Давление переднего колеса на почву тракторов с различной колесной формулой

Адилбек Агабекович Ахметов¹,
доктор технических наук, профессор,
e-mail: tractor-v@mail.ru;

Шерзодбек Анвархон Угли Ахмедов²,
и.о. генерального директора

¹Ташентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства. г. Ташкент, Республика Узбекистан;

²Конструкторско-технологический центр сельхозмашиностроения, г. Ташкент, Республика Узбекистан

Работа выполнена при поддержке грантов Министерства инновационного развития Республики Узбекистан БФ-1-023 и МВ-Атех-2018-91.

Реферат. По мере увеличения мощности высококлиренсного трактора с колесной формулой 3К2 (ТТЗ-811) и повышения массы агрегируемых с ним машин возросло давление его ходовых элементов на почву. Предложили заменить его на трактор с колесной формулой 4К2 с регулируемым клиренсом (ТТЗ-1033), имеющий ряд преимуществ. (Цель исследования) Изучить влияние колесной формулы, скорости движения и давления воздуха в шине на давление переднего колеса трактора на почву. (Материалы и методы) Аналитически установили зависимость площади пятна контакта шины колеса с почвой от параметров его шины и от внутреннего давления воздуха в ней. Для замеров использовали силоизмерительные датчики типа ТАС607 со специально изготовленными насадками. (Результаты и обсуждение) Установили, что при схожих условиях среднее давление в слое 10-50 сантиметров по ширине шины переднего колеса на почву у ТТЗ-811 на 19,0-27,6 килопаскаля больше по сравнению с ТТЗ-1033. Выявили, что с увеличением давления воздуха в шине с 1,2 до 2,2 мегапаскаля среднее давление переднего колеса на почву в посевном слое (0-10 сантиметров) у трактора ТТЗ-1033 возрастает с 61,9 до 70,8 килопаскаля, а у трактора ТТЗ-811 – с 63,5 до 79,3 килопаскаля. Установили, что на глубине 10 сантиметров давление переднего колеса трактора ТТЗ-1033 составило в среднем 84,9-108,2 килопаскаля, а на глубине 50 сантиметров – всего 12,2-12,8. В этих же условиях среднее давление переднего колеса трактора ТТЗ-811 снижается с 78,0-113,3 до 15,3-52,8 килопаскаля. (Выводы) Определили, что уплотнение почвы передними колесами трактора можно снизить путем замены трактора с колесной формулой 3К2 на трактор с колесной формулой 4К2, а также вследствие увеличения скорости движения трактора.

Ключевые слова: уплотнение почвы, колесная формула трактора, шины с низким давлением, тензодатчик, давление на почву, пятно контакта.

■ **Для цитирования:** Ахметов А.А., Ахмедов Ш.А.У. Давление переднего колеса на почву тракторов с различной колесной формулой // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2019. Т. 13. №1. С. 27-33. DOI 10.22314/2073-7599-2018-13-1-27-33.

Study of Front Wheel Pressure on the Soil of Tractors with a Different Wheel Configuration

Adilbek A. Akhmetov¹,
Dr.Sc.(Eng.), professor,
e-mail: tractor-v@mail.ru;

Sherzodbek A. Akhmedov²,
acting general director

¹Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers, Tashkent, Republic of Uzbekistan;

²Design and Technology Center for Agricultural Engineering, Tashkent, Republic of Uzbekistan

Acknowledgements: Ministry of Innovation Development of the Republic of Uzbekistan, grants BF-1-023 and MB-Atech-2018-91.

Abstract. An increase in the power of the high-clearance tractor with the 3K2 wheel configuration (TTZ-811) and the weight of the machines coupled with it has led to an increase in the pressure of its running elements on the soil. The authors have proposed to replace it with a tractor with the 4K2 wheel configuration with an adjustable ground clearance (TTZ-1033), which has several advantages. (*Research purpose*) The study of the effect of the wheel configuration, travel speed and air pressure in the tire on the tractor's front wheel pressure on the soil. (*Materials and methods*) The authors have analytically determined the relationship between the contact area of a wheel tire with the soil on the tire parameters and the internal air pressure in it. To take measurements, load TAS607 sensors like with specially made nozzles have been used. (*Results and discussion*) It has been found that under similar conditions, the average pressure on the soil in the layer of 10-50 centimeters across the width of the front wheel tire of TTZ-811 is 19.0-27.6 kilopascals more as compared to TTZ-1033. It has been found that an increase in air pressure in the tire from 1.2 to 2.2 megapascals results in an increase in average front wheel pressure on the soil in the seed layer (0-10 centimeters) of the TTZ-1033 tractor from 61.9 to 70.8 kilopascals, and of the TTZ-811 tractor – from 63.5 to 79.3 kilopascals. It has been revealed that at a depth of 10 centimeters, the pressure of the front wheel of the TTZ-1033 tractor averaged 84.9-108.2 kilopascals, and at a depth of 50 centimeters – only 12.2-12.8 kilopascals. Under the same conditions, the average pressure of the TTZ-811 tractor's front wheel decreases from 78.0-113.3 to 15.3-52.8 kilopascals. (*Conclusions*) The authors have stated that soil compaction with the front wheels of a tractor can be reduced by replacing a tractor with a 3K2 wheel configuration with a tractor with a 4K2 wheel configuration, as well as by increasing the tractor speed.

Keywords: soil compaction, tractor wheel configuration, low pressure tires, strain gauge, soil pressure, contact patch.

For citation: Akhmetov A.A., Akhmedov Sh.A.U. Davlenie perednego kolesa na pochvu traktorov s razlichnoy kolesnoy formuloy [Study of front wheel pressure on the soil of tractors with a different wheel configuration]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2019. Vol. 13. N1. 27-33. DOI 10.22314/2073-7599-2018-13-1-27-33 (In Russian).

По мере увеличения мощности трактора, производительности и массы агрегируемых с ним машин и орудий все в большей степени стали очевидны негативные стороны их воздействия на почву. В результате возросли противоречия между агротехнической необходимостью и отрицательным техногенным воздействием на почву, прежде всего это проявляется в уплотнении почвы ходовыми элементами трактора на большую глубину. По мере увеличения массы машинно-тракторных агрегатов и числа проходов их по полю происходит интенсивное разрушение строения почвы, увеличение ее плотности по следам колес трактора. В действительности оптимальная плотность почвы для возделывания зерновых и пропашных культур не должна превышать 1,2-1,3 г/см³ [1].

Уплотнение почвы приводит к замедлению развития корневой системы растений, что ограничивает использование питательных элементов и получение высокого урожая. Эта проблема усугубляется еще больше в хлопководческих хозяйствах, где основным энергетическим средством служат тракторы с колесной формулой 3К2 [2]. Как показали исследования, эти тракторы характеризуются негативными техногенными воздействиями на почву в связи с повышенным коэффициентом покрытия следами от колес (три следа вместо двух) и высоким уплотняющим воздействием от вертикальных нагрузок, распределяемых на три колеса вместо четырех [3-5]. Особую опасность представляет кумулятивный эффект переуплотнения почвы от повторяющихся воздействий движителей. Степень

уплотнения зависит от массы трактора, типа движителя, типа почвы и технологий [6-13]

Для устранения недостатков тракторов с колесной формулой 3К2 в СКБ «Трактор» проводятся НИОКР по разработке трактора с колесной формулой 4К2 и регулируемым клиренсом [2].

Цель исследования – изучить влияние колесной формулы, скорости движения и давления воздуха в шине на давление переднего колеса трактора на почву.

Материалы и методы. Исследования проводили на сероземах давнего орошения. Влажность и твердость почвы по слоям от 0-10 до 40-50 см составили, соответственно, 10,65-18,3% и 1,27-2,55 МПа.

Давление колесного движителя на почву определяли по ГОСТ 26953-86 и ГОСТ 7463-2003. Для замеров использовали силоизмерительные датчики типа TAS 607 со специальными насадками, которые воспринимают через почву давление от движителей и передают его на силоизмерительный стержень датчика. Выходной сигнал датчика по кабелю поступает на тензоусилитель и далее – на регистрирующую аппаратуру (рис. 1).

В ходе исследования изучали максимальное давление на почву переднего колеса по оси его симметрии и среднее давление на почву по ширине шины колеса.

Максимальное и среднее давление, создаваемое колесами движителей испытываемых тракторов на почву, измеряли на глубине 10; 20; 30; 40 и 50 см (рис. 2).

При измерении максимального давления колес

Рис. 1. Тензодатчики, усилитель и регистрирующая аппаратура

Fig. 1. Strain gauges, amplifier and recording equipment

трактора на почву на дно траншеи по ее продольной оси устанавливали на различной глубине (0,1; 0,2; 0,3; 0,4 и 0,5 м) пять датчиков на расстоянии не менее 0,5 м друг от друга.

При измерении среднего давления колес трактора на почву каждый раз на дно траншеи на одинаковой глубине (например, первый раз на глубине 0,1 м, второй раз – 0,2 м, третьей раз – 0,3 м и т.д.) по ширине шины колес устанавливали пять датчиков на расстоянии не менее 0,05 м друг от друга (рис. 3).

Рис. 2. Схема установки тензодатчиков для измерения максимального давления движителя испытываемых тракторов на почву на различной глубине

Fig. 2. Scheme of installing strain gauges for measuring the maximum pressure exerted on the soil by the moving elements of tested tractors at various depths

Траншею с датчиками засыпали почвой и слегка прикатывали до получения однородного слоя.

Давление на почву при проходе одного переднего и одного заднего колеса трактора по участку с установленными датчиками измеряли так, чтобы продольные линии колес совпадали с размеченной осевой линией.

Замеры проводили при движении трактора в режиме холостого хода, то есть без нагрузки на крюке. При этом из-за конструктивных отличий срав-

Рис. 3. Схема установки тензодатчиков для измерения среднего давления движителя испытываемых тракторов по ширине шины колес на почву на различной глубине

Fig. 3. Scheme of installing strain gauges for measuring the average pressure on the soil exerted by the moving elements of test tractors across the wheel tire width at various depths

ниваемых тракторов диапазон их рабочих скоростей несколько отличался, поскольку они имеют коробки перемены передач с различными скоростными рядами, следовательно, с различными минимальными и максимальными значениями рабочих скоростей, используемых при выполнении агротехнологических операций. Причем по техническим характеристикам диапазон рабочих скоростей у трактора ТТЗ-1033 более широк – 1,24-11,88 км/ч, тогда как у ТТЗ-811 этот предел несколько меньше – 1,9-11,7 км/ч.

В связи с вышеизложенным при проведении экспериментов установлены следующие рабочие скорости движения сравниваемых тракторов:

- ТТЗ-1033: 1,24; 1,66; 7,29 и 11,88 км/ч;
- ТТЗ-811: 1,9; 2,5; 7,4 и 11,7 км/ч.

Тарировку тензодатчиков и апробирование работы аппаратуры проводили в тензометрической лаборатории Научно-исследовательского института механизации и электрификации сельского хозяйства (Узбекистан).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. В ходе исследования по видам тракторов изменяли скорость движения и давление в шине колес.

Давление колес на почву зависит от величины нагрузки на колесо и площади пятна контакта, на которую, в свою очередь, влияют параметры шины и внутреннее давление в ней.

Площадь $S_{пл}$ плоской зоны контакта колеса с почвой имеет форму эллипса с полуосями a и $b_{пл}/2$ и равна $S_{пл} = \pi a b_{пл}/2$ (рис. 4).

Из расчетной схемы определяем величины полуосей эллипса – a и $b_{пл}$. Для существующих шин справедливо неравенство $2R_{пр}h_{ш} \gg h_{ш}^2$, а тем более $2Rh_{ш} \gg h_{ш}^2$, поэтому для упрощения вывода расчетных зависимостей величиной $h_{ш}^2$ можно пренебречь.

В этом случае величины полуосей эллипса равны:

$$a = \sqrt{2Rh_{ш}}, \quad (1)$$

Рис. 4. Расчетная схема к определению площади пятна контакта

Fig. 4. Design scheme for determining the contact patch area of the wheel with the soil

$$b_{пл} = 2 \sqrt{2R_{пр} h_w}, \quad (2)$$

где R – свободный радиус колеса, м;
 $R_{пр}$ – радиус протектора шины, м;
 h_w – нормальная деформация шины в пятне контакта, м.

Определим площадь пятна контакта $S_{пл}$:

$$S_{пл} = 2 \pi h_w \sqrt{RR_{пр}}. \quad (3)$$

В пределах реальных нагрузок G_n , действующих со стороны трактора на направляющее колесо, можно принять линейную зависимость между G_n и h_w , которая описывается формулой Хейдекеля:

$$h_w = \frac{G_n}{2 \pi \rho_w \sqrt{RR_{пр}}}, \quad (4)$$

где ρ_w – избыточное давление воздуха в шине, МПа.

Глубину колеи направляющего колеса можно определить на основе функциональной зависимости, предложенной В.В. Кацыгиным, преобразовав ее после отражения напряжения в почве через G_n и $S_{пл}$:

$$h_k = \frac{\sigma_o \operatorname{Argth} \frac{G_n}{S_{пл} \sigma_o}}{k_o}, \quad (5)$$

где σ_o – предел прочности почвы на одноосное сжатие, МПа;

k_o – коэффициент объемного смятия, Н/м³.

Из выражений (3) и (4) видно, что площадь пятна контакта, воспринимающая нагрузку на колесо, зависит в основном от параметров шины и внутреннего давления воздуха в ней. Поэтому экспериментальные исследования для конкретного типоразмера шины были проведены при различных давлениях воздуха в шине: 1,2; 1,7 и 2, 2 МПа.

В результате получен обширный материал, ха-

рактеризующий давление движителей на почву в зависимости от вышеуказанных факторов и скорости движения тракторов. Результаты измерения давления движителей на почву на различной глубине в зависимости от скорости движения (соответствующие нижним и верхним пределам скорости движения в ходе выполнения технологических операций по возделыванию хлопчатника) при давлении в шине 1,7 МПа (рекомендованной ТЗ для тракторов марки ТТЗ) представлены в таблице 1.

Наибольшее давление колес движителей приходится на верхние слои почвы. Оно зависит от типа движителя, давления воздуха в шине и от скорости движения.

В поверхностном слое до 10 см при проходе трактора ТТЗ-1033 график максимальных значений давления на почву имеет один локальный экстремум – в зоне оси симметрии колеса, и при давлении в шине 1,7 МПа в зависимости от скорости движения трактора составляет 178,6-351,7 кПа. В этих же условиях для ТТЗ-811 характерна величина 256,0-623,2 кПа. Практически этот локальный экстремум соответствует максимальному значению давления на почву переднего колеса по его оси симметрии.

Увеличение скорости движения трактора ТТЗ-811 с 1,9 до 11,7 км/ч снижает максимальное давление переднего колеса на почву на глубине 10 см на 58,9%. Изменение скорости движения трактора ТТЗ-1033 с 1,66 до 11,88 км/ч уменьшает этот показатель на 49,22%.

С увеличением скорости движения, несмотря на снижение максимального давления переднего колеса трактора ТТЗ-811 на почву, оно остается более высоким по сравнению с трактором ТТЗ-1033 (рис. 5).

В обоих вариантах испытываемых тракторов как среднее, так и максимальное давление в слоях почвы 10-50 см соответствовало минимальной скорости движения и максимальному давлению в шине 2,2 МПа и составило: для трактора ТТЗ-811 – 30,1-197,6 кПа и 55,1-497,3 кПа; для трактора ТТЗ-1033 – 20,9-164,0 кПа и 42,11-428,9 кПа соответственно (табл. 2).

При схожих условиях низкой скорости движения (1,66 км/ч у ТТЗ-1033 и 1,9 км/ч у ТТЗ-811) среднее давление в слое 10-50 см по ширине шины переднего колеса на почву у трактора ТТЗ-811 (47,1-187,5 кПа) больше на 17,26-67,61% по сравнению с трактором ТТЗ-1033 (28,1-159,9 кПа).

При давлении воздуха в шине 1,7 МПа и повышенной скорости движения (11,88 км/ч у ТТЗ-1033 и 11,70 км/ч у ТТЗ-811) усредненное давление переднего колеса на почву в слое 10-50 см у ТТЗ-811 (28,0-77,5 кПа) больше по сравнению с ТТЗ-1033 (4,2-51,6 кПа).

В корнеобитаемом слое (10-20 см) почвы, наибо-

Таблица 1

Table 1

**ДАВЛЕНИЕ ПЕРЕДНЕГО КОЛЕСА ТРАКТОРОВ ТТЗ-811 / ТТЗ-1033 НА ПОЧВУ ПРИ ДАВЛЕНИИ В ШИНЕ 1,7 МПа
И НА РАЗЛИЧНЫХ СКОРОСТЯХ ДВИЖЕНИЯ, кПа**
**THE PRESSURE OF THE ТТЗ-811 / ТТЗ-1033 TRACTORS' FRONT WHEEL ON THE SOIL AT A TIRE PRESSURE OF 1.7 MPa
AND AT VARIOUS SPEEDS, kPa**

Глубина слоя почвы, см Soil layer depth, cm	Скорость движения, км/ч / Travel speed, km/h			
	1,90 / 1,66		11,70 / 11,88	
	среднее по ширине шины колеса Average across the wheel width	максимальное по оси симметрии колеса Maximum along the wheel symmetry axis	среднее по ширине шины колеса Average across the wheel width	максимальное по оси симметрии колеса Maximum along the wheel symmetry axis
10	187,5 / 159,9	623,2 / 351,7	77,5 / 51,6	256,0 / 178,6
20	134,6 / 126,3	284,3 / 350,9	52,0 / 38,0	90,9 / 99,3
30	134,2 / 112,2	278,7 / 206,2	47,4 / 27,1	65,5 / 49,8
40	129,7 / 49,0	163,0 / 98,8	28,0 / 9,0	65,4 / 26,9
50	47,1 / 28,1	145,4 / 72,8	22,5 / 4,2	46,6 / 8,1
Среднее / Average	126,6 / 95,1	298,9 / 216,1	45,5 / 26,0	104,9 / 72,5

Рис. 5. Влияние скорости движения трактора на давление по ширине шины колес на почву:

a – ТТЗ-811 (1 – 1,9; 2 – 2,5; 3 – 7,4 и 4 – 11,7 км/ч); b – ТТЗ-1033 (1 – 1,24; 2 – 1,66; 3 – 7,29 и 4 – 11,88 км/ч)

Fig. 5. The tractor speed influence on the tire pressure on the soil: a – ТТЗ-811 (1 – 1.9; 2 – 2.5; 3 – 7.4 and 4 – 11.7 km/h); b – ТТЗ-1033 (1 – 1.24; 2 – 1.66; 3 – 7.29 and 4 – 11.88 km/h)

лее важным для роста и развития растений, с уменьшением скорости движения среднее давление на почву переднего колеса (при давлении в шине 1,7 МПа) возрастает у трактора ТТЗ-1033 с 38,0 до 126,3 кПа, а у трактора ТТЗ-811 – с 77,5 до 187,5 кПа. Чем больше давление воздуха в шине, тем сильнее колесо давит на почву.

Например, при скорости движения трактора 7,29 км/ч увеличение давления воздуха в шине от 1,2 до 2,2 МПа повышает среднее давление переднего колеса трактора ТТЗ-1033 на почву с 61,9 до 70,8 кПа. В этих же условиях среднее давление переднего колеса трактора ТТЗ-811 на почву возрастает в сред-

нем с 63,5 до 79,3 кПа. С увеличением глубины залегания почвы уплотняющее воздействие колес на нее снижается. Если при скорости движения 7,29 км/ч среднее давление переднего колеса трактора ТТЗ-1033 на почву на глубине 10 см было в пределах 84,9-108,2 кПа, то в этих же условиях на глубине 50 см оно составило всего 12,2-12,8 кПа, то есть снизилось в 6,9-8,4 раза. В этих же условиях среднее давление переднего колеса трактора ТТЗ-811 уменьшилось с 78,0-113,3 до 15,3-52,8 кПа, то есть в 1,4-7,4 раза. Несмотря на снижение давления воздуха в шине с 2,2 до 1,2 МПа, среднее давление на почву переднего колеса у трактора ТТЗ-811 выше

Таблица 2

Table 2

ДАВЛЕНИЕ ПЕРЕДНИХ КОЛЕС ТРАКТОРОВ НА ПОЧВУ ПРИ ДАВЛЕНИИ В ШИНЕ 2,2 МПа И ПРИ МИНИМАЛЬНОЙ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ, кПа
THE PRESSURE OF THE TRACTOR'S FRONT WHEELS ON THE SOIL WITH A TIRE PRESSURE OF 2.2 MPa AND WITH A MINIMUM SPEED, кПа

Глубина слоя почвы, см Soil layer depth, cm	Давление переднего колеса на почву The front wheel pressure on the soil			
	ТТЗ-811, скорость движения 1,9 км/ч tractor TTZ-811 with the 3×2 wheel configuration at the speed of 1.9 km/h		ТТЗ-1033, скорость движения 1,24 км/ч tractor TTZ-1033 with the 4×2 wheel configuration at the speed of 1.24 km/h	
	среднее по ширине шины колеса Average across the wheel width	максимальное по оси симметрии колеса Maximum along the wheel symmetry axis	среднее по ширине шины колеса Average across the wheel width	максимальное по оси симметрии колеса Maximum along the wheel symmetry axis
10	197,6	497,3	184,1	428,9
20	181,3	420,6	164,0	254,8
30	158,8	311,9	139,8	197,3
40	93,8	171,7	93,2	189,5
50	30,1	55,1	20,9	42,11
Среднее / Average	132,3	291,3	120,4	222,5

Рис. 6. Влияние скорости движения и давление в шине (1 – 2,2 МПа; 2 – 1,7 МПа и 3 – 1,2 МПа) на максимальное давление колес на почву:

a – трактор ТТЗ-811; b – трактор ТТЗ-1033

Fig. 6. Influence of the travel speed and tire pressure (1 – 2.2, 2 – 1.7 and 3 – 1.2 MPa) on the maximum wheel pressure on the soil

a – TTZ-811 tractor; b – TTZ-1033 tractor

в 1,3-1,6 раза по сравнению с трактором ТТЗ-1033 (рис. 6). Аналогичные закономерности прослеживаются для максимального давления на почву переднего колеса. Увеличение скорости движения трактора ТТЗ-811 с 1,9 до 11,7 км/ч снижает этот

Для минимизации отрицательного воздействия ходовой системы трактора на почву необходимо выполнять агротехнологические операции при скоростях движения трактора, соответствующих верхнему пределу исходных требований.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Файнлейб А.М., Кутин Л.Н., Уткин-Любовцев О.Л. Ходовые системы тракторов. М.: Агропромиздат. 1986. 272 с.
2. Ахметов А.А. Универсально-пропашные тракторы для междурядной обработки посевов хлопчатника. Ташкент: Фан. 2017. 210 с.
3. Славкин В.И., Махмутов М.М., Горюнов С.В., Апа-

показатель на 41,8%, а у трактора ТТЗ-1033 при росте скорости движения от 1,24 до 11,88 км/ч – на 34,5%.

Выводы. С увеличением глубины слоя почвы и скорости движения трактора уплотняющее воздействие колес на почву снижается. Наибольшее давление движитель трактора оказывает в посевном (0-10 см) и корнеобитаемом (10-20 см) слоях почвы.

Снижение уплотняющего воздействия передних колес на почву возможно в результате замены трактора с колесной формулой 3К2 на трактор с колесной формулой 4К2, а также увеличения скорости движения трактора.

тенко А.С. Снижение уплотняющего воздействия агрегатов на почву // *Труды ГОСНИТИ*. 2017. Т. 126. С. 87-92.

4. Ахметов А.А., Ахмедов Ш.А., Каримов А.К. Специфические требования к хлопководческим тракторам – основа совершенствования их конструкции // *Международная агроинженерия*. 2016. Вып. 4(20). С. 29-34.

5. Гуськов В.В., Дзема А.А., Колола А.С., Макаренко Р.Ю., Зезетко Н.И. Исследование процесса взаимодействия ведущих колес трактора с грунтовой поверхностью // *Наука и техника*. 2017. Т. 16. №1. С. 83-88.

6. Золотаревская Д.И. Метод расчета показателей напряженно-деформированного состояния и уплотнения почвы при работе и после остановки колесного трактора // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2016. №7-5. С. 754-763.

7. Гайнуллин И.А., Гайнуллин И.А., Хисаметдинов Р.Р., Ефимов А.В. Эффективность работы посевных комбинированных агрегатов // *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 2010. №3. С. 10-12.

8. Гайнуллин И.А., Зайнуллин А.Р. Влияние конструктивных параметров движителей и нагрузочных режимов тракторов на почву // *Фундаментальные исследования*. 2017. №2. С. 31-36

9. Водяник И.И. Работа колеса при многократных проходах по одному следу // *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 1982. №2. С. 34-36.

10. Карапетян М.А. Воздействия движителей трактора на физические свойства почвы // *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 2008. №7. С. 50-51.

11. Захарченко А.Н., Балабанов В.И., Гаджиев П.И., Рамазанова Г.Г. Уплотнение почвы ходовыми системами тракторов класса 2.0 // *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 2013. №6. С. 33.

12. Махмутов М.М., Кондаурова Н.В. Тягово-сцепные свойства колесных машинно-тракторных агрегатов // *Научное обозрение. Технические науки*. 2016. №3. С. 70-71.

13. Гуськов В.В. Тракторы. Ч. II. Теория. Минск: Вышэйшая школа. 1977. 384 с.

REFERENCES

1. Faynleyb A.M., Kutin L.N., Utkin-Lyubovtsev O.L. Khodovye sistemy traktorov [Running gears of tractors]. Moscow: Agropromizdat. 1986. 272 (In Russian).

2. Akhmetov A.A. Universal'no-propashnye traktory dlya mezhduryadnoy obrabotki posevov khlopchatnika [Universal-row crop tractors for inter-row cultivation of cotton crops]. Tashkent: Fan. 2017. 210.

3. Slavkin V.I., Makhmutov M.M., Goryunov S.V., Apatenko A.S. Snizheniye uplotnyayushchego vozdeystviya agregatov na pochvu [Decreasing the packing impact of machine units on the soil]. *Trudy GOSNITI*. 2017. Vol. 126. 87-92 (In Russian).

4. Akhmetov A.A., Akhmedov Sh.A., Karimov A.K. Spetsificheskiye trebovaniya k khlopkovodcheskim traktoram – osnova sovershenstvovaniya ikh konstruktssii [Specific requirements for cotton tractors as a basis for improving their design]. *Mezhdunarodnaya agroinzheneriya*. 2016. Issue 4 (20). 29-34 (In Russian).

5. Gus'kov V.V., Dzema A.A., Kolola A.S., Makarenko R.Yu., Zezetko N.I. Issledovaniye protsessa vzaimodeystviya vedushchikh koles traktora s gruntovoy poverkhnost'yu [Study of the interaction between the tractor's driving wheels and the soil surface]. *Nauka i tekhnika*. 2017. Vol. 16. №1. 83-88 (In Russian).

6. Zolotarevskaya D.I. Metod rascheta pokazateley napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya i uplotneniya pochvy pri rabote i posle ostanovki kolesnogo traktora [Method of calculating the indicators of the stress-strain state and soil compaction in a wheeled tractor's operation and after its stopping]. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i*

fundamental'nykh issledovaniy. 2016. №7-5. 754-763 (In Russian).

7. Gaynullin I.A., Gaynullin I.A., Khisametdinov R.R., Yefimov A.V. Effektivnost' raboty posevnykh kombinirovannykh agregatov [Efficiency of combined seeding units]. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva*. 2010. №3. 10-12 (In Russian).

8. Gaynullin I.A., Zaynullin A.R. Vliyaniye konstruktivnykh parametrov dvizhiteley i nagruzochnykh rezhimov traktorov na pochvu [Influence of the design parameters of moving elements and loading modes of tractors on the soil]. *Fundamental'nye issledovaniya*. 2017. №2. 31-36 (In Russian).

9. Vodyanik I.I. Rabota kolesa pri mnogokratnykh prokhodakh po odnomu sledu [Wheel operation in repeated passes along the same track]. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva*. 1982. №2. 34-36 (In Russian).

10. Karapetyan M.A. Vozdeystviya dvizhiteley traktora na fizicheskiye svoystva pochvy [Effects of a tractor's moving elements on the physical properties of the soil]. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva*. 2008. №7. 50-51 (In Russian).

11. Zakharchenko A.N., Balabanov V.I., Gadzhiev P.I., Ramazanov G.G. Uplotneniye pochvy khodovymi sistemami traktorov klassa 2.0 [Soil compaction with running gears of class 2.0 tractors]. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2013. №6. 33 (In Russian).

12. Makhmutov M.M., Kondaurova N.V. Tyagovo-stsepnnye svoystva kolesnykh mashinno-traktornykh agregatov [Traction characteristics of wheeled machine-tractor units]. *Nauchnoe obozreniye. Tekhnicheskkiye nauki*. 2016. №3. 70-71 (In Russian).

13. Gus'kov V.V. Traktory. Chast II. Teoriya [Tractors. Part II Theory]. Minsk: Vysheyshaya shkola. 1977. 384 (In Russian).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Статья поступила в редакцию 21.01.2019
The paper was submitted
to the Editorial Office on 21.01.2019

Статья принята к публикации 30.01.2019
The paper was accepted
for publication on 30.01.2019