

ОЦЕНКА АГРОТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДВИЖИТЕЛЕЙ ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ С ШИНАМИ РАЗЛИЧНОГО КОНСТРУКТИВНОГО ИСПОЛНЕНИЯ

КРАВЧЕНКО Владимир Алексеевич, ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет»

МЕЛИКОВ Иззет Мелукович, Дагестанский государственный аграрный университет имени М.М. Джамбулатова

Анализ проведенных экспериментальных исследований показал, что зерноуборочный комбайн при комплектации его экспериментальной шиной 30,5Э-32 имеет меньшее значение давления на почвенное опорное основание (на 11–28 %) по сравнению с другими вариантами и более низкие значения напряжений в пахотном горизонте. В результате испытаний по оценке воздействия движителей зерноуборочных комбайнов на почву установлено, что ГОСТ 26955-86 требует уточнения коэффициентов K_1 и K_2 , которые должны быть определены для различных конструктивных типоразмеров шин и на разных почвенных фонах, а также то, что при оценке влияния на процессы в почве колесных машин необходимо учитывать установившиеся на различной глубине остаточные нормальные напряжения.

Введение. Снижение численности населения в России, занятого при производстве сельскохозяйственной продукции, настоятельно требует существенного повышения показателей функционирования мобильной техники. Однако увеличение производительности мобильной техники приводит к росту ее массы [5]. В этом случае тягово-цепные свойства и агротехнологическая проходимость существенно зависят от совершенства их ходовых систем [4, 5, 9]. На мобильной сельскохозяйственной технике в основном применяются ходовые системы, оснащенные пневматическими шинами, которые способствуют обеспечению колесным машинам высокой, по сравнению с гусеничными, мобильности и производительности. Однако колесные машины больше, чем гусеничные, уплотняют почву [4, 5, 8, 9].

В результате уплотнения почв тракторами и другими сельскохозяйственными машинами снижается урожайность возделываемых культур, значительно повышается удельное сопротивление почв при последующей обработке, ухудшается рельеф поля [8]. Поэтому особое внимание уделяется вопросам усовершенствования ходовых систем тракторов и других мобильных агрегатов, обеспечивающих допустимые нормы воздействия движителей на почву, регламентируемые ГОСТ 26955-86 [1].

Известно, что основными факторами, оказывающими влияние на агротехнологические показатели ходовых систем, а значит и мобильных средств, являются масса машины и внутреннее строение оболочки шин [4, 5, 9].

Цель исследования – определение показателей воздействия на почву колесных ходовых систем современных самоходных зерноуборочных комбайнов высокой производительности, оснащенных шинами различной конструкции.

Методика исследований. Нами принят экспериментальный метод исследования с применением «шинного тестера» [6] и комплекса аппаратуры, который обеспечивал измерение всех необходимых параметров для определения показателей воздействия сельскохозяйственной машины на почву.

При экспериментальных исследованиях по оценке негативного воздействия на почвенное основание был использован зерноуборочный комбайн Agros-530, для сравнительного анализа СК-5М «Нива». Определялись давления движителей на почву и напряжения в пахотном и подпахотном горизонтах почвы. Эксперименты проводились на стерне озимой пшеницы во время уборочных работ. Комбайн Agros-530 укомплектован шинами 30,5L-32 (с высокими и низкими грунтозацепами), 30,5R-32 и 30,5Э-32 [7], а комбайн СК-5М – серийными шинами 23,1L-26.

В соответствии со стандартами в качестве показателей воздействия движителей мобильных машин на почву являются максимальное давление q_{\max} в контакте с опорным основанием и нормальное напряжение $\sigma_{0,5}$ в почве на глубине 0,5 м.

Давление в контакте шин с опорным основанием определяли по ГОСТ 26953-86 и по методу АЧИМСХ-Сев.Кав.МИС.



По ГОСТ 26953-86 [2] среднее давление движителя на опорное основание $q_{\text{срн}}$ можно определить по зависимости

$$q_{\text{срн}} = \frac{Q}{F_{\text{кп}}}, \quad (1)$$

где Q – нагрузка, приходящаяся на единичный движитель; $F_{\text{кп}}$ – приведенная площадь контакта шины с почвенным основанием, которое определяется по формуле

$$F_{\text{кп}} = F_{\kappa} K_1, \quad (2)$$

где F_{κ} – площадь контактного отпечатка шины с опорным основанием, м^2 ; K_1 – коэффициент, который принимается в зависимости от конструктивного диаметра движителя.

При определении максимального нормального напряжения, кПа, под исследуемым колесным движителем использовали выражение [3]:

$$\sigma_{0,5} = 0,637 p_{\text{k,ср}} \left[\arctg \frac{ab}{h \sqrt{a^2 + b^2 + h^2}} + \right. \\ \left. + \frac{hab(a^2 + b^2 + 2h^2)}{(a^2 + h^2)(b^2 + h^2) \sqrt{a^2 + b^2 + h^2}} \right], \quad (3)$$

где:

$$a = F_{\text{кп}} / (2t_{\kappa}), \quad (4)$$

$$b = b_{\kappa} / 2, \quad (5)$$

где b_{κ} – наибольший размер контактного отпечатка шины при соответствующей нагрузке в плоскости, проходящей перпендикулярно направлению перемещения колеса, м.

Результаты исследований. Результаты расчетов воздействия движителей зерноуборочных комбайнов приведены в табл. 1.

Значения максимальных давлений, рассчитанные по наиболее нагруженному колесу, доказали преимущество комбайна Agros-530

с любыми вариантами шин. Требование ГОСТ-26955-86 (максимально допустимое давление на почву при влажности 0,5...0,6 НВ не должно превышать 198 кПа) также удовлетворяет только данный комбайн при комплектации его экспериментальными шинами. По максимальным же напряжениям в почве, вычисленным по эмпирическим зависимостям на глубине 0,5 м, требованиям ГОСТ-26955-86 (допустимое максимальное нормальное напряжение – 45 кПа) отвечает только СК-5М. В комбайне Agros-530 напряжения превышают допустимые на 12–34 %. Меньшие напряжения возникают при комплектовании комбайна экспериментальными шинами.

Методика определения воздействия колесных движителей на почву по [1–3] достаточно проста, но она не учитывает ряд факторов. Так, для подсчета максимального давления колесных движителей на почву, согласно ГОСТ 26953-86, предварительно находят на жестком основании площадь контактного отпечатка шины при статическом обжатии шины и, увеличив ее в зависимости от наружного диаметра на 10 или 15 % (для испытываемых типоразмеров шин), получают площадь контакта, приведенную к почвенным условиям. Среднее давление в контакте вычисляют как частное от деления нагрузки на колесо и указанную площадь контактного отпечатка, а максимальное давление на почву считают в 1,5 раза выше среднего.

Но условия радиальной деформации при статическом обжатии шины и при ее качении, очевидно, нельзя признать одинаковыми. При качении в контакт с опорным основанием первыми входят части протектора, расположенные по экватору шины, а затем элементы по мере их удаления от экваториальной плоскости до плечевых зон. Порядок выхода элементов из контакта с опорным основанием обратный. При этом шина наряду с радиальной деформацией испытывает еще и окружную.

Таблица 1

Показатели воздействия колес зерноуборочных комбайнов на опорное основание по ГОСТ 26953-86 и ГОСТ 26954-86

Шины	Давление воздуха в шине, кПа	Статическая нагрузка на движитель, кН	Площадь контактного отпечатка шин на жестком основании, м^2	Приведенная площадь контактного отпечатка шин, м^2	Среднее давление движителя на почвенное основание, кПа	Максимальное давление колесного движителя на почву, кПа	Максимальное нормальное напряжение в почве, кПа
Agros-530							
30,5L-32ВГ	0,171	68,40	0,4387	0,48257	153,0	208,6	57,54
30,5L-32НГ	0,171	68,20	0,4378	0,48158	152,8	208,4	59,01
30,5R-32	0,176	68,50	0,4030	0,44338	166,8	227,4	60,44
30,5Э-32	0,171	68,50	0,4701	0,51711	143,0	195,0	57,14
18,4L-24	0,147	27,30	0,2140	0,2450	125,2	163,2	25,52
СК-5М «Нива»							
21,3L -24	0,225	38,80	0,1880	0,2162	202,5	264,1	38,05
12 L-16	0,216	10,55	0,0525	0,060375	197,2	257,1	11,07





При обжатии неподвижной шины возникают условия, когда в контакт входят вначале элементы, находящиеся в радиальном сечении шины и плечевых зон протектора. Участки грунтозацепов в средней зоне протектора остаются вне контакта, в результате чего создается несимметричное нагружение оболочки шины и ее перекос. Такое явление особенно присуще тем шинам, у которых оболочка более эластичная и, прежде всего, шинам радиальной конструкции. В итоге шина не развивает потенциально возможного пятна контакта. Не способствует развитию площади контакта и фактор трения элементов протектора при статическом обжатии шины.

Таким образом, коэффициент приведения площади контакта шины к почвенным условиям K_1 определяется не только ее наружным диаметром.

Существенное значение при этом имеют условия качения колеса, конструктивное исполнение оболочки шины, тип, влажность и твердость почвенного фона. Данные факторы влияют и на величину коэффициента неравномерности давлений по длине контакта K_2 , уточнение которого допускается методикой ГОСТ 26953-86.

Особенность методики АЧИМСХ-Сев.-Кав. МИС заключается в том, что давление в контакте шин определялось прямым измерением посредством датчиков, изготовленных на базе серийных малогабаритных ДМП потенциометрического типа.

Они устанавливались на протекторе шины заподлицо с опорной поверхностью между средней линией и краем протектора (рис. 1). Движение комбайна осуществлялось на зачетном участке, длина которого составляла 150–300 м

для обеспечения более пятидесятикратного съема данных.

Максимальные значения давлений и длина контакта по месту нахождения каждого датчика определялись по данным записывающих устройств.

Средние давления, создаваемые движителем, q_{cp} определяли из показаний датчиков:

$$q_{cp} = \frac{\sum q_i L_i S_i}{\sum L_i S_i}, \quad (6)$$

где $q_i = \sum F_i \mu_{qi} / L_i$; F_i и L_i – величина площади и длина кривой давления i -м датчика на осциллографме; μ_{qi} – масштаб давления i -го датчика.

По известному масштабу записи длины контакта каждого датчика с почвой контролировались форма, размеры и, следовательно, фактическая площадь отпечатка.

Длину контакта l_k шины с опорным основанием по плоскости расположения конкретного датчика вычисляли по осциллографме:

$$l_k = \frac{\sum L_i}{n} \mu_l, \quad (7)$$

где L_i – для i -й повторности длина контакта шины с опорным основанием; μ_l – масштаб длины контакта шины с опорным основанием.

Площадь контакта движителя с почвой определялась выражением:

$$F_{kp} = \sum L_j S_j, \quad (8)$$

где S_j – ширина j -го контактного отпечатка шины на почве.



Рис. 1. Схема расположения датчиков давления на протекторе шины

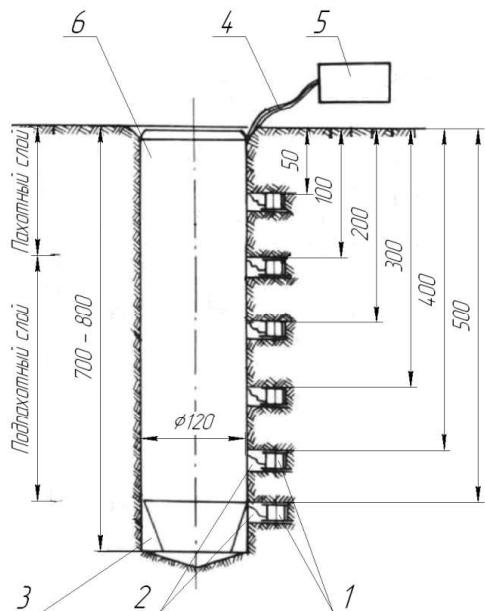


Рис. 2. Схема расположения в скважине датчиков напряжений

Для прямого измерения напряжений, возникающих на различных уровнях в почве, датчики 1 устанавливались с небольшим натягом в ниши 2 скважины 3 на глубине 10; 20; 30; 40; 50 и 60 см (рис. 2). Сигналы от датчиков 1 по проводам 4 поступали к записывающим устройствам регистрирующей аппаратуры 5. В скважину устанавливалась с нулевым зазором заглушка 6 для исключения осыпания грунта в скважину во время прохода движителей комбайна.

Измерение контактных давлений и напряжений в почве осуществлялось под наиболее нагруженной стороной комбайна.

Экспериментальными исследованиями было установлено, что при движении зерноуборочных комбайнов на стерне озимой пшеницы распределение давлений по длине контактного отпечатка имеет форму, близкую к трапеции, а по ширине протектора отмечается неравномерностью (рис. 3).

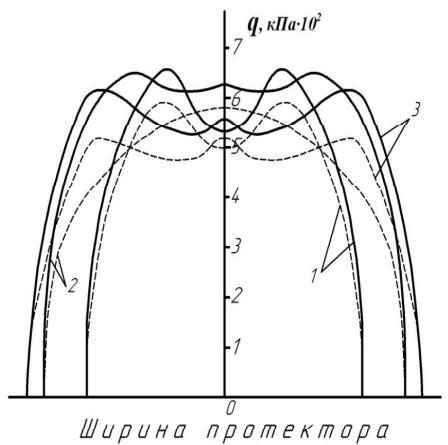


Рис. 3. Распределение контактных давлений по ширине протектора шин:
1 – шина 21,3L-24; 2 – шина 30,5Э-32;
3 – шина 30,5L-32НГ

Наименьшая неравномерность распределения давлений по ширине протектора отмечена у шины 30,5Э-32, максимальная неравномерность по длине и по ширине контактного отпечатка – у диагональных шин 21,3L-24 и 30,5L-32.

По результатам проведенных испытаний были уточнены коэффициенты K_1 и K_2 для испытываемых типоразмеров шин:

$$K_1 = \frac{F_{\text{КП}}}{F_K},$$

$$K_2 = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{q_{\max i} \cdot L_i S_i}{q_{\text{ср} i}}}{\sum_{i=1}^n L_i S_i},$$

где $F_{\text{КП}}$ – фактическая площадь контактного отпечатка шины на почве (определялась по осциллографм контактных давлений); F_K – площадь контактного отпечатка шины на жестком основании; $q_{\max i}$, $q_{\text{ср} i}$ – величина соответственно максимального и среднего давлений на i -м участке; L_i , S_i – соответственно длина и ширина i -го продольного участка.

Величины K_1 , K_2 и показатели воздействия движителей зерноуборочных комбайнов на почву с учетом уточненных коэффициентов приведены в табл. 2. Результаты, приведенные в таблице 2 показывают, что фактически по величине максимальных контактных давлений Agros-530 в комплектации с любым вариантом шин удовлетворяет требованиям ГОСТ 26955-86. Тем не менее, наиболее предпочтительно комплектование его ходовых систем экспериментальными шинами.

Комбайн СК-5М не соответствует требованиям ГОСТ, поскольку его максимальные контактные давления на почву превышают допустимые более чем на 10 %. По максимальным нормальным напряжениям лишь на глубине 0,5 м он удовлетворяет требованиям ГОСТ. Максимальные нормальные напряжения в почве на глубине 0,6 м после прохода комбайна Agros-530 с любой комплектацией шин превышают допустимые на 25–35 %.

Полученные в результате экспериментальных исследований данные показывают, что максимальные нормальные напряжения в почве после прохода зерноуборочного комбайна с увеличением глубины уменьшаются (табл. 3).

Анализ результатов экспериментальных исследований показал, что ни один из вариантов комплектации шинами ходовых систем зерноуборочного комбайна Agros-530 преимущества по значению напряжений в подпахотном горизонте почвы фактически не имеет, так как высокая масса комбайна обуславливает распространение (с одновременным накоплением) напряжения в подпахотных горизонтах почвы.



Показатели воздействия колес зерноуборочных комбайнов на почвенное основание по методике АЧИМСХ-Сев.-Кав МИС

Шины	Статическая нагрузка на движитель, кН	Фактическая площадь контакта, м ²	Коэффициент		Максимальное давление колесного движителя на почву, кПа	Максимальное нормальное напряжение в почве, кПа
			K_1	K_2		
Agros-530						
30,5L-32ВГ	68,4	0,4550	1,040	1,220	177,0	58,95
30,5L-32НГ	68,2	0,4538	1,040	1,170	176,9	60,38
30,5R-32	68,5	0,4683	1,160	1,100	157,8	59,17
30,5Э-32	68,5	0,5300	1,130	1,230	152,2	56,49
СК-5М «Нива»						
21,3L -24	38,8	0,2096	1,115	1,150	217,9	38,29

Таблица 3

Максимальные нормальные напряжения в различных горизонтах почвы после прохода зерноуборочного комбайна

Шины	Максимальные нормальные напряжения в горизонтах, кПа					
	горизонт пахотный, см			горизонт подпахотный, см		
	0	10	20	30	40	50
30,5L-32ВГ	680	520	357	196	113	53
30,5L-32НГ	660	477	305	185	100	52
30,5R-32	484	350	224	135	90	50
30,5Э-32	508	290	200	138	88	50

С точки зрения теории деформации почвы, большой практический интерес представляют остаточные нормальные напряжения (рис. 4). На глубине 0,20 м их средние значения составляют 109,8 кПа, на глубине до 0,35 м – 31,4 кПа, на глубине 0,50 м – 12,6 кПа, ниже горизонта, равного 0,60 м, оно отсутствует вовсе.

Остаточные напряжения, наблюдаемые на различных уровнях почвы после прохода движителей комбайнов, намного меньше установленных ГОСТ 26955-86 максимальных нормальных напряжений (они при влажности почвы 0,6...0,7 НВ должны быть менее 35 кПа). Однако указанный ГОСТ не регламентирует нормы остаточных нормальных напряжений в почве, хотя очевидно,

что остаточные нормальные напряжения позволяют более полно и правильно оценить степень воздействия различных колесных движителей на почву.

Заключение. Анализом проведенных экспериментальных исследований установлено, что при комплектации комбайна экспериментальными шинами оказывается меньшее негативное воздействие на почву:

экспериментальная шина 30,5Э-32 имеет наибольшую площадь контактного отпечатка с опорным основанием, поэтому полученные значения по ГОСТ 26953-86 максимальных давлений на почвенное основание наименьшие (на 11...28 %) у шин экспериментальной конструк-

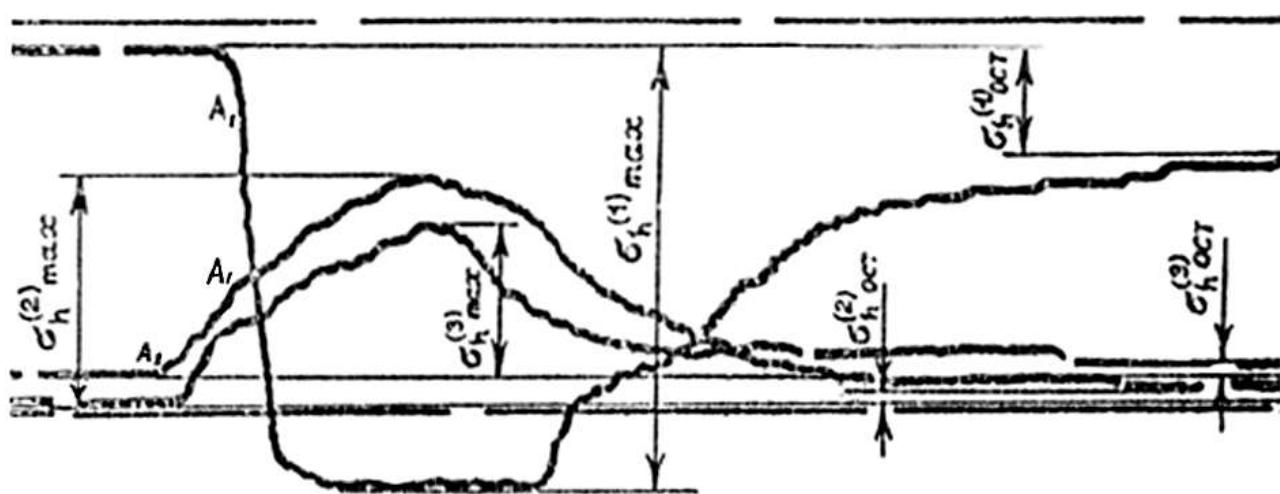


Рис. 4. Осциллограмма нормальных напряжений после прохода зерноуборочного комбайна в различных горизонтах почвы



ции по сравнению с другими вариантами, но в подпахотном горизонте почвы на глубине 50 см напряжение практически одинаковое для всех исследуемых вариантов;

после прохода зерноуборочного комбайна с увеличением глубины наблюдается идентичное для всех вариантов шин снижение максимальных нормальных напряжений в почве при различном характере воздействия ходовых систем на различные горизонты почвы;

в результате испытаний по оценке воздействия движителей зерноуборочных комбайнов на почву установлено, что ГОСТ 26955-86 требует уточнения коэффициентов K_1 и K_2 , которые должны быть определены для различных конструктивных типоразмеров шин и на разных почвенных фонах;

максимальное нормальное напряжение в почве не может быть объективным критерием оценки воздействия колесного движителя на почву, так как оно возникает только при непосредственном взаимодействии движителей мобильного средства с почвой, а при оценке влияния на процессы в почве колесных машин необходимо учитывать уставившиеся на различной глубине остаточные напряжения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 26955-86. Техника сельскохозяйственная мобильная. Нормы воздействия движителей на почву. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/>.
2. ГОСТ 26953-86. Техника сельскохозяйственная мобильная. Методы определения воздействия движителей на почву. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/>.
3. ГОСТ 26954-86. Техника сельскохозяйственная мобильная. Метод определения максимального нормального напряжения в почве. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/>.
4. Кравченко В.А., Оберемок В.А., Яровой В.Г. Повышение эксплуатационных показателей движи-

телей сельскохозяйственных колесных тракторов. – Зерноград: Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВПО ДГАУ, 2015. – 213 с.

5. Кравченко В.А. Транспорт в сельскохозяйственном производстве: учеб. пособие. – Зерноград, АЧГАА, 2003. – 320 с.

6. Патент 2092806 Российской Федерации, G 01 M 17/02. Шинный тестер / И.М. Меликов, В.Г. Яровой, А.В. Яровой, В.А. Кравченко, С.Г. Пархоменко; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО АЧГАА. – № 99114900/28; заявл. 08.07.1999; опубл. 20.05.2001, Бюл. № 14.2. ГОСТ 26953-86. Техника сельскохозяйственная мобильная. Методы определения воздействия движителей на почву.

7. Патент 2677817 Российской Федерации, МПК B60C 9/07; B60C 9/09. Пневматическая шина для мобильного энергетического средства / В.Г. Яровой, В.А. Кравченко, И.М. Меликов, Ф.М. Магомедов; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВО Дагестанский ГАУ. – № 2017135896; заявл. 09.10.2017; опубл. 21.01.2019, Бюл. № 14. // Изобретения. Полезные модели. – 2019. – № 3.

8. Русанов В.А. Проблемы переуплотнения почв движителями и эффективные пути ее решения. – М.: ВИМ, 1998. – 368 с.

9. Совершенствование пневматических шин мобильной сельскохозяйственной техники / В.Г. Яровой [и др.] // Тракторы и сельхозмашины. – 2001. – № 7. – С. 27–30.

Кравченко Владимир Алексеевич, д-р техн. наук, проф., ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет». Россия.

344000, г. Ростов-на-Дону, Площадь Гагарина, 1.
Тел.: +7(928)1957947; e-mail: a3v2017@yandex.ru.

Меликов Иzzet Melukovich, канд. техн. наук, доцент, Дагестанский государственный аграрный университет имени М.М. Джамбулатова. Россия.

367032, г. Махачкала, ул. М. Гаджиева, 180.
Тел.: +7(906)4475441.

Ключевые слова: мобильное средство; движитель; шина; типоразмер шины; максимальное давление; максимальное нормальное напряжение.

EVALUATION OF AGROTECHNICAL PROPERTIES OF PROPULSION UNITS IN COMBINE HARVESTER-THRESHERS WITH TIRES OF VARIOUS DESIGN

Kravchenko Vladimir Alekseevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, FSBEI HE «Don State Technical University». Russia.

Melikov Izzet Melukovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Dagestan State Agrarian University named after M.M. Dzambulatov. Russia.

Keywords: mobile machinery; propulsion unit; tire; tire size; maximum pressure; maximum normal voltage.

The analysis of the carried out experimental studies has shown that when a combine harvester-thresher is equipped with the experimental tire of size

30.5E-32, it has less pressure on the soil substructure (by 11–28 %) than other options and lower voltage values in the arable horizon. As a result of testings for the impact evaluation of propulsion units in combine harvester-threshers on the soil, it has been established that GOST (All-Union State Standard) 26955-86 requires clarification of coefficients K_1 and K_2 , which should be determined for various structural tire sizes and on different soil backgrounds, as well as the fact that when evaluating the impact of the wheel machines on soil processes it is necessary to take into account the residual normal voltages established at various depths.

