм / Microrelief of the field, mm		4,60
Высота стерни, см / Stubble height, cm		12
Наличие пожнивных остатков, % / The presence of crop residues, %		3–4
Влажность почвы в слоях, % / Soil moisture in layers, %	0–10 см / 0–10 cm	15,80
	10–20 см / 10–20 cm	18,30
	20–30 см / 20–30 cm	17,40
	30–40 см / 30–40 cm	18,50
	40–50 см / 40–50 cm	21
Плотность сложения почвы в слоях, г/см ³ / Soil compaction in layers, g/cm ³	10–20 см / 10–20 cm	1,11
	20–30 см / 20–30 cm	1,18
	30–40 см / 30–40 cm	1,19
	40–50 см / 40–50 cm	1,24
	10–20 см / 10–20 cm	1,26

Движение комбайна и шинного тестера осуществлялось со скоростью 5...6 км/ч. Расстояние между соседними проходами 5...6 м.

Максимальное давление ведущего колеса комбайна на поверхность агрофона определялись по ГОСТ Р 28656-2019¹³ и специально разработанной методике¹⁴ [20; 25; 26].

Максимальное значение нормального давления ведущего колеса комбайна на поверхность агрофона $q_{\max}^K$ по ГОСТ Р 28656-2019 определяют по зависимости:

$$q_{\max}^K = \frac{G_K K_2}{F_K K_1}, \text{ кПа}, \quad (1)$$

где G_K – вертикальная статическая нагрузка на колесо, кН; F_K – контурная площадь отпечатка шины колеса на бетоне, м²; K_1 – коэффициент приведения контурной площади отпечатка шины колеса на бетоне к площади его контакта на поверхности агрофона (зависит от наружного диаметра шины); $K_2 = 1,5$ – коэффициент, учитывающий неравномерность эпюры распределения давления по длине контакта.

Для определения величины максимального нормального напряжения (кПа), возникающего в почве на глубине 50 см под ведущим колесом, была применена формула¹⁵:

$$\sigma_{0,5} = 0,637\bar{q} \left[\arctg \frac{ab}{h\sqrt{a^2 + b^2 + h^2}} + \frac{hab(a^2 + b^2 + 2h^2)}{(a^2 + h^2)(b^2 + h^2)\sqrt{a^2 + b^2 + h^2}} \right],$$

¹³ ГОСТ Р 28656-2019. Газы углеводородные сжиженные. Расчетный метод определения плотности и давления насыщенных паров [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200163754> (дата обращения: 25.08.2024).

¹⁴ Русанов В. А. Проблемы переуплотнения почв движителями и эффективные пути ее решения.

¹⁵ ГОСТ 26954-2019. Техника сельскохозяйственная мобильная. Метод определения максимального нормального напряжения в почве.

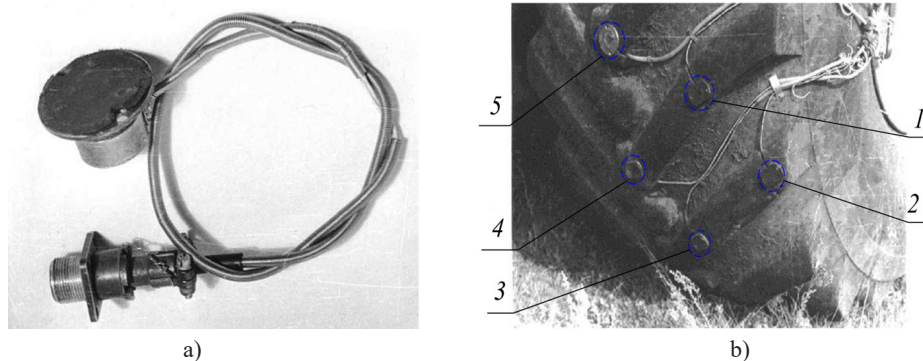
в которой

$$a = \frac{F_{\text{кп}}}{2b_{\text{к}}}, \quad b = \frac{b_{\text{к}}}{2},$$

где $\bar{q}$ – среднее давление единичного колеса на опорное основание, кПа; h – глубина опорного основания, м; $b_{\text{к}}$ – максимальное значение ширины площади контакта шины с жестким опорным основанием, м.

Особенность специальной методики испытаний заключалась в том, что давление определялось в результате прямого измерения его величины на выступах грунтозацепов шин и во впадинах между ними при одновременном измерении фактической площади контакта.

Для этого устанавливались (рис. 1а) малогабаритные потенциометрические датчики [20; 25] на протекторе шин между их экваториальными и плечевыми зонами (рис. 1б). Для устранения влияния неравномерности почвенного фона и получения необходимой достоверности величины давления в контакте движителя с почвой, длина зачетного участка составляла 400...500 м, что обеспечивало 50...60-кратную повторность измерений.



Р и с. 1. Датчики контактного давления:

а) общий вид датчиков контактного давления; б) установка датчиков контактного давления на шине движителя: 1, 2, 3, 4, 5 – размещение датчиков давления на шине

F i g. 1. Contact pressure sensors:

a) general view of contact pressure sensors; b) installation of contact pressure sensors on the propelling device tire: 1, 2, 3, 4, 5 – placement of pressure sensors on the tire

Источник: фотографии сделаны И. М. Меликовым в 2023 г. при испытании комбайнов на агропроходимость при комплектации их шинами различного конструктивного исполнения.

Source: the photos were taken by I. M. Melikov in 2023 when testing agro cross-country ability of combine harvesters equipped with tires of various designs.

При определении значений средних давлений пневматического колеса на почву производился доленой учет показаний всех установленных на шине датчиков. Величина среднего давления определялась графоаналитическим интегрированием данных записей сигналов от каждого датчика.

По известным масштабам кривых сигналов на осциллографической ленте от всех датчиков можно достаточно точно получить размеры, форму и площадь контакта пневматического колеса с почвой.

Для определения средних давлений на почву выступами грунтозацепов $q_{\text{выст}}$ и впадинами $q_{\text{вп}}$ между ними было произведено разделение площади на 20–24 участка по длине контакта колеса с почвой:

$$q_{\text{выст}} = \frac{\sum_{i=1}^n q_i^{\text{выст}} l_i S_i}{\sum_{i=1}^n l_i S_i}; \quad q_{\text{вп}} = \frac{\sum_{i=1}^n q_i^{\text{вп}} l_i S_i}{\sum_{i=1}^n l_i S_i}, \quad (2)$$

где, $l_i S_i$ – соответственно длина и ширина каждой площадки, м.

Среднее давление $q_{\text{ср}}$ пневматического колеса на агрофон определялось с учетом выражения (1) по зависимости:

$$q_{\text{ср}} = \frac{q_{\text{выст}} F_{\text{выст}} + q_{\text{вп}} F_{\text{вп}}}{F_{\text{выст}} + F_{\text{вп}}}.$$

Для прямого измерения напряжений в слоях почвы (5; 10; 20; 30; 40 и 50 см) применялись специальные датчики 4 [20; 25], которые устанавливались с небольшим натягом в специальные углубления 5, сделанные в вертикально расположенной скважине 6 [20; 25] (рис. 2).

После установки в специальных углублениях (нишах) 5 датчиков и вывода измерительных проводов 2 на поверхность поля к записывающему устройству 3 скважина 6 закупоривалась безазорно заглушкой 1. Это было необходимо для исключения осыпания почвы внутрь скважины при проходе над ней комбайна или шинного тестера.

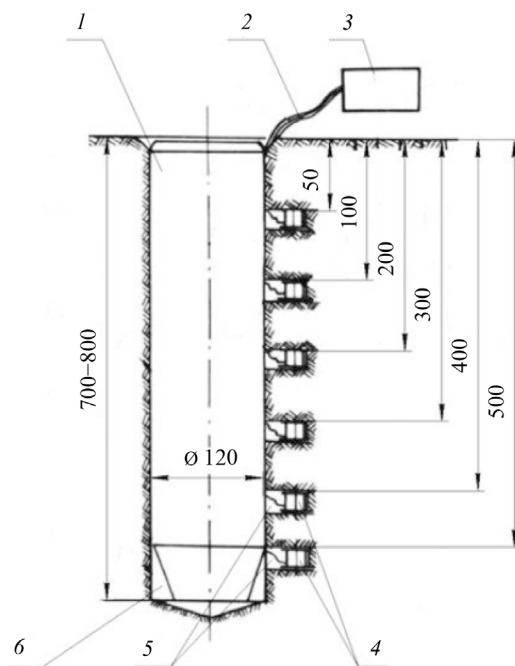
Вертикальные скважины на участке проведения испытаний выполнялись по одной линии с расстоянием между ними 25–30 м.

При движении комбайна или шинного тестера испытываемое колесо продольной осью перемещалось над скважиной, в которой располагались датчики напряжений. Запись показаний датчиков напряжений производили на расстоянии 10–12 м до подхода к первой скважине комбайна или шинного тестера, а оканчивали ее по мере удаления их от последней скважины на такое же расстояние. Повторность таких опытов для одного варианта испытываемой шины тридцатикратная.

Первичным материалом для установления величины давлений движителя комбайна на почву и нормальных напряжений в ее слоях являлись осциллограммы, которые обрабатывались на персональном компьютере по имеющемуся в нем программном обеспечении.

Влажность почвы и ее объемная масса определялись по методике Национального стандарта Российской Федерации ГОСТ Р 53764-2009 (ИСО 11461:2001)¹⁶ [6; 7].

¹⁶ ГОСТ Р 53764-2009 (ИСО 11461:2001). Качество почвы. Определение содержания почвенной влаги в виде объемной доли с применением трубок для отбора пробы грунта. Гравиметрический метод [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200076671> (дата обращения: 25.08.2024).



Р и с. 2. Схема размещения датчиков для прямого измерения напряжений в слоях почвы:

1 – заглушка; 2 – измерительные провода; 3 – записывающее устройство; 4 – датчики напряжений; 5 – специальные углубления; 6 – скважина

Fig. 2. Layout of sensors for direct measurement of stresses in soil layers:

1 – plug; 2 – measuring wires; 3 – recording device; 4 – voltage sensors; 5 – special recesses; 6 – borehole

Источник: здесь и далее рисунки составлены авторами статьи.

Source: hereinafter in this article the diagrams are compiled by the authors of the article.

Результаты исследования. Для определения значений величин максимального давления движителя комбайна на почвенное основание по стандартной методике¹⁷ были последовательно определены (табл. 3, 4) контурная площадь контакта колеса [23; 26] с помощью планиметра, площадь контакта движителя комбайна со стерней озимой пшеницы, среднее и максимальные давления комбайна на почвенное основание.

Приведенные в таблице 3 значения площади контакта сравниваемых вариантов шин на жестком опорном основании F_k и на стерне озимой пшеницы $F_{кп}$ свидетельствуют о том, что шина модели Ф-179 несколько уступает шине Ф-136. Причиной этого является повышенная у последней глубина рисунка протектора (высота грунтозацепов). При качении колеса высокие грунтозацепы образуют большую по сравнению с низкими длину и площадь контакта с почвой.

¹⁷ ГОСТ Р 58656-2019. Техника сельскохозяйственная мобильная. Методы определения воздействия движителей на почву.

Т а б л и ц а 3

Table 3

Площади контакта шин с опорным основанием**The contact area of the tires with the support base**

Модель шины / Tire model	Типоразмер шины / Tire size	Нагрузка, Н / Load, N	Площадь контакта, см ² / Contact area, cm ²	
			Жесткое опорное основание / Rigid support base	Стерня озимой пшеницы / Stubble of winter wheat
Ф-136 / F-136	30,5L-32	67 445	4 386	4 529
Ф-179 / F-179	30,5L-32	66 610	4 377	4 525
«Good Year»	30,5L-32	66 220	4 385	4 530
Ф-81Э / F-81E	30,5R-32Э / 30,5R-32E	67 200	4 329	4 764
Ф-81DP / F-81DP	30,5DP-32	67 200	4 700	5 300

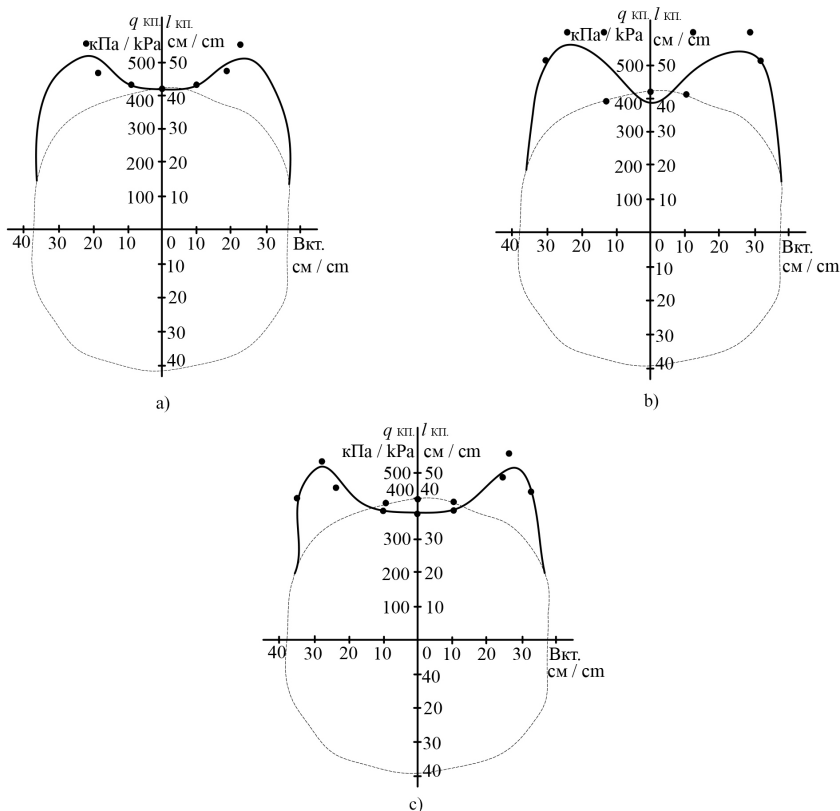
Т а б л и ц а 4

Table 4

Давление в контакте шин с опорным основанием**The contact pressure of the tires with the support base**

Модель шины / Tire model	Типоразмер шины / Tire size	Давление в контакте, кПа / Contact pressure, kPa			
		Среднее по ГОСТ Р 58656-2019 / Average according to GOST R 58656-2019		Максимальное / Maximum	
		Жесткое основание / Rigid base	Стерня озимой пшеницы / Stubble of winter wheat	По ГОСТ Р 58656- 2019 / According to GOST R 58656-2019	Факти- ческое / The actual
Ф-136 / F-136	30,5L-32	153,8	148,9	209,1	177,0
Ф-179 / F-179	30,5L-32	152,2	147,2	207,4	176,9
«Good Year»	30,5L-32	151,0	146,2	205,9	175,6
Ф-81Э / F-81E	30,5R-32Э / 30,5R-32E	155,2	141,1	198,7	157,8
Ф-81DP / F-81DP	30,5DP-32	143,0	126,8	195,0	152,2

Для примера на рисунке 3 приведены контурная площадь контакта и распределение давления по ширине протектора для диагональных шин.



Р и с. 3. Контурная площадь контакта (-----) и распределение давления по ширине протектора диагональных шин (—) двигателей комбайнов пятого поколения на стерне озимой пшеницы: а) Ф-136; б) Ф-176; в) «Good year»

Fig. 3. Contour contact area (-----) and pressure distribution over the tread width of diagonal tires (—) of fifth-generation combine harvesters on winter wheat stubble: а) F-136; б) F-176; в) "Good year"

У шин Ф-179 и «Good Year» данные показатели практически одинаковы, но уступают показателям шины Ф-81Э. Существенно выделяется экспериментальная разработка шины диагонально-параллельной конструкции, площадь контакта которой на 17 % больше. Это можно объяснить тем, что экспериментальные шины имеют лучшие деформационные характеристики, чем серийные диагонального и радиального конструктивного исполнения шины с теми же посадочными и габаритными размерами. Такие шины обладают повышенной радиальной деформацией [21].

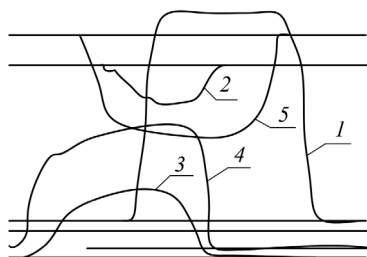
Однако по величине средних и максимальных давлений, вычисленных по методике¹⁸, в контакте шины Ф-136, Ф-179 и «Good Year» из-за разной нагрузки на них и различной их собственной массы становятся практически равноценными (табл. 4).

¹⁸ ГОСТ Р 58656-2019. Техника сельскохозяйственная мобильная. Методы определения воздействия движителей на почву.

Более того, у шин с малой высотой грунтозацепов и повышенной насыщенностью рисунка протектора («Good Year») значения фактического максимального давления даже меньше.

Следует отметить, что по значениям максимальных давлений, определенных по стандартной методике¹⁹, на полях с любой влажностью почвы ходовая система зерноуборочного комбайна пятого поколения на различных шинах, за исключением шин Ф-81Э и Ф-81ДП, используемых в засушливый период при влажности почвы не более 0,5 НВ, не соответствует требованиям²⁰ (не более 80...210 кПа в зависимости от периода года).

При определении действительных максимальных давлений, создаваемых движителями комбайна на стерне озимой пшеницы по специально разработанной методике после обработки осциллограмм было установлено, что эпюра давлений по ширине шины на почву имеет явно выраженный провал в экваториальной зоне (рис. 3), а по длине контакта колеса с агрофоном по форме близко к трапеции (рис. 4).



Р и с. 4. Образец осциллограммы записи сигналов датчиков давлений по длине контакта с агрофоном ведущих колес комбайна на стерне пшеницы:

1, 2, 3, 4, 5 – запись сигналов датчиков давления в соответствии с рисунком 1

F i g. 4. Sample of an oscillogram recording pressure sensor signals along the length of contact of the driving wheels of a combine harvester with the soil on wheat stubble:

1, 2, 3, 4, 5 – recording of pressure sensor signals in accordance with Figure 1

Первое характерно для шин низкого давления [2] и свидетельствует о значительном напряженном состоянии резинокордной оболочки, а второе показывает определенную перегруженность шин.

Наибольшая неравномерность эпюры давления, как продольной, так и поперечной, наблюдается у диагональных шин, а наименьшую неравномерность поперечной эпюры давлений показывают шины 30.5R-32Э и, особенно, 30,5DP-32.

В этом отношении несколько лучше среди диагональных шин выглядит шина «Good Year». Перегруженной следует считать шину Ф-179, у которой неравномерность распределения давления по ширине протектора наибольшая. Нельзя признать нормальным и то, что вследствие повышенного напряженного состояния резинокордной оболочки и неравномерного распределения давления у заднего основания всех грунтозацепов шины Ф-179 вблизи экваториальной зоны образовались

¹⁹ ГОСТ Р 58656-2019. Техника сельскохозяйственная мобильная. Методы определения воздействия движителей на почву.

²⁰ ГОСТ Р 58655-2019. Техника сельскохозяйственная мобильная. Нормы воздействия движителей на почву.

трещины при ее пробеге всего 25 км. Для устранения этого недостатка требуется технологическая доработка шины.

В результате обработки данных осциллограмм регистрации давлений датчиков, установленных на протекторе испытываемых шин ведущего моста зерноуборочного комбайна пятого поколения, было сделано уточнение, допускаемое стандартами²¹, коэффициентов K_1 и K_2 , используя выражение (1):

$$K_1 = \frac{F_{\text{кп}}}{F_{\text{к}}}, \quad K_2 = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{q_{\text{max}_i}}{q_{\text{cp}_i}} L_i S_i}{\sum_{i=1}^n L_i S_i},$$

В выражении (2) $F_{\text{кп}}$, $F_{\text{к}}$ – площади контакта шины с агрофоном соответственно фактическая, полученная на основе данных осциллограмм, и установленная по стандартной методике²², м^2 ; q_{max_i} , q_{cp_i} – соответственно максимальное и среднее давление на i -ом участке, кПа ; L_i , S_i – соответственно длина и ширина i -ого участка, м .

По рассчитанным с учетом уточненных значений коэффициентов K_1 и K_2 фактических показателей воздействия на почву сравниваемыми ходовыми системами комбайна (табл. 4) можно обозначить, что по максимальным давлениям в контакте ведущих колес с почвой комбайн пятого поколения выполняет требования ГОСТ Р 58655-2019 на всех сравниваемых шинах (предпочтение следует отдать шинам 30,5DP-32).

В результате обработки осциллограмм с помощью программного обеспечения, имеющегося в персональном компьютере, получены зависимости нормальных напряжений в почве от глубины залегания ее слоев (табл. 5). Они показывают, что величина этих напряжений в почве с низкой влажностью определяется в слоях пахотного (0...30 см) горизонта, в основной массе приходящихся на испытываемое колесо.

Т а б л и ц а 5

Table 5

Значения нормальных напряжений в различных слоях агрофона после прохода комбайна
The values of normal stress in soil various layers after the combine harvester has passed

Модель и типоразмер шины / Tire model and size		Нормальные напряжения по слоям почвы, кПа / Normal stress in soil layers, kPa					
		Глубина измерения, мм / Measuring depth, mm					
		0	100	200	300	400	500
Ф-136 / F-136	30,5L-32	384,9	338,7	217,8	128,2	60,7	20,2
Ф-179 / F-179	30,5L-32	357,2	317,8	222,1	107,6	50,0	19,6
«Good Year»	30,5L-32	360,0	318,1	231,9	103,8	39,3	19,2
Ф-81Э / F-81E	30,5R-32Э / 30,5R-32E	358,3	319,2	221,6	104,3	40,4	18,1
Ф-81DP / F-81DP	30,5DP-32	356,4	317,9	221,2	103,7	38,9	17,7

²¹ ГОСТ Р 58655-2019. Техника сельскохозяйственная мобильная. Нормы воздействия движителей на почву; ГОСТ Р 58656-2019. Техника сельскохозяйственная мобильная. Методы определения воздействия движителей на почву.

²² ГОСТ Р 58656-2019. Техника сельскохозяйственная мобильная. Методы определения воздействия движителей на почву.

Среднее напряжение в пахотном горизонте, создаваемое шинами Ф-179, «Good Year», Ф-81Э и Ф-81DP составляет 214...218 кПа, шиной Ф-136 – около 228 кПа. Здесь уже сказывается влияние высоты грунтозацепов, которая у модели Ф-136 значительно больше.

В подпахотном горизонте разница в величине напряжений, создаваемых шинами, с увеличением глубины залегания слоев почвы уменьшается.

С помощью анализа результатов проведенных экспериментов было доказано, что комплектованием ведущих колес комбайна пятого поколения различными моделями шин существенного преимущества по напряжениям не достигнуто из-за его большой массы.

На глубине 50 см в почве напряжения не превышают 20 кПа, что вполне приемлемо, так как допускаемые значения по ГОСТ Р 58655-2019 составляют 30...35 кПа.

Между тем, расчет этого же напряжения по методике²³ дает величину порядка 81...85 кПа, следовательно, шины требованиям по напряжениям в почве не удовлетворяют.

Такое несоответствие между результатами испытаний и расчетов можно объяснить тем, что стандартная методика, предложенная в ГОСТ 26954-2019, совершенно не учитывает физико-механические свойства почвы и поэтому не является совершенной.

После обработки образцов почвы по общепринятой методике вычислены значения плотности сложения (табл. 6) и наименьшей существенной разницы для нее.

Т а б л и ц а 6

Table 6

Плотность сложения в слоях почвы по следу движителей
Compaction of the structure of soil layers along the propelling device track

Глубина слоя, см / Layer depth, cm	Значение показателей плотности сложения почвы в слоях агрофона на стерне озимой пшеницы, г/см ³ / Values of the indicators of the structure compaction of soil layers on the winter wheat stubble, g/cm ³				
	Ф-136 / F-136 30,5L-32	Ф-179 / F-179 30,5L-32	«Good Year» 30,5L-32	Ф-81Э / F-81E 30,5R-32	Ф-81DP / F-81DP 30,5DP-32
0–10	1,26	1,24	1,25	1,23	1,22
10–20	1,27	1,25	1,25	1,24	1,23
20–30	1,26	1,26	1,26	1,25	1,24
30–40	1,28	1,27	1,27	1,26	1,25
40–50	1,27	1,27	1,27	1,26	1,26

Величина последней при достоверности 0,1 составляет между вариантами шин 0,02...0,03 г/см³, между вариантами шин и фоном – 0,03...0,05 г/см³. Приведенные в таблице 6 данные показывают, что уплотнение почвы в пахотном горизонте существенно, в подпахотном горизонте несущественно. Несущественна разница в уплотнении между всеми испытываемыми вариантами шин.

²³ ГОСТ 26954-2019. Техника сельскохозяйственная мобильная. Метод определения максимального нормального напряжения в почве.

Здесь можно лишь отметить, что на почве с низкой влажностью наблюдается тенденция к наименьшему уплотняющему воздействию на почву тех шин, на которые приходится меньшая масса («Good Year»), или которые имеют пониженную высоту грунтозацепов (Ф-179, «Good Year»).

Такая тенденция для плотности сложения, характеризующей остаточные процессы в почве при ее уплотнении, согласуется с приведенными ранее данными по максимальным нормальным напряжениям в почве, фиксирующими действие на нее движителя только в процессе контакта.

Таким образом, плотность сложения почвы, изменившаяся под воздействием рассматриваемых вариантов шин зерноуборочных комбайнов пятого поколения, в ее пахотном и подпахотном горизонтах не превышает равновесного для предкавказского легкосуглинистого малогумусного карбонатного чернозема значения.

Обсуждение и заключение. Анализ результатов экспериментальных работ по установлению агротехнической проходимости зерноуборочных комбайнов пятого поколения отечественного производства на основе стандартных методик показал, что они на движителях, укомплектованных испытываемыми шинами, по главным показателям (за исключением экспериментальных диагонально-параллельных шин при влажности почвы не более 0,5 НВ) не соответствуют ГОСТ Р 58655-2019.

Опытные диагонально-параллельные шины образуют, в связи с лучшими деформационными свойствами их оболочек, большую площадь пятна контакта с опорным основанием, поэтому значения показателей агротехнической проходимости имеют на 11...28 % меньше [21], чем другие варианты испытываемых шин.

Однако определение значений показателей агротехнической проходимости прямым измерением доказывает возможность применения современных комбайнов отечественного производства на уборке зерновых колосовых при комплектовании их движителей радиальными (с оптимальным армированием внутреннего строения) и опытными диагонально-параллельными шинами, так как:

- значения их максимальных давлений на агрофон меньше на 12...18 % против шин диагонального исполнения за счет образования большей по величине площади контакта при меньшей неравномерности их распределения в продольном и поперечном направлении протектора шины;

- в подпахотных слоях почвы значения напряжений, полученные в результате прямого измерения, постепенно выравниваются, а на глубине 0,50 м по следу всех испытываемых шин становятся не более 20 кПа (допускаемые по ГОСТ Р 58655-2019 – 30...35 кПа);

- величины плотности сложения почвы и возникающих нормальных напряжений в ее пахотных слоях после прохода комбайна на радиальных и диагонально-параллельных шинах меньше на 18 % и более, чем после шин диагонального исполнения, и не превышают равновесного для предкавказского легкосуглинистого малогумусного карбонатного чернозема значения.

Уточнение значений корректировочных коэффициентов K_1 и K_2 , учитывающих типоразмер шин и особенности агрофона, что допускается ГОСТ Р 58655-2019,

показало, что в период уборки зерновых колосовых в условиях Южного федерального округа можно применять отечественные комбайны пятого поколения, укомплектованные любым испытываемым вариантом шин, отдавая предпочтение диагонально-параллельным шинам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Терновых К.С., Четверова К.С. Состояние и тенденции развития технической базы сельскохозяйственных предприятий. *Intenational Agricultural Journal*. 2022;65(6):1051–1067. https://doi.org/10.55186/25876740_2022_6_6_25
Ternovykh K.S., Chetverova K.S. State and Trends of Development of the Technical Base of Agricultural Enterprises. *Intenational Agricultural Journal*. 2022;65(6):1051–1067. (In Russ., abstract in Eng.) https://doi.org/10.55186/25876740_2022_6_6_25
2. Годжаев З.А., Прядкин В.И., Колядин П.А., Артёмов А.В. Перспективные мобильные средства на шинах сверхнизкого давления для сельскохозяйственного производства. *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 2022;89(4):277–286. <https://doi.org/10.17816/0321-4443-115016>
Gojaev Z.A., Pryadkin V.I., Kolyadin P.A., Artemov A.V. Promising Mobile Vehicles with Ultra-Low Pressure Tires for Agricultural Production. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2022;89(4):277–286. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.17816/0321-4443-115016>
3. Moifar A., Shahgholi G., Abbaspour-Gilandeh Y., Herrera-Miranda I., Hernández-Hernández J.L., Herrera-Miranda M.A. Investigating the Effect of the Tractor Drive System Type on Soil Behavior Under Tractor Tires. *Agronomy*. 2021;11(4):696. <https://doi.org/10.3390/agronomy11040696>
4. Кононов А.М., Ксенович И.П. О воздействии ходовых систем тракторных агрегатов на почву. *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 1977;(4):5–7. EDN: WGABMX
Kononov A.M., Ksenovich I.P. [On the Impact of the Running Systems of Tractor Units on the Soil]. *Tractors and Agricultural Machinery*. 1977;(4):5–7. (In Russ.) EDN: WGABMX
5. Годжаев Т.З., Зубина В.А., Малахов И.С. Обоснование функциональных характеристик сельскохозяйственных мобильных энергетических средств в многокритериальной постановке. *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 2022;89(6):411–420. <https://doi.org/10.17816/0321-4443-121325>
Gojaev T.Z., Zubina V.A., Malakhov I.S. The Justification of Functional Properties of Agricultural Moving Power Units in the Multi-Objective Scenario. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2022;89(6):411–420. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.17816/0321-4443-121325>
6. Белоусова Е.Н., Белоусов А.А. Оценка агрофизических свойств чернозема в условиях перехода на почвозащитные технологии обработки. *Агрофизика*. 2021;(3). <https://doi.org/10.25695/AGRPH.2021.03.01>
Belousova E.N., Belousov A.A. Assessment of Agrophysical Properties of Chernozem in the Conditions of Transition to Soil-Protective Processing Technologies. *Agrophysics*. 2021;(3). (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.25695/AGRPH.2021.03.01>
7. Гармашов В.М., Говоров В.Н., Крячкова М.П. Изменение плотности сложения чернозема обыкновенного при минимизации обработки и прямом посеве в условиях юго-востока ЦЧР. *Аграрная Россия*. 2022;(3). <https://doi.org/10.30906/1999-5636-2022-3-14-17>
Garmashov V.M., Govorov V.N., Kryachkova M.P. Change in the Density of the Addition of Ordinary Chernozem with Minimization of Processing and Direct Sowing in the Conditions of the South-East of the Central Asian Republic. *Agrarian Russia*. 2022;(3). (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.30906/1999-5636-2022-3-14-17>
8. Ski J.B., Sergiel L. Effect of Wheel Passage Number and Tyre Inflation Pressure on Soil Compaction in the Wheel Track. *Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW, Agriculture*. 2013:5–15. Available at: <https://clck.ru/3Giijw> (accessed 23.08.2024).
9. Chervet A., Stumy W.G., Gut S., Sommer M., Stettler M., Weisskopf P., Keller Th. Wheel Load-Carrying Capacity – a Useful Parameter for Practice. *Swiss Agricultural Research*. 2016. Available at: <https://www.agrarforschungschweiz.ch/en/2016/07/wheel-load-carrying-capacity-a-useful-parameter-for-practice/> (accessed 23.08.2024).
10. Пашковский Р.Р., Евсеев К.Б. Разработка и верификация математической модели взаимодействия колесного движителя с деформируемым грунтом, основанной на применении

- метода дискретных элементов. *Тракторы и сельхозмашины*. 2023;90(2):149–160. <https://doi.org/10.17816/0321-4443-352576>
- Pashkovsky R.R., Evseev K.B. Development and Verification of a Mathematical Model of the Interaction Between a Wheeled Propulsor and Deformable Soil Based on the Application of the Discrete Element Method. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2023;90(2):149–160. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.17816/0321-4443-352576>
11. Шилов И.Н., Романюк Н.Н., Крук И.С., Орда А.Н., Галимов Р.Р., Максимович К.Ю. и др. Влияние параметров ходовых систем колесных машин на изменение плотности почвы. *Тракторы и сельхозмашины*. 2021;88(5):30–37. <https://doi.org/10.31992/0321-4443-2021-5-30-37>
- Shilo I.N., Romanyuk N.N., Kruk I.S., Orda A.N., Galimov R.R., Maximovich K.Yu., et al. The Influence of the Parameters of the Running Systems of Wheeled Vehicles on the Change in Soil Density. *Tractors and Agricultural Machines*. 2021;88(5):30–37. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.31992/0321-4443-2021-5-30-37>
12. Анисимов Н.Л. Методика рационального выбора комплекта пневматических шин для сельскохозяйственного трактора. *Тракторы и сельхозмашины*. 2022;89(6):421–429. <https://doi.org/10.17816/0321-4443-109895>
- Anisimov N.L. The Method of Reasonable Selection of a Pneumatic Tire Set for an Agricultural Tractor. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2022;89(6):421–429. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.17816/0321-4443-109895>
13. Moifar A., Shahgholi G., Gilandeha Y.A., Kaveh M., Szymanek M. Investigating the Effect of the Tractor Driving System Type on Soil Compaction Using Different Methods of ANN, ANFIS and Step Wise Regression. *Soil and Tillage Research*. 2022;222:105444. <https://doi.org/10.1016/j.still.2022.105444>
14. Keller T., Sandin M., Colombi T., Horn R., Or D. Historical Increase in Agricultural Machinery Weights Enhanced Soil Stress Levels and Adversely Affected Soil Functioning. *Soil and Tillage Research*. 2019;194:104293. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104293>
15. Sergiel L., Bulinski J. Soil Compaction Changes in the Area of Wheel Passage at Different Tyre Pressure Values. *Warsaw University of Life Sciences*. 2016;(67):19–28. Available at: <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/pdf/10.5555/20163299161> (accessed 27.08.2024).
16. Mileusnić Z.I., Satjnikov E., Radojević R.L., Petrović D.V. Soil Compaction Due to Agricultural Machinery Impact. *Journal of Terramechanics*. 2022;100:51–60. <https://doi.org/10.1016/j.jterra.2021.12.002>
17. Яровой В.Г., Кравченко В.А., Меликов И.М., Магомедов Ф.М. Пневматическая шина для мобильного энергетического средства. Патент 2677817 Российская Федерация. 21 января 2019. EDN: **KRAQQZ**
- Yarovoy V.G., Kravchenko V.A., Melikov I.M., Magomedov F.M. Pneumatic Tyre for Mobile Energy Means. Patent 2677817 Russian Federation. 2019 January 21. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: **KRAQQZ**
18. Кравченко В.А., Яровой В.Г., Пархоменко С.Г., Меликов И.М., Яровой А.В. Шинный тестер. Патент 2107275 Российская Федерация. 20 марта 1998. EDN: **BBWPYY**
- Kravchenko V.A., Yarovoy V.G., Parkhomenko S.G., Melikov I.M., Yarovoy A.V. Tire Tester. Patent 2107275 Russian Federation. 1998 March 20. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: **BBWPYY**
19. Kravchenko V., Kravchenko L., Oberemok V., Avanesyan A. Analysis of the Influence of Design Parameters on the Agro-Ecological Qualities of Tractor Tires. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021;937:032010. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/937/3/032010>
20. Кравченко В.А., Меликов И.М. Оценка агротехнических свойств движителей зерноуборочных комбайнов с шинами различного конструктивного исполнения. *Аграрный научный журнал*. 2020;(5):93–98. EDN: **OZXVYR**
- Kravchenko V.A., Melikov I.M. Evaluation of Agrotechnical Properties of Propulsion Units in Combine Harvesters-Threshers with Tires of Various Design. *Agrarian Scientific Journal*. 2020;(5):93–98. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: **OZXVYR**
21. Кравченко В.А., Меликов И.М. Сравнительный анализ деформирования шин 30,5-32 с различным внутренним строением. *Научный журнал КубГАУ*. 2019;(151). <https://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-151-011>

- Kravchenko V.A., Melikov I.M. Comparative Analysis of the Deformation in Tires 30.5-32 with a Different Internal Structure. *Scientific Journal of KubSAU*. 2019;(151). (In Russ., abstract in Eng.) <https://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-151-011>
22. Скорляков В.И., Ревенко В.Ю. Особенности воздействия на почву зерноуборочных комбайнов. *Техника и оборудование для села*. 2022;(1):25–29. <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2022-1-25-29>
Skorlyakov V.I., Revenko V.Yu. Features of the Impact on the Soil of Combine Harvesters. *Machinery and Equipment for the Village*. 2022;(1):25–29. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2022-1-25-29>
23. Скорляков В.И., Ревенко В.Ю. Совершенствование метода расчета давления движителей зерноуборочных комбайнов на почву. *Тракторы и сельхозмашины*. 2022;89(6):403–410. <https://doi.org/10.17816/0321-4443-108481>
Skorlyakov V.I., Revenko V.Yu. Improvement of the Method of Calculation of Pressure of Combine Harvester Propulsion on Soil. *Tractors and Agricultural Machines*. 2022;89(6):403–410. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.17816/0321-4443-108481>
24. Драгуленко В.В., Харитонов В.В. Динамика качения колеса с пневматической шиной при переменной вертикальной нагрузке. *Научный журнал КубГАУ*. 2024;198:79–88. EDN: QLPNHQ
Dragulenko V.V., Kharitonov V.V. Rolling Dynamics of a Pneumatic Tire Wheel Under Variable Vertical Load. *Scientific Journal of KubGAU*. 2024;198:79–88. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: QLPNHQ
25. Кравченко В.А., Кравченко Л.В., Меликов И.М., Кондра Б.А. Оценка показателей агропроходимости мощных зерноуборочных комбайнов в комплектации с шинами различного исполнения. *Вестник аграрной науки Дона*. 2020;50(2):34–43. EDN: TWIUJF
Kravchenko V.A., Kravchenko L.V., Melikov I.M., Kondra B.A. Estimation of Agro Cross-Country Ability Indicators of Powerful Grain Harvesters Completed with Tires of Various Designs. *Don Agrarian Science Bulletin*. 2020;50(2):34–43. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: TWIUJF
26. Липкань А.В., Панасюк А.Н., Годжаев З.А., Лавров А.В., Русанов А.В., Казакова В.А. Оценка способов экспериментально-аналитического определения контурной площади пятна контакта пневмошины с опорным основанием. *Тракторы и сельхозмашины*. 2021;88(1):40–50. <https://doi.org/10.31992/0321-4443-2021-1-40-50>
Lipkan A.V., Panasyuk A.N., Gojaev Z.A., Lavrov A.V., Rusanov A.V., Kazakova V.A. Evaluation of Methods for Experimental and Analytical Determination of the Contour Area of the Contact Patch of a Pneumatic Tire with a Support Base. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2021;88(1):40–50. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.31992/0321-4443-2021-1-40-50>

Об авторах:

Кравченко Людмила Владимировна, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой проектирования и технического сервиса транспортно-технологических систем Донского государственного технического университета (344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9228-3313>, Researcher ID: ABD-9790-2021, Scopus ID: 57204646125, SPIN-код: 9684-8955, Lyudmila.vl.kravchenko@yandex.ru

Кравченко Владимир Алексеевич, доктор технических наук, профессор кафедры техники и технологии пищевых производств Донского государственного технического университета (344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9152-5851>, Scopus ID: 57204159481, SPIN-код: 9983-4293, a3v2017@yandex.ru

Журба Виктор Викторович, доцент, доцент кафедры проектирования и технического сервиса транспортно-технологических систем Донского государственного технического университета (344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1075-6157>, Scopus ID: 57212377815, SPIN-код: 1453-5517, vic.zhurba@yandex.ru

Меликов Изет Мелукович, кандидат технических наук, доцент кафедры технической эксплуатации автомобилей Дагестанского государственного аграрного университета имени М. М. Джембулатова (367032, Российская Федерация, г. Махачкала, ул. Магомета Гаджиева, 180), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8928-8714>, Scopus ID: 57211759742, SPIN-код: 3194-9952, izmelikov@yandex.ru

Заявленный вклад авторов:

Л. В. Кравченко – контроль, лидерство и наставничество в процессе планирования и проведения исследования; формулирование замысла исследования, целей и задач; осуществление научно-исследовательского процесса, включая выполнение экспериментов или сбор данных; создание и подготовка рукописи: написание черновика рукописи, включая его перевод на иностранный язык.

В. А. Кравченко – применение статистических, математических, вычислительных других формальных методов для анализа данных исследования; разработка или проектирование методологии исследования; создание и подготовка рукописи: визуализация результатов исследования и полученных данных.

В. В. Журба – осуществление научно-исследовательского процесса, включая выполнение экспериментов и сбор данных; создание и подготовка рукописи: визуализация результатов исследования и полученных данных.

И. М. Меликов – осуществление научно-исследовательского процесса, включая выполнение экспериментов и сбор данных; создание и подготовка рукописи: визуализация результатов исследования и полученных данных.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

*Поступила в редакцию 17.10.2024; поступила после рецензирования 04.11.2024;
принята к публикации 12.11.2024*

About the authors:

Lyudmila V. Kravchenko, Dr.Sci. (Eng.), Professor, Head of the Chair of Design and Technical Service of Transport and Technological Systems, Don State Technical University (1 Gagarin Square, Rostov-on-Don 344003, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9228-3313>, Researcher ID: ABD-9790-2021, Scopus ID: 57204646125, SPIN-code: 9684-8955, Lyudmila.vl.kravchenko@yandex.ru

Vladimir A. Kravchenko, Dr.Sci. (Eng.), Professor of the Department of Food Production Engineering and Technology, Don State Technical University (1 Gagarin Square, Rostov-on-Don 344003, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9152-5851>, Scopus ID: 57204159481, SPIN-code: 9983-4293, a3v2017@yandex.ru

Victor V. Zhurba, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Design and Technical Service of Transport and Technological Systems, Don State Technical University (1 Gagarin Square, Rostov-on-Don 344003, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1075-6157>, Scopus ID: 57212377815, SPIN-code: 1453-5517, vic.zhurba@yandex.ru

Izzet M. Melikov, Cand.Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department of Technical Operation of Automobiles, Dagestan State Agricultural University named after M. M. Dzhambulatov (180 Magomed Gadzhiev St., Makhachkala 367032, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8928-8714>, Scopus ID: 57211759742, SPIN-code: 3194-9952, izmelikov@yandex.ru

Contribution of the authors:

L. V. Kravchenko – control, leadership and mentoring in the process of planning and conducting the study; formulating the idea, aims and objectives of the study; conducting the study including performing experiments and collecting data; preparing the manuscript.

V. A. Kravchenko – using statistical, mathematical, computational, or other formal techniques to analyze the study data; developing or designing the study methodology; preparing, the manuscript; visualizing the study results and data obtained.

V. V. Zhurba – conducting the study, including performing the experiments and collecting data; preparing, the manuscript; visualizing the study results and data obtained.

I. M. Melikov – conducting the study, including performing the experiments and collecting data; preparing, the manuscript; visualizing the study results and data obtained.

All authors have read and approved the final manuscript.

Submitted 17.10.2024; revised 04.11.2024; accepted 12.11.2024