

МЕХАНИЗАЦИЯ, ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ, АВТОМАТИЗАЦИЯ / MECHANIZATION, ELECTRIFICATION, AUTOMATION

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.5.868-876>
УДК 629.032:631.372



Методика расчета давления на почву колесных тракторов

© 2023. В. Ю. Ревенко ✉, А. Н. Назаров, В. И. Скорляков

ФГБНУ «Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса», п. Правдинский, Московская область, Российская Федерация

Российский рынок тракторной техники в последние годы переживает самую масштабную трансформацию в новейшей истории. На рынке появилось множество новых поставщиков, происходит ускоренная замена ушедших брендов на российские аналоги и технику из дружественных стран. Оценить всё это количественное и качественное разнообразие тракторов, предлагаемых сельхозтоваропроизводителям через систему машиноиспытаний, весьма проблематично, особенно с учетом наличия у каждого производителя большого количества типоразмерных рядов энергосредств. Тем не менее, покупатель должен иметь доступ к информации об основных потребительских свойствах и степени эффективности того или иного образца техники. В статье предлагается расчетный метод оценки одного из важнейших функциональных показателей тракторной техники, а именно – уровня воздействия её движителей на почву с использованием ограниченной исходной информации: технической характеристики и эксплуатационной документации завода-изготовителя. Приведенный в тексте алгоритм прошел апробацию во время испытаний реальных образцов тракторной техники. Несущественные различия в оценке максимального давления на почву, полученные в результате измерений и расчетов (разница составляет 1,9-3,3 %) свидетельствуют о высокой степени достоверности разработанной методики, а также о возможности её применения в инженерной практике для оценки функциональных показателей тракторов, в том числе с учетом изменения их размерно-массовых параметров при укомплектовании балластными грузами, сельскохозяйственными орудиями, сдвоенными шинами и т. д. Для производства расчетов достаточно знать вес трактора, вес балластных грузов (навешиваемых орудий), типоразмер установленных шин, их статический радиус и величину внутришинного давления. Методика позволит существенно улучшить качество прогнозной оценки уровня воздействия на почву как серийно выпускаемой, так и проектируемой тракторной техники.

Ключевые слова: сельскохозяйственный трактор, колесный движитель, вертикальная нагрузка, пятно контакта, алгоритм, расчет

Благодарности: работа выполнена при поддержке Министерства сельского хозяйства России в рамках Государственного задания ФГБНУ «Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса» (тема № 082-00204-23-00).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Ревенко В. Ю., Назаров А. Н., Скорляков В. И. Методика расчета давления на почву колесных тракторов. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(5):868-876. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.5.868-876>

Поступила: 28.04.2023

Принята к публикации: 05.09.2023

Опубликована онлайн: 30.10.2023

Method of calculating the pressure on the soil of wheeled tractors

© 2023. Valery Yu. Revenko ✉, Andrej N. Nazarov, Victor I. Skorlyakov

Russian Research Institute of Information and Feasibility Study on Engineering Support of Agribusiness, Pravdinsky, Moscow Region, Russian Federation

The market of tractors in Russia has changed greatly in recent years. A number of new suppliers have appeared on the market, abandoned brands are replaced for Russian analogues and machines from friendly countries. It is hard to evaluate all the quantitative and qualitative diversity of tractors provided to agricultural producers through the system of machine tests, especially considering that every manufacturer has a large number of standard size ranges of power equipment. Nevertheless, the customer should have access to information about the basic consumer properties and the degree of effectiveness of a particular machine unit. The article provides a computational method for evaluating one of the most important functional indicators of tractors, namely, the level of impact of its wheels on the soil, using limited initial information: technical characteristics and operational documentation of the manufacturer. The algorithm given in the text was approved during testing real tractor samples. Insignificant differences in the assessment of the maximum pressure on the soil, obtained as a result of measurements

and calculations (the difference is 1.9-3.3 %) indicate a high degree of reliability of the developed methodology, as well as the possibility of its application in engineering practice to evaluate the functional indicators of tractors, including taking into account changes in their size and mass parameters when equipped with ballast weights, agricultural machines, implements, dual tires, etc. To make calculations, it is enough to know the weight of the tractor, the weight of ballast loads (mounted implements), the size of the installed tires, their static radius and the amount of tire inflation pressure. The methodology will significantly improve the quality of the predictive assessment of the level of impact on the soil of both mass-produced and designed tractor equipment.

Key words: agricultural tractor, wheel propeller, vertical load, contact patch, algorithm, calculation

Acknowledgments: the research was carried out under the support of the Ministry of Agriculture of Russia within the state assignment Russian Research Institute of Information and Technical and Economic Studies on Engineering and Technical Provision of Agro-Industrial Complex (theme No. 082-00204-23-00).

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Conflict of interest: the authors stated no conflict of interest.

For citations: Revenko V. Yu., Nazarov A. N., Skorlyakov V. I. Methodology for calculating the pressure on the soil of wheeled tractors. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(5):868-876. (In Russ.). <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.5.868-876>

Received: 28.04.2023

Accepted for publication: 05.09.2023

Published online: 30.10.2023

Оценить эффективность того или иного образца сельскохозяйственной техники конечный потребитель может на основании находящихся в открытом доступе данных, полученных по результатам испытаний, а также характеристик, указанных производителем техники в технической и эксплуатационной документации. В Российской Федерации Министерством сельского хозяйства организованы работы по определению функциональных характеристик (потребительских свойств) и эффективности сельскохозяйственной техники и оборудования. Основной исполнитель – система машиноиспытательных станций (МИС), находящихся в различных природно-климатических зонах страны¹.

К функциональным характеристикам относятся тягово-скоростные, агротехнические и прочие показатели, в том числе величина номинального тягового усилия, буксования, удельного расхода топлива, максимального давления движителей на почву². Последний показатель является одним из важнейших, особенно с экологической точки зрения. В течение последних пяти десятилетий в почве фиксируется значительное увеличение механических напряжений, возникающих от действия ходовых систем техники. В результате подавляющее большинство полей

уплотнено до критических для выращивания сельскохозяйственных культур уровней [1, 2, 3].

Для оценки степени воздействия техники на почву сотрудникам МИС необходимо произвести измерение статической нагрузки, приходящейся на каждый колесный движитель. Затем установить размер площади контакта шины каждого колесного движителя на твердом основании с последующим приведением данного показателя к условиям работы на почвенном основании в соответствии с ГОСТ Р 58656-2019³. Следующим этапом рассчитывается максимальное давление колесных движителей на почву. Таким образом, при определении уровня воздействия техники на почву преобладают натурные измерения и в меньшей мере применяются расчетные методы.

Однако на МИС испытывается всего лишь небольшая часть техники, особенно тракторной, при том, что российский рынок сельскохозяйственной техники в последние годы переживает самую масштабную трансформацию в новейшей истории⁴. На рынке появилось множество новых неизвестных никому поставщиков, происходит ускоренная замена ушедших брендов на российские аналоги и энергосредства из дружественных стран. Естественно, оценить всё это разнообразие техники через систему машиноиспытаний весьма проблематично.

¹Положение об организации работ по определению функциональных характеристик (потребительских свойств) и эффективности сельскохозяйственной техники и оборудования (утв. постановлением Правительства РФ от 1 августа 2016 г. № 740). [Электронный ресурс]. URL: <http://government.ru/docs/all/107846/> (дата обращения: 14.02.2023).

²Нормативные затраты для определения функциональных характеристик сельскохозяйственной техники: брошюра. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2022. 308 с. URL: <https://rosinformagrotech.ru/data/send/1-root/1610-normativnye-zatraty-dlya-opredeleniya-funktsionalnykh-kharakteristik-selskokhozyajstvennoj-tehniki-broshyura>

³ГОСТ Р 58656-2019. Техника сельскохозяйственная мобильная. Методы определения воздействия движителей на почву. М.: Стандартинформ, 2019. 24 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/724/72400.pdf>

⁴АСХОД: что ждет российский рынок сельхозтехники в 2023 году. Агробизнес. 2022;(7). [Электронный ресурс]. URL: <https://agbz.ru/news/askhod-chto-zhdet-rossiyskiy-rynok-selkhoztehniki-v-2023-godu/> (Дата обращения: 02.04.2023).

Цель исследования – разработать расчетный метод оценки одного из важнейших функциональных показателей тракторной техники – уровня воздействия её движителей на почву, в том числе с учетом изменения размерно-массовых параметров агрегата при навешивании на энергосредство балластных грузов и орудий

Научная новизна – определение нового алгоритма оценки максимального давления тракторов на почву расчетным методом, позволяющим учитывать дополнительные воздействия от комплектации навесными адаптерами и балластными грузами.

Материал и методы. Объектом исследований является уровень максимального давления на почву ходовых систем колесных тракторов сельскохозяйственного назначения. Данный показатель зависит от вертикальной нагрузки на колесо, внутришинного давления, размеров шины и прочих параметров, которые напрямую определяют величину контурной площади контакта протектора и соответственно показатели удельного давления.

Авторами предлагается методика расчета, позволяющая оценить уровень воздействия на почву ходовых систем колесной техники с использованием ограниченной исходной информации, например, только на основании данных из технической и эксплуатационной документации завода-изготовителя. В основу методики легли результаты предыдущих исследований [4, 5].

Алгоритм расчета включает в себя следующие этапы: оценку распределения веса по осям трактора без балластных грузов; вычисление центра тяжести трактора в данной комплектации; определение реакций опор под движителями трактора, загруженного балластными грузами или навешенным орудием (сельхозмашиной); расчет контурной площади контакта каждого из движителей с почвой, с последующим определением их среднего и максимального давления на почву.

Оценку релевантности предлагаемой методики проводили путем сравнения расчетных показателей с результатами измерений, полученными при исследовании натурных образцов тракторной техники. В рамках статьи

приведены результаты оценки на примере полноприводного колёсного трактора John Deer 8420 тягового класса 4. Данный образец в заводском исполнении был укомплектован колесами с шинами размерности переднего моста 600/70R30, заднего – 710/70R42.

Распределение нагрузок по осям и колесам оценивали с использованием 4-платформенных тензометрических весов CAS RW-10P, с пределом взвешивания каждой платформы – 10 т, допустимой погрешностью измерения ± 20 кг. Полученные результаты перепроверяли на стационарных 60-тонных автомобильных весах РС-60Д24 с весовым индикатором CAS CI-200А и 6 тензодатчиками Zemic НМ-9В, с погрешностью измерения ± 30 кг. Контурную площадь пятна контакта шин с жесткой опорной поверхностью определяли для двух вариантов комплектации трактора: с балластом и без него в соответствии с ГОСТ Р 58656-2019. Процесс измерений показан на рисунке 1.

Для описания алгоритма расчета максимального давления на почву ходовых систем тракторов воспользуемся положениями методики проведения испытаний при определении функциональных характеристик и эффективности сельскохозяйственной техники, утвержденной Минсельхозом РФ⁵. В соответствии с ней искомый параметр определяется при полностью загруженной технике на горизонтальной площадке. Поэтому в общем случае распределение сил, действующих на трактор, и реакции опор должны соответствовать схеме, представленной на рисунке 2.

В соответствии со схемой на трактор будут действовать следующие силы и моменты: $G_{тр}$ – вес трактора, кН; $G_{п}$ – вес переднего балластного груза, кН; $G_{з}$ – вес заднего балластного груза или сельхозорудия, кН; $R_{п}$ – реакция опорной поверхности под передней осью, кН; $R_{з}$ – реакция опорной поверхности под задней осью, кН. Кроме вышеперечисленных, на схеме приведены: L – колесная база трактора, м; x – абсцисса центра тяжести трактора относительно задней оси, м; $l_{п}$ – плечо приложения веса переднего балласта (расстояние от передней оси до центра тяжести груза), м; $l_{з}$ – плечо приложения веса заднего балластного груза (или орудия), м.

⁵URL: <http://government.ru/docs/all/107846/>



a / a

б / b



в / c

г / d

Рис. 1. Определение размеров контактирующей поверхности шин (а, б), процесс взвешивания трактора (в, г) /

Fig. 1. Determining the dimensions of the tire contact surface (a, b), the tractor weighing process (c, d)

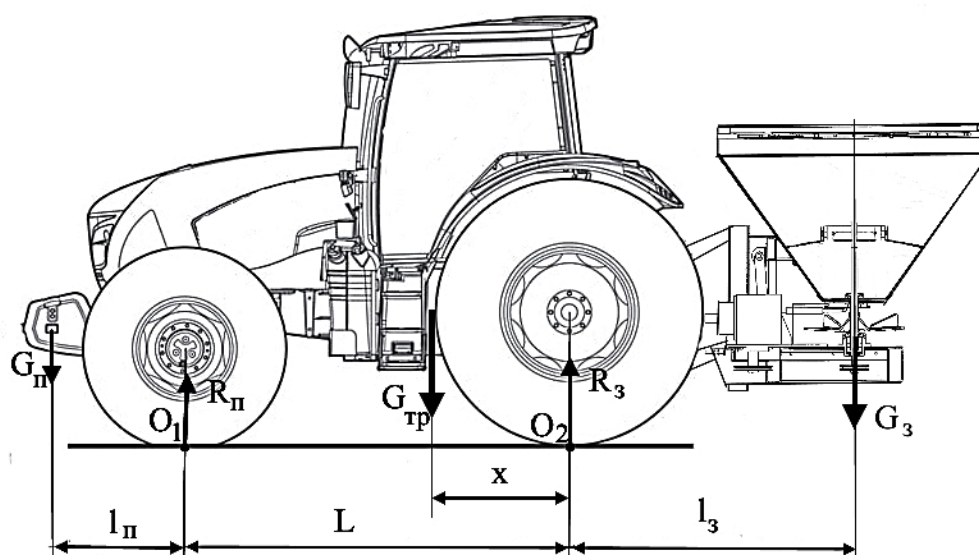


Рис. 2. Схема сил и реакций, действующих в продольной плоскости на трактор при определении максимального давления на почву /

Fig. 2. Diagram of forces and reactions acting in the longitudinal plane on the tractor when determining the maximum pressure on the soil

Горизонтальную координату центра тяжести трактора без балластных грузов определяли по формуле, регламентированной действующим стандартом⁶:

$$x = \frac{R_n \cdot L}{G_{тр}}. \quad (1)$$

В случае навешивания на трактор сельскохозяйственной машины или орудия, а также установки передних балластных грузов реакцию опоры R_3 , вызванной весовой нагрузкой на заднюю ось трактора, вычисляем, предварительно составив уравнение моментов сил относительно точки O_1 (рис. 2):

$$R_3 = \frac{1}{L} (G_{тр} \cdot (L - x) + G_3 \cdot (L + l_3) - G_n \cdot l_n). \quad (2)$$

Соответственно реакцию опоры под передним мостом R_n определяем из уравнения моментов сил относительно точки O_2 :

$$R_n = \frac{1}{L} (G_{тр} \cdot x + G_n \cdot (l_n + L) - G_3 \cdot l_3). \quad (3)$$

Отметим, что в случае навешивания балластных грузов непосредственно на колеса, или использования сдвоенных шин, реакции опор вычисляли путем суммирования веса груза с R_3 и R_n .

Зная осевые нагрузки, а также допуская, что между левым и правым колесом они распределены поровну простым делением R_n и R_3 на 2, рассчитаем реакцию опоры под единственным колесным движителем – m_{ki} .

Контурная площадь пятна контакта колес с жестким опорным основанием может быть определена по представленным в различных источниках информации алгоритмам, разработанным отечественными исследователями [6, 7, 8, 9]. Известны также и аналогичные зарубежные экспериментально-аналитические модели [10, 11]. Однако мы рекомендуем определять искомый параметр с использованием одной из наиболее простых и достоверных формул, приведенных в [12]. Указанная формула наиболее точно описывает площадь контакта для регламентируемого заводом-изготовителем максимально допустимого значения вертикальной нагрузки на колесо $G_{ki}^{регл}$ (кН) при соответствующем внутришинном давлении воздуха $P_{wi}^{регл}$ (кПа). В этом случае контурную площадь пятна контакта шины i -го колеса $F_{ki}^{регл}$ (m^2) можно рассчитать, используя следующую зависимость:

$$F_{ki}^{регл} = B_i \cdot \sqrt{f_i \cdot (D_i - f_i)} + 0,5 \cdot f_i \cdot H_i, \quad (4)$$

где B_i и H_i – соответственно ширина и высота профиля i -й шины; m ; D_i – свободный диаметр, m ; f_i – нормальный прогиб, m .

Высоту профиля i -ой шины H_i (m) находим из выражения:

$$H_{ij} = 0,5 \cdot (D_i - d_i), \quad (5)$$

где $d_i = d_i^{inch} \cdot 0,0254$ – диаметр обода в метрах; d_i^{inch} – диаметр обода шины в дюймах, величину которого можно взять из ее маркировки.

Нормальный прогиб шины f_i (m), регламентируемый производителем при максимально допустимой вертикальной нагрузке на шину определяем:

$$f_i = \frac{D_i}{2} - R_{cti}, \quad (6)$$

где R_{cti} – условный статический радиус шины (m), обычно указываемый в каталогах производителями шин.

Чаще всего фактическое давление воздуха в шине $P_{wi}^{факт}$ отлично от регламентируемого $P_{wi}^{регл}$, а фактическая вертикальная нагрузка $G_{ki}^{факт}$ меньше максимально допустимой – $G_{ki}^{регл}$. В этом случае необходимо уточнить контурную площадь пятна контакта с использованием следующей математической модели:

$$F_{ki}^{факт} = F_{ki}^{регл} \cdot \frac{(P_{wi}^{регл})^{0,25}}{(G_{ki}^{регл})^{0,5}} \cdot \frac{(G_{ki}^{факт})^{0,5}}{(P_{wi}^{факт})^{0,25}}. \quad (7)$$

Площадь контакта шины i -го колеса с почвой F_{kpi} находим по выражению:

$$F_{kpi} = F_{ki}^{факт} \cdot k_{1i}, \quad (8)$$

где значения k_{1i} для колес передней и задней осей зависят от диаметра колес и берутся из ГОСТ Р 58656-2019.

Среднее нормальное давление колесного движителя на почву \bar{q}_{kij} , кПа:

$$\bar{q}_{ki} = \frac{m_{ki} \cdot g}{10^3 \cdot F_{kpi}}, \quad (9)$$

где m_{ki} – масса, создающая статическую нагрузку на почву единственным колесным движителем, кг; g – ускорение свободного падения, $9,81 \text{ м/с}^2$.

Максимальное нормальное давление i -го колесного движителя на почву q_{maxi}^k определяли:

$$q_{maxi}^k = \bar{q}_{ki} \cdot k_2, \quad (10)$$

где $k_2 = 1,5$ – коэффициент продольной неравномерности распределения давления по площади контакта шины.

⁶ГОСТ 33691-2015 Испытания сельскохозяйственной техники. Метод определения угла поперечной статической устойчивости М.: Стандартинформ, 2016. 9 с.

URL <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293753/4293753892.pdf?ysclid=llrtntx661705843>

Таким образом, имея в наличии показатели эксплуатационной массы трактора, а еще лучше – развесовки по осям или колесам, можно с помощью предлагаемого алгоритма рассчитать максимальное давление на почву конкретного образца тракторной техники. В том числе, при её балластировке передними и задними балластными грузами, а также при агрегатировании с различными видами сельскохозяйственных машин и орудий. В случае отсутствия таких данных (например, если нам

известна только масса машины [13]), можно воспользоваться осредненными результатами оценки соотношения доли массы, приходящейся на переднюю ось тракторов с колесной формулой⁷, рекомендуемой различными исследователями⁸ (табл. 1).

Результаты и их обсуждение. Результаты инструментальной оценки размерно-массовых параметров трактора John Deer 8420 с балластными грузами и без них приведены в таблице 2.

Таблица 1 – Примерные соотношения доли передней и задней осей в общей массе колесного трактора при различных вариантах агрегатирования /

Table 1 – Approximate ratios of the share of the front and rear axles in the total weight of a wheeled tractor with various aggregation options

Тип трактора / Tractor type	Орудие / Implement		
	прицепное / trailed	полунавесное / semi mounted	полностью навесное / fully mounted
4к2 / 4к4	25/75	30/70	35/55
4к4а / 4к4а	35/65	35/65	40/60
4к4б / 4к4б	55/45	55/45	60/40

Таблица 2 – Показатели трактора John Deer 8420 /

Table 2 – Indicators of the John Deer 8420 tractor

Показатель / Indicator	Значение / Meaning
Масса трактора без балласта, кг / Tractor weight without ballast, kg	10090
Масса, приходящаяся на переднюю ось, кг / Weight per front axle, kg	4380
Масса, приходящаяся на заднюю ось, кг / Weight per rear axle, kg	5710
Колесная база, мм / Wheel base, mm	3020
Масса трактора с балластом, кг / Tractor weight with ballast, kg	12340
Масса переднего балластного груза, кг / Weight of the front ballast, kg	1250
Плечо приложения веса переднего балласта, мм / Shoulder of application of the weight of the front ballast, mm	1560
Вес заднего балластного груза, кг / Weight of the rear ballast, kg	1250
Плечо приложения веса заднего груза, м / Shoulder of the application of the weight of the rear load, m	0
Реакция опорной поверхности под передней осью, кг / Reaction of the support surface under the front axle, kg	5840
Реакция опорной поверхности под задней осью, кг / Reaction of the support surface under the rear axle, kg	6500

Результаты измерений размерных параметров шин передней и задней осей трактора John Deer 8420 сведены в таблицу 3.

Используя приведенный в предыдущем разделе алгоритм расчета и данные таблиц 2 и 3, вычислим величину максимального давле-

ния на почву движителей исследуемого образца техники. Полученные показатели, а также результаты взвешиваний трактора и измерений контурной площади пятна контакта шин 710/70R42 и 600/70R30 сведены в таблицу 4.

⁷Hanna H. M., Harmon J. D., Petersen D. Farm Energy: Ballasting tractors for fuel efficiency. 2010.

URL: <https://dr.lib.iastate.edu/entities/publication/fa237a35-c8a0-4673-917c-e98d135d0957>

⁸ Tractor ballasting Identify the goal-weight distribution by axle. Agriculture and Environment Extension Publications. Book 29. 2021. [Электронный ресурс] URL: https://www.dpi.nsw.gov.au/data/assets/pdf_file/0010/1315297/primefact-tractor-ballasting.pdf (дата обращения: 05.04.2023).

Таблица 3 – Характеристики колесных движителей трактора John Deer 8420 / Table 3 – Characteristics of John Deere 8420 tractor wheel propellers

Показатель / Indicator	Шина 710/70R42 / Tire 710/70R42	Шина 600/70R30 / Tire 600/70R30
Свободный диаметр шины, мм / Free tire diameter, mm	1992	1596
Ширина профиля шины, мм / Tire profile width, mm	744	610
Высота профиля шины, мм / Tire profile height, mm	495	416
Статический радиус, мм / Static radius, mm	900	711
Нормальный прогиб, мм / Normal deflection, mm	96	87
Диаметр обода шины, мм / Tire rim diameter, mm	1070	762
Давление воздуха в шине, кПа / Inflation Pressure, kPa	150	180

Таблица 4 – Расчетные и измеренные показатели трактора John Deer 8420 / Table 4 – Calculated and measured parameters of the John Deere 8420 tractor

Показатель / Indicator	Измерение / Measurement	Расчет / Calculation
Расстояние от центра тяжести трактора до задней оси, мм / Distance from the tractor's center of gravity to the rear axle, mm	-	1310
Реакция опорной поверхности, кг / Reaction of the support surface, kg		
под передней осью / under the front axle	5830	5890
под задней осью / under the rear axle	6510	6450
Контурная площадь пятна контакта шин, м ² / Contour area of the tire contact patch, m ²		
710/70R42 / 710/70R42	0,350	0,358
600/70R30 / 600/70R30	0,232	0,239
Максимальное давление на почву шины, кПа / Maximum ground pressure of the tire, kPa		
710/70R42 / 710/70R42	124,4	120,4
600/70R30 / 600/70R30	167,9	164,7

Анализируя полученные данные, можно резюмировать, что предложенный алгоритм определения одной из важнейших функциональных характеристик тракторной техники – уровня воздействия её движителей на почву – вполне пригоден для практического использования. При этом с применением алгоритма возможен учет любого изменения размерно-массовых параметров трактора, происходящего при навешивании на него дополнительных балластных грузов, а также при его агрегатировании с навесными адаптерами. Кроме того, разработанная авторами математическая модель для определения контурной площади контакта современных высокоэластичных тракторных шин предусматривает все возможные варианты изменения внешних (вертикальной нагрузки на колесо) и внутренних (давления воздуха в шине) факторов. То есть модель учитывает то противоречивое обстоятельство, что при увеличении внутришинного давления происходит уменьшение площади пятна контакта протек-

тора с опорным основанием, а рост вертикальной нагрузки на колесо, наоборот, приводит к нелинейному увеличению размеров контактирующей поверхности.

Несущественные различия в оценке максимального давления на почву исследуемых образцов колесных движителей, полученные в результате измерений и расчетов (разница по передним колесам составляет 3,3 %, по задним – 1,9 %), свидетельствуют о высокой степени достоверности разработанной методики расчета, а также о возможности её применения в инженерной практике для оценки функциональных показателей тракторной техники, оснащенной как одинарными, так и сдвоенными шинами любых размеров, включая крупногабаритные и низкопрофильные. Для проведения расчетов достаточно знать вес трактора, вес балластных грузов, типоразмер установленных на нем шин, их статический радиус и величину внутришинного давления. Методика позволит существенно улучшить качество

прогнозной оценки уровня воздействия на почву как серийно выпускаемой тракторной техники, так и проектируемой.

Заключение. Предлагаемый алгоритм расчета позволяет с достаточной для решения практических задач точностью оценить уровень максимального давления на почву ходовых систем колесных тракторов с использованием ограниченной исходной информации, содержащейся в технической характеристике и эксплу-

атационной документации завода-изготовителя. Методика дает возможность оценивать воздействие на почву любого вида колесной техники (даже при отсутствии экспериментальных оценок), причем как существующей, так и вновь разрабатываемой. Её использование будет способствовать выбору наиболее эффективных образцов тракторов для почвосберегающих технологий возделывания сельскохозяйственных культур.

Список литературы

1. Sivarajan S., Maharlooei M., Bajwa S. G., Nowatzki J. Impact of soil compaction due to wheel traffic on corn and soybean growth, development and yield. Soil and Tillage Research. 2018;175:234-243. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.09.001>
2. Damme L., Stettler M., Pine F., Vervaeke P., Keller T., Munkholm L., Lamandé M. The contribution of tyre evolution to the reduction of soil compaction risks. Soil and Tillage Research. 2019;194:104283. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.05.029>
3. Keller T., Sandin M., Colomba 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. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104293>
4. Скорляков В. И., Ревенко В. Ю. Совершенствование метода расчета давления движителей зерноуборочных комбайнов на почву. Тракторы и сельхозмашины. 2022;89(6):403-410. DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-108481> EDN: KGFAFK
5. Ревенко В. Ю., Скорляков В. И., Иванов А. Б. Площадь контакта шины с опорой как функция вертикальной нагрузки и внутришинного давления. Наука в центральной России. 2022;(4(58)):74-83. DOI: <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-4-74-83> EDN: DFALBX
6. Артемов А. В., Гончаренко С. В., Прядкин В. И. Определение пятна контакта шин сверхнизкого давления 1020x420-18 Бел-79 для лесной техники малого класса. Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2020;81(48):250-256. DOI: <https://doi.org/10.34220/2308-8877-2020-8-1-250-256> EDN: IHXWNE
7. Годжаев З. А., Гончаренко С. В., Артемов А. В. Расчетно-экспериментальная оценка воздействия на почву шин сверхнизкого давления мобильных энергосредств. Тракторы и сельхозмашины. 2020;(3):35-47. DOI: <https://doi.org/10.31992/0321-4443-2020-3-35-47> EDN: CRBLBG
8. Липкань А. В., Панасюк А. Н., Кашбулгаев Р. А. Обоснование выбора способа определения параметров пятна контакта пневмоколесного движителя с опорным основанием. Бюллетень науки и практики. 2019;5(6):212-228. DOI: <https://doi.org/10.33619/2414-2948/43/27> EDN: RWSULA
9. Липкань А. В., Панасюк А. Н., Годжаев З. А., Лавров А. В. Оценка способов экспериментально-аналитического определения контурной площади пятна контакта пневмашины с опорным основанием. Тракторы и сельхозмашины. 2021;88(1):40-50. DOI: <https://doi.org/10.31992/0321-4443-2021-1-40-50> EDN: MKPHZH
10. Farhadi P., Golmohammadi A., Sharifi A., Shahgholi G. Prediction of the tractor tire contact area, contact volume and rolling resistance using regression model and artificial neural network. Agricultural Engineering International: CIGR Journal. 2019;21(3):26-38. URL: <https://cigrjournal.org/index.php/Ejournal/article/view/5438>
11. Schjøning P., Stettler M., Keller T., Lassen P., Lamandé M. Predicted tyre-soil interface area and vertical stress distribution based on loading characteristics. Soil and Tillage Res. 2015;152:52-66. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2015.03.002>
12. Ревенко В. Ю., Фролов С. С., Ткаченко А. Н., Иванов А. Б. Уточненная методика определения площади опорной поверхности шин современной сельскохозяйственной техники. Техника и оборудование для села. 2021;(7(289)):10-15. DOI: <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2021-7-10-15> EDN: KTXFUP
13. Polcar A., Renčín L., Votava J. Drawbar Pull and Its Effect on the Weight Distribution of a Tractor. Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis. 2017;65(1):145-150. DOI: <https://doi.org/10.1118/actaun201765010145>

References

1. Sivarajan S., Maharlooei M., Bajwa S. G., Nowatzki J. Impact of soil compaction due to wheel traffic on corn and soybean growth, development and yield. Soil and Tillage Research. 2018;175:234-243. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.09.001>
2. Damme L., Stettler M., Pine F., Vervaeke P., Keller T., Munkholm L., Lamandé M. The contribution of tyre evolution to the reduction of soil compaction risks. Soil and Tillage Research. 2019;194:104283. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.05.029>
3. Keller T., Sandin M., Colomba 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. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104293>

4. Skorlyakov V. I., Revenko V. Yu. Improvement of the method of calculation of pressure of combine harvester propulsion on soil. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2022;89(6):403-410. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-108481>
5. Revenko V. Yu., Skorlyakov V. I., Ivanov A. B. Tire and support area as a function of vertical load and tire pressure. *Nauka v tsentral'noy Rossii* = Science in Central Russia. 2022;(4(58)):74-83. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-4-74-83>
6. Artemov A. V., Goncharenko S. V., Pryadkin V. I. Determining the contact spot of ultra-low pressure tires 1020x420-18 bel-79 for small-class forestry equipment. *Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika* = Current directions of scientific research of the XXI century: theory and practice. 2020;81(48):250-256. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.34220/2308-8877-2020-8-1-250-256>
7. Godzhaev Z. A., Goncharenko S. V., Artemov A. V. Computational and experimental assessment of the influence of ultra-low pressure tires of mobile power equipment on soil. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2020;(3):35-47. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31992/0321-4443-2020-3-35-47>
8. Lipkan A. V., Panasyuk A. N., Kashbulgayanov R. A. Rationale for selecting a method for determining parameters of the contact spot of pneumatic wheel mover with support base. *Byulleten' nauki i praktiki* = Bulletin of Science and Practice. 2019;5(6):212-228. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.33619/2414-2948/43/27>
9. Lipkan A. V., Panasyuk A. N., Godzhaev Z. A., Lavrov A. V. Evaluation of methods for experimental and analytical determination of the contour area of the contact patch of a pneumatic tire with a support base. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2021;88(1):40-50. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31992/0321-4443-2021-1-40-50>
10. Farhadi P., Golmohammadi A., Sharifi A., Shahgholi G. Prediction of the tractor tire contact area, contact volume and rolling resistance using regression model and artificial neural network. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*. 2019;21(3):26-38. URL: <https://cigrjournal.org/index.php/Ejournal/article/view/5438>
11. Schjøning P., Stettler M., Keller T., Lassen P., Lamandé M. Predicted tyre-soil interface area and vertical stress distribution based on loading characteristics. *Soil and Tillage Res.* 2015;152:52-66. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2015.03.002>
12. Revenko V. Yu., Frolov S. S., Tkachenko A. N., Ivanov A. B. Refined method for determining the current agricultural machinery tire wearing surface area. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela* = Machinery and Equipment for Rural Area. 2021;(7(289)):10-15. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2021-7-10-15>
13. Polcar A., Renčín L., Votava J. Drawbar Pull and Its Effect on the Weight Distribution of a Tractor. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. 2017;65(1):145-150. DOI: <https://doi.org/10.1118/actaun201765010145>

Сведения об авторах

✉ **Ревенко Валерий Юрьевич**, кандидат техн. наук, ученый секретарь Новокубанского филиала ФГБНУ «Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса» (КубНИИТиМ), ул. Красная 15, г. Новокубанск, Новокубанский район, Российская Федерация, 352243, e-mail: director@kubniitim.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0336-5323>, e-mail: skskniish@rambler.ru

Назаров Андрей Николаевич, научный сотрудник Новокубанского филиала ФГБНУ «Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса» (КубНИИТиМ), ул. Красная 15, г. Новокубанск, Новокубанский район, Российская Федерация, 352243, e-mail: director@kubniitim.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0238-3717>

Скорляков Виктор Иосифович, кандидат техн. наук, ведущий научный сотрудник Новокубанского филиала ФГБНУ «Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса» (КубНИИТиМ), ул. Красная 15, г. Новокубанск, Новокубанский район, Российская Федерация, 352243, e-mail: director@kubniitim.ru

Information about the authors

✉ **Valery Yu. Revenko**, PhD in Engineering, Scientific secretary of the Novokubansk branch of the Russian Research Institute of Information and Feasibility Study on Engineering Support of Agribusiness, Krasnaya str. 15, Novokubansk, Novokubansky district, 352243, e-mail: director@kubniitim.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0336-5323>, e-mail: skskniish@rambler.ru

Andrej N. Nazarov, Researcher, the Novokubansk branch of the Russian Research Institute of Information and Feasibility Study on Engineering Support of Agribusiness, Krasnaya str. 15, Novokubansk, Novokubansky district, 352243, e-mail: director@kubniitim.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0238-3717>

Victor I. Skorlyakov, PhD in Engineering, leading researcher, the Novokubansk branch of the Russian Research Institute of Information and Feasibility Study on Engineering Support of Agribusiness, Krasnaya str. 15, Novokubansk, Novokubansky district, 352243, e-mail: director@kubniitim.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author