Тип статьи: научная
УДК 631.55
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-4-5-13

ВЛИЯНИЕ ВЕСА ЖАТКИ НА ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ КОЛЕС ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА НА ПОЧВУ

Виктор Иосифович Скорляков [1]***, Валерий Юрьевич Ревенко*** [2]
[1,2] *Росинформагротех, Р.п. Правдинский, Московская область, Россия*
[1]skorlv@yandex.ru
[2]skskniish@rambler.ru, https://orcid.org/0000-0003-0336-5323

Автор ответственный за переписку: Валерий Юрьевич Ревенко, skskniish@rambler.ru
Corresponding author Valerij Revenko, skskniish@rambler.ru

Реферат. *С ростом пропускной способности молотилок, предлагаемых на рынке зерноуборочных комбайнов и расширением размерного ряда рекомендуемых для них жаток с учетом различий несущей способности почв в конкретных хозяйствах необходим обоснованный выбор ширины жатки с учетом передачи ее веса на почву через передние колеса комбайна.* В работе рассматривали воздействие колесных движителей зерноуборочных комбайнов на почву с учетом различных вариантов их комплектации сменными адаптерами. П*редложен расчетный метод оценки изменения давления колес зерноуборочного комбайна на почву в зависимости от весовых характеристик рекомендуемых жаток. Суть метода заключена в совокупности последовательных действий по определению веса и координаты расположения центра тяжести выбираемой жатки и комбайна, с последующим нахождением реакции опор от их силового воздействия на колеса. При этом исключается проведение дополнительных развесовок комбайнов и обеспечивается возможность оперативного сравнения зерноуборочных комбайнов с разными жатками по уровню воздействия движителей на почву. С применением разработанного расчетного метода установлено, что при увеличении ширины жатки комбайна с 7 до 9,2 м (сопровождающееся ростом ее массы на 650 кг), вертикальная нагрузка на каждое ведущее колесо возрастет на 6,7 %, а уровень максимального давления на почву движителей передней оси – на 3,4 %. Данные результаты получены для варианта применения жатки на весу, что соответствует применяемому безопорному копированию поверхности поля. Разработанный способ экспресс-оценки позволяет решить проблему обоснованного выбора зерноуборочного комбайна с наименьшим давлением на почву, без взвешивания комбайна с заполненным бункером в каждой из вероятных комплектаций жатками.*

Ключевые слова: *зерноуборочный комбайн, давление на почву, жатка, метод оценки.*

THE IMPACT OF THE WEIGHT OF THE HARVESTER ON THE VERTICAL EFFECTS OF THE WHEELS OF THE COMBINE HARVESTER ON THE SOIL

Victor Skorlyakov [1]***, Valery Revenko***[2]
[1,2] *Rosinformagrotekh. Pravdinsky Township, Moscow Region, Russian Federation*
[1]skorlv@yandex.ru
[2]skskniish@rambler.ru, https://orcid.org/0000-0003-0336-5323

Abstract. *With the increase in the throughput of threshers offered on the market of combine harvesters and the expansion of the size range of headers recommended for them, taking into account differences in the bearing capacity of soils in specific farms, it is necessary to make a reasonable choice of the header width, taking into account the transfer of its weight to the soil through the front wheels of the combine. The impact of wheel propellers of combine harvesters on the soil, taking into account various options for their configuration with interchangeable adapters, was considered in the work. A calculation method for assessing the change in the pressure of the wheels of a combine harvester on the*

soil, depending on the weight characteristics of the recommended headers, is proposed. The essence of the method lies in the set of sequential actions to determine the weight and coordinates of the center of gravity of the selected header and combine, followed by finding the reaction of the supports from their force impact on the wheels. At the same time, additional weight distribution of combines is excluded and it is possible to quickly compare combine harvesters with different headers in terms of the impact of propellers on the soil. Using the developed calculation method, it was found that with an increase in the width of the harvester header from 7 to 9.2 m (accompanied by an increase in its mass by 650 kg), the vertical load on each drive wheel will increase by 6.7%, and the level of maximum pressure on the soil of the movers front axle - by 3.4%. These results were obtained for the option of using the header on the weight, which corresponds to the applied unsupported copying of the field surface. The developed method of express assessment allows solving the problem of a reasonable choice of a combine harvester with the least pressure on the soil, without weighing the combine with a filled hopper in each of the possible configurations with headers.

Keywords: *combine harvester, soil pressure, harvester, evaluation method.*

Для цитирования: Скорляков В.И., Ревенко В.Ю. Влияние веса жатки на вертикальные воздействия колес зерноуборочного комбайна на почву // Наука в центральной России. 2023. Т. 64, № 4. С. 5-13. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-4-5-13.

For citation: Skorlyakov V., Revenko V. The impact of the weight of the harvester on the vertical effects of the wheels of the combine harvester on the soil. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 64(4): 5-13. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-4-5-13.

Введение. Негативные последствия переуплотнения почв тяжелой техникой широко известны [1, 2]. В большей степени исследования вопросов переуплотнения почв относятся к технологическим процессам с использованием машинно-тракторных агрегатов (МТА) при возделывании сельскохозяйственных культур. Уборочной технике уделяется значительно меньшее внимание. Однако с ростом размерно-весовых параметров комбайнов их воздействия на почву увеличиваются. При этом, как отмечено в [3], зерноуборочный комбайн оказывает давление на почву даже большее, чем трактор К-701.

Одной из причин несоответствия фактического максимального давления на почву и допустимого действующим стандартом [4], является игнорировании при оценках и расчетах дополнительных воздействий на колеса современного зерноуборочного комбайна его жатвенной части.

Для адаптации комбайна каждой марки к зональным хозяйственно-производственным условиям рекомендуется размерный ряд из нескольких жаток, но на испытания комбайн поступает в какой-либо одной комплектации. При этом при испытаниях на МИС, в одних случаях нагрузку движителей на опорное основание (так называемую развесовку) выполняют в комплектации с жаткой, в других – без жатки. В результате отсутствует достоверная исходная информация для объективного расчета максимального давления комбайнов на почву и, как показывает проведенный анализ [5], значительно занижаются показатели негативного воздействия тяжелой уборочной техники на почву.

В условиях тенденции роста производительности зерноуборочных комбайнов и соответствующего увеличения размерно-весовых характеристик рекомендуемых для них жаток, увеличиваются динамические нагрузки, передаваемые от жаток на ведущие колеса комбайнов (особенно при их безопорном копировании поверхности поля). Учет данного фактора необходим для более точного определения воздействия ходовых органов комбайнов на почву. Но, в настоящее время отсутствует простой и надежный алгоритм оценки давления на почву предлагаемых на рынке комбайнов, с учетом всех вариантов комплектования их жатками, что ограничивает возможности обоснованного выбора более экологичной техники. А с учетом того, что проведение натурных взвешиваний во всех вариантах комплектаций является проблематичным, актуальна выработка приемлемого для специалистов–производственников упрощенного метода расчета давления ходовых органов комбайнов на почву, с учетом веса различных сменных адаптеров.

Цель исследования – обоснование способа оценки воздействия колесных движителей зерноуборочных комбайнов на почву с учетом различных вариантов их комплектации сменными адаптерами.

Материалы и методы исследований. Определение максимального давления зерноуборочных комбайнов на почву выполняли с учетом реальных производственно-хозяйственных условий и особенностей уборочного процесса, в контексте возникновения дополнительных нагрузок на оси от параметров применяемых сменных адаптеров (из их рекомендуемого ряда).

С учетом возможности комплектования комбайна жатками разной ширины и металлоемкости, в зависимости от зон применения комбайна, был разработан общий методический подход для определения величины дополнительного воздействия на колеса комбайна весом жатки.

Величину максимального давления на почву движителей передней оси определяли в варианте применения жатки на весу (что соответствует применяемому безопорному копированию поверхности поля).

Известно, что жатки являются отдельным объектом испытаний, результаты которых публикуются в открытой печати в виде протоколов. При расчетах исходили из идентичности соотношения размеров жаток разных фирм в боковом сечении, с последующим уточнением горизонтальной координаты их центра тяжести относительно задней стенки посредством развесовок двух комбайнов с жатками и без жаток.

Для расчета воздействия жаток комбайнов на передние колеса определяли расстояние от оси до центра тяжести жатки. Расстояния между векторами приложения сил определяли с помощью масштабирования графических компоновочных изображений комбайнов, приводимых в технической документации. На рисунке 1 в качестве примера приведена конструктивная схема комбайна ДОН-1500Б с приложенными к нему статическими нагрузками.

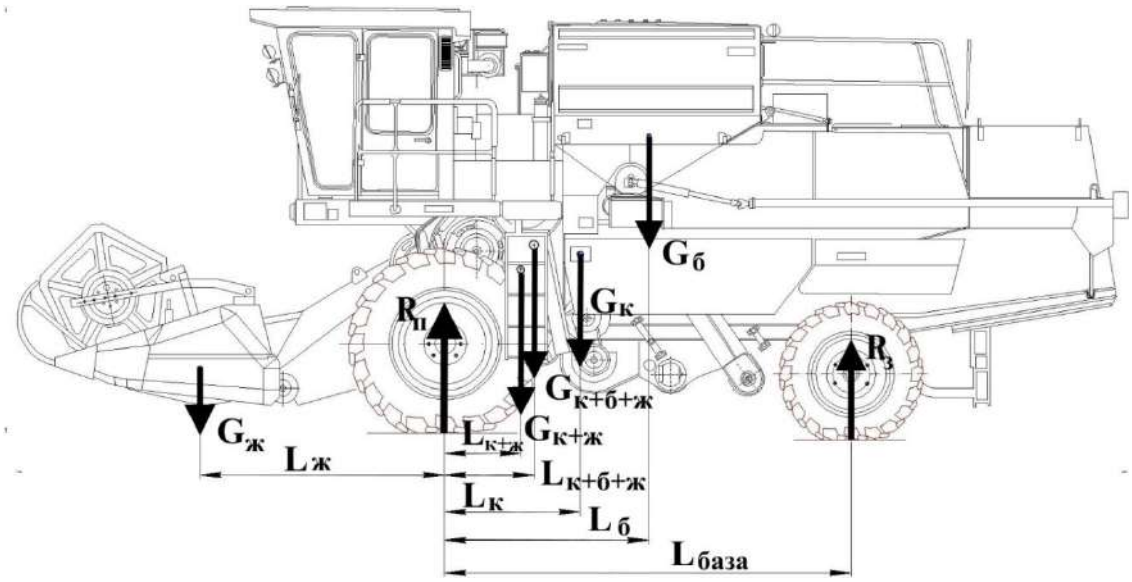

Рисунок 1– Схема приложения сил к комбайну ДОН-1500Б в различных комплектациях

Из уравнения моментов сил, приложенных к точке соприкосновения передней оси комбайна к опорному основанию, определяли горизонтальную координату центра тяжести комбайна без адаптера ($L_к$). Уравнение моментов сил:

$$G_к \cdot L_к = R_з \cdot L_{база} \ , \quad (1)$$

где: $G_к$ – вес зерноуборочной машины без жатки, кН, $R_з$ – реакция опоры под задней осью, кН (определяется по результатам развесовки); $L_{база}$ – база комбайна, мм.

Тогда:
$$L_к = \frac{R_з \cdot L_{база}}{G_к} \quad (2)$$

Аналогичным образом определяли горизонтальную координату центра тяжести комбайна с адаптером.

В соответствии с законами технической механики, расположение координаты центра тяжести жатки относительно точки опоры передней оси (или вынос жатки $L_ж$) можно определить из следующей пропорции:
$$G_{к+ж} \cdot L_{к+ж} = G_к \cdot L_к - G_ж \cdot L_ж \quad (3)$$

Тогда вынос жатки определится следующим образом:
$$L_ж = \frac{G_к \cdot L_к - G_{к+ж} \cdot L_{к+ж}}{G_{к+ж}} \quad (4)$$

Распределение нагрузки от движителей зерноуборочного комбайна на опорную поверхность определяли по ГОСТ Р 58656-2019 [6].

Результаты и обсуждение. При испытаниях на МИС проводят определение веса комбайна с применением платформенных весов с целью выявления соответствия технической характеристике. Но учитывая возможность комплектации комбайнов адаптерами разной ширины, общий вес машины может изменяться в значительной степени. Например, у комбайна GS812 производства ООО «Гомсельмаш» масса рекомендуемых жаток, может варьировать от 1320 до 2800 кг (табл. 1). При этом прослеживается тенденция некоторого снижения удельной металлоемкости жаток с ростом их ширины захвата.

Таблица 1 – Характеристики жаток, рекомендуемых для комбайна GS812 PRO Гомсельмаш

Показатели	Рекомендуемые жатки				
	ЖЗК-4	ЖЗК-5	ЖЗК-6	ЖЗК-7	ЖЗК-9,2
Ширина захвата, м	4	5	6	7	9,2
Масса, кг	1320	1750	1900	2150	2800
Удельная масса, кг/м	330	350	317	307	304

Рассмотрим, как влияет изменение веса жатки на догрузку колес передней оси и изменение величины максимального давления шин на почву у уборочной техники в той или иной комплектации.

При решении данной задачи исходили из следующей предпосылок: первое – профиль, состав узлов и их взаимное расположение у наиболее широко применяемых зерновых жаток, навешиваемых на комбайны, идентичны. Второе – консольное расположение рекомендуемых к применению жаток относительно передней оси комбайна создает условия для повышения давления ведущих колес на почву.

По результатам нахождения расстояния от оси передних колес до центра тяжести нескольких жаток, с последующим определением среднего значения и оценки погрешности среднего значения, представляется возможным использования полученного осредненного результата при расчетах нагрузки на колеса других комбайнов.

Для получения более точных значений рекомендуем следующий расчетный метод. По формуле (2) находим координату центра тяжести зерноуборочного комбайна, например, Акрос 550 с навешенным адаптером:
$$L_{к+ж} = \frac{R_з \cdot L_{база}}{G_{к+ж}} = \frac{48{,}0 \cdot 4030}{163{,}2} = 1185 \text{ мм}$$

где: $G_{к+ж}$ – вес зерноуборочной машины с жаткой: 163,2 кН (определяется по результатам развесовки); $L_б$ – база (межосевое расстояние) 4030 мм; $R_з$ – нагрузка на задний мост при навешенной жатке 48,0 кН.

Процесс взвешивания (развесовки) комбайна с жаткой и без нее приведен на рисунках 2 и 3.

Рисунок 2 – Развесовка зерноуборочного комбайна «Акрос-550» на электронных весах без адаптера

Рисунок 3 – Развесовка комбайна с навешенным адаптером

По формуле (4) рассчитаем горизонтальную координату центра тяжести (ц.т.) жатки по результатам взвешивания комбайна без адаптера и с навешенным адаптером.

$$L_ж = \frac{G_к \cdot L_к - G_{к+ж} \cdot L_{к+ж}}{G_ж} = \frac{141{,}9 \cdot 1715 - 163{,}2 \cdot 1185}{21{,}1} = 2415 \text{ мм}$$

где: $G_к$ – вес зерноуборочной машины без жатки:141,,9 кН, $G_{к+ж}$ – вес зерноуборочной машины с жаткой: 163,2 кН (определяется по результатам развесовки); $L_к$ – расположение ц.т. комбайна без жатки: 1715 мм; $L_{к+ж}$ – координата ц.т. комбайна с учетом веса жатвенной части: 1185 мм; $G_ж$ – вес жатки, 21,1 кН.

В результате расчета расстояния от центра тяжести жатки до передней оси комбайна КЗС 3218 с 7-метровой жаткой получено значение 2,42 м. Очевидно, что, как наличие зерна в бункере, так и навешенный адаптер существенно изменяют нагрузку на колеса в сравнении с развесовкой при пустом бункере и без жаток (таблица 2).

Таблица 2 - Доля нагрузки на переднюю ось от общего веса зерноуборочного комбайна.

Вариант комплекта-ции	Марка комбайна						Среднее, с 95%-м доверительным интервалом	Коэффициет вариации, %
	Нива-эффект	Дон-1500Б	New Holland-CX8080	Torum-780	КЗС-812	Fendt-6300		
Пустой бункер, без жатки	0,71	0,67	0,56	0,52	0,52	0,73	0,62±0,10	15,5
Пустой бункер, с жаткой	0,85	0,81	0,73	0,63	0,62	0,86	0,75±0,11	14,3
Полный бункер с жаткой	0,85	0,74	0,75	0,73	0,63	0,85	0,76±0,09	11,0
Полный бункер, без жатки	0,77	0,63	0,62	0,65	0,55	0,76	0,66±0,09	12,9

Из таблицы 2 видно, что при навешивании на комбайны жаток доля нагрузки на переднюю ось от общего веса комбайна с пустым бункером изменяется в среднем на 13 % (с 62 до 75 %). При заполненном бункере данное изменение в среднем составляет 10 % (рост с 66 до 76 %).

В результате оценок шести комбайнов различных марок без жаток и с пустыми бункерами, установлена сравнительно высокая вариабельность доли нагрузки на колеса передней оси – 15,5 %. Несколько меньшая вариабельность получена в комплектации с жатками –14,3 %. Очевидно, что на распределение нагрузок по осям большое влияние оказывают различия конструкций и компоновочных схем комбайнов. В связи с этим расчеты нагрузок на колеса необходимо проводить индивидуально для комбайна каждой марки.

Разработанный метод расчета позволяет определять нагрузку на наиболее нагруженные колеса передней оси зерноуборочного комбайна при его укомплектовании жатками разных размеров без проведения дополнительных натурных развесовок.

Исходя из возможных вариантов комплектации комбайна GS812 PRO жатками, представленными в таблице 1, и проведенных расчетов, получили значения вертикальных воздействий на колеса передней оси с учетом нагрузки от консольно навешенных жаток (таблица 3).

Из таблицы 3 следует, что с ростом размера, а, следовательно, и веса навешиваемой на комбайн жатки с 1320 до 2800 кг (в 2,12 раза) вертикальное усилие на каждое ведущее колесо увеличится на 16,8 % (с 687,7 до 803,0 кН). При этом максимальное давление колеса увеличивается в меньшей степени – в 1,12 раза (рисунок 5).

Таблица 3 – Изменения воздействий на колеса передней оси с применением жаток, рекомендуемых для комбайна GS812 PRO

Тип жатки	Масса, кг	Вертикальное усилие на ведущее колесо, кН		Площадь пятна контакта шины, м^2	
		С пустым бункером	С заполненным бункером	С пустым бункером	С заполненным бункером
ЖЗК-4	1320	687,7	933,4	0,436	0,508
ЖЗК-5	1750	721,2	966,9	0,447	0,517
ЖЗК-6	1900	732,9	978,6	0,450	0,520
ЖЗК-7	2150	752,4	998,1	0,456	0,525
ЖЗК-9,2	2800	803,0	1048,7	0,471	0,539

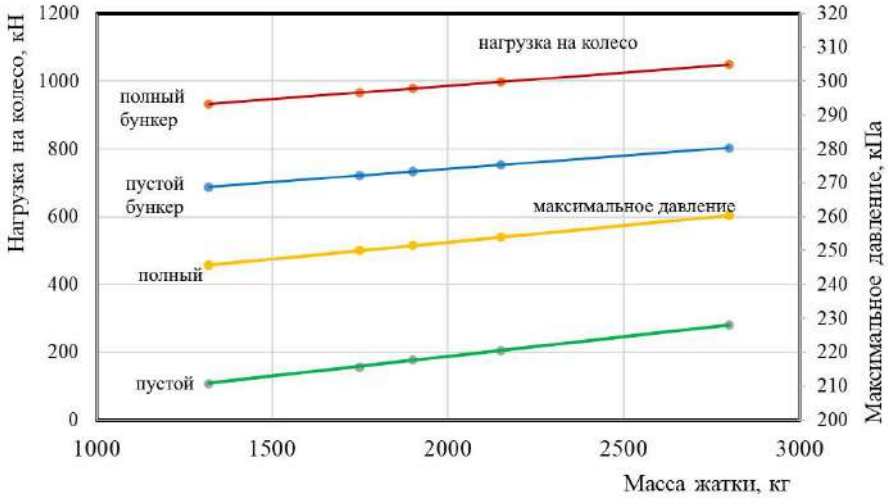

Рисунок 5 – Влияние веса жатки на вертикальные силовые воздействия на почву ведущего колеса комбайна при пустом и заполненном бункере

Вполне очевидно, что это связано с некоторым увеличением площади пятна контакта шины при увеличении вертикальной нагрузки на ось (на 8,1 % при пустом бункере и на 6,1 % - при заполненном). В результате происходит некоторое компенсаторное ограничение роста значения среднего удельного давления колеса, как исходного показателя для расчета максимального давления. Необходимо отметить, что значительно большие приросты вертикальной нагрузки на колесо и максимального давления на почву происходят при заполнении бункера зерном - на 30,6-35,7 %.

В ряде случаев в сельхозпредприятиях предприятиях можно наблюдать применение 7-метровых жаток не только на комбайнах ДОН 1500, но и на современных мощных комбайнах (Торум 780 и др.). В связи с ростом урожайности и пропускной способности новых комбайнов для конкретных производственных условий сохраняется актуальность обоснованного выбора ширины жатки для приобретаемого комбайна. В настоящее время в связи с расширением производства жаток увеличенных размеров такой выбор становится возможным.

С точки зрения воздействия комбайна на почву при выборе ширины жатки необходимо учитывать следующие обстоятельства:

- первое - увеличение ширины жатки уменьшает относительную ширину и площадь уплотненных следов. Например, использование вместо 7-метровой жатки адаптера шириной 9,2 м сокращает уплотняемую площадь с 26,4 до 20,0 % (при ширине следа шин 0,9 м).

- второе – известно, что увеличение нагрузки на ось способствует росту негативного влияния движителей на почву и её последующую деградацию. Однако, использование более широких и

массивных адаптеров не сильно влияет на изменение максимального давления колес на почву. Так, при увеличении ширины жатки на 2,2 м (или на 650 кг) вертикальная нагрузка на каждое переднее колесо увеличивается на 506 кг (на 6,7 %), что соответствует приросту максимального давления при незаполненном зерном бункере на 3,4 % (с 220,5 до 228,1 мПа).

При отсутствии достоверных сравнительных оценок эколого-экономического ущерба от применения рассматриваемых жаток, представляется, что меньший ущерб для почвы от воздействия ведущих колес комбайна на убираемом поле будет получен с применением жатки с большей шириной захвата.

Выводы.

1. Предложенный расчетный метод оценки изменения давления колес зерноуборочного комбайна на почву в зависимости от весовых характеристик рекомендуемых жаток обеспечивает возможность оперативного сравнения зерноуборочных комбайнов с разными жатками по уровню воздействия движителей на почву. При этом исключается проведение дополнительных развесовок комбайнов.

2. С применением разработанного метода расчетов установлено, что увеличение веса жатки комбайна на 650 кг (при увеличении ширины с 7 до 9, 2 м) при безопорном копировании поверхности поля вертикальная нагрузка на каждое ведущее колесо увеличивается на 506 кг или на 6,7 % при увеличении максимального давления на почву – на 3,4 %.

3. Предлагаемый расчетный алгоритм позволяет спрогнозировать возможность использования адаптеров с разными весовыми характеристиками в хозяйствах с недостаточной несущей способностью почв, перед предстоящей эксплуатацией зерноуборочной техники.

Список источников

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

2. Слюсаренко В.В. Механико-технологическое совершенствование движителей энергонасыщенных сельскохозяйственных тракторов и их влияние на агроэкологическое состояние почвы и ее продуктивность. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. – Саратов, 2000. – 469 с.

3. Кузыченко Ю.А. Изменение структуры поверхностного слоя почвы и экологическая совместимость мобильных машин с почвой // Известия Оренбургского государственного университета. - 2019. - № 4. - С. 20-22.

4. ГОСТ Р 58655-2019 Техника сельскохозяйственная мобильная. Нормы воздействия движителей на почву. М.: Стандартинформ. 2019. - 6 с.

5. Скорляков В.И., Ревенко В.Ю. Особенности воздействия на почву зерноуборочных комбайнов // Техника и оборудование для села. - 2022. - №1. - С. 25-29.

6. ГОСТ Р 58656-2019 Техника сельскохозяйственная мобильная. Методы определения воздействия движителей на почву. М.: Стандартинформ. 2019. - 20 с.

References

1. Rusanov V.A. The problem of overconsolidation of soils by movers and effective ways to solve it. - M.: VIM, 1998. - 368 p.

2. Slyusarenko V.V. Mechanical and technological improvement of propellers of energy-saturated agricultural tractors and their impact on the agro-ecological state of the soil and its productivity. Dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences. - Saratov, 2000. - 469 p.

3. Kuzychenko Yu.A. Changing the structure of the surface layer of the soil and the ecological compatibility of mobile machines with the soil // News of the Orenburg State University. - 2019. - No. 4. - S. 20-22.

4. GOST R 58655-2019 Mobile agricultural machinery. Rules for the impact of propellers on the soil. M.: Standartinform. 2019. - 6 p.

5. Skorlyakov V.I., Revenko V.Yu. Features of the impact on the soil of grain harvesters // Technique and equipment for the village. - 2022. - No. 1. - S. 25-29.

6. GOST R 58656-2019 Mobile agricultural machinery. Methods for determining the impact of movers on the soil. M.: Standartinform. 2019. - 20 p.

Информация об авторах

В. И. Скорляков – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник; В. Ю. Ревенко – кандидат технических наук, ученый секретарь.

Information about the authors

V. Skorlyakov – Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher; V. Revenko – Candidate of Technical Sciences, Scientific Secretary.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: all authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 23.07.2023 Принята к публикации (Accepted): 24.08.2023