

DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-108481>

Оригинальное исследование



Совершенствование метода расчета давления движителей зерноуборочных комбайнов на почву

В.И. Скорляков, В.Ю. Ревенко

Новокубанский филиал Федерального государственного бюджетного университета «Росинформагротех», Новокубанск, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Введение. В настоящее время отсутствует простой и надежный алгоритм оценки давления на почву предлагаемых на рынке комбайнов. В связи с этим актуален анализ методов, представленных в действующих стандартах и применяемых при расчетах давления ходовых органов на почву, а также выработка приемлемого для специалистов-производственников упрощенного метода.

Цель исследований. Упрощение оценок силовых воздействий на колеса и на почву в рабочем цикле от начала до окончания заполнения бункеров зерноуборочных комбайнов.

Метод. Предложен способ оценки величины давления колес зерноуборочного комбайна на почву в рабочем цикле начала и окончания заполнения бункеров зерном, позволяющий исключить проведение развесовок комбайна с полным бункером.

Результат. В результате исследований обоснована совокупность последовательных действий по определению нагрузки движителей техники на почву, включающая определение веса и координаты расположения центра тяжести зерна в бункере с последующим нахождением реакции опор от совокупного силового воздействия зернового материала и комбайна (с пустым бункером), с учетом расположения их центров тяжести.

Заключение. Применение нового способа позволяет определить значение максимального давления колес на почву при заполненном бункере, а также диапазон изменения данного показателя от начала до завершения заполнения бункера зерном. При этом исключается взвешивание комбайна с заполненным бункером на специальной площадке с твердым покрытием с необходимостью проведения процедур по загрузке, выгрузке и взвешиванию зерна. В результате обеспечивается возможность оперативного получения сравнительной оценки зерноуборочных комбайнов по уровню воздействия на почву применительно к началу и окончанию рабочего цикла заполнения бункера. Для решения поставленной задачи достаточно использовать имеющиеся в открытых источниках результаты развесовок уборочной техники с пустым бункером с последующим расчетом по предлагаемому алгоритму. Установлено минимальное расхождение (менее 2%) расчетных значений максимального давления колес на почву и значений давления на почву по результатам взвешивания с применения платформенных весов.

Ключевые слова: зерноуборочный комбайн; давление на почву; метод оценки.

Для цитирования:

Скорляков В.И., Ревенко В.Ю. Совершенствование метода расчета давления движителей зерноуборочных комбайнов на почву // Тракторы и сельхозмашины. 2022. Т. 89, № 6. С. 403–410. DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-108481>

DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-108481>

Original Study Article

Improvement of the method of calculation of pressure of combine harvester propulsion on soil

Victor J. Skorlyakov, Valery Yu. Revenko

Novokubansk Branch of Russian Scientific and Research Institute of Information and Feasibility Studies on Engineering Support of Agricultural Industry, Novokubansk, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: Currently there is no simple and reliable algorithm of assessment of pressure on soil for the harvesters presented on the market. Therefore, analysis of the methods presented in active standards and used in calculation of pressure of propulsion on soil as well as development of the simplified and acceptable for manufacturing specialists method are relevant.

AIMS: Simplification of assessment of force action to wheels and soil during the operation cycle from the beginning and until the end of combine harvester tanker filling.

METHODS: The method of assessment of values of combine harvester wheel pressure on soil during the tanker filling operation cycle that allows exclusion of weighing of a harvester with a filled tanker is proposed.

RESULTS: As the result of studies, the complex of sequential actions of determining of load of machinery propulsion on soil, including determining of weight and center of mass coordinates for the grain inside tanker with the following determining of wheel normal forces caused by summarized load action of grain and a harvester (with an empty tanker) considering location of their centers of mass, was justified.

CONCLUSIONS: The new method application makes it possible to define maximal wheel pressure on soil with the filled tanker as well as the range of this indicator's values from the beginning and until the end of tanker filling with grain. In this case, weighing of a harvester with a filled tanker at the special area with hard surface including the procedures of grain loading, unloading and weighing, is excluded. As a result, the ability of quick comparison of combine harvesters with the criterion of level of impact on soil in respect to tanker filling operational cycle beginning and end is ensured, which is the study subject. Thus, in order to solve the given task, it suffices to use the weighing results of harvesting machinery with an empty tanker, available in open sources, followed by calculation according to the proposed algorithm. Minimal divergence (less than 2%) of calculated and measured with use of platform scales values of maximal wheel pressure on soil is found.

Keywords: combine harvester; pressure on soil; assessment method.

Cite as:

Skorlyakov VJ, Revenko VYu. Improvement of the method of calculation of pressure of combine harvester propulsion on soil. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2022;89(6):403–410. DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-108481>

Received: 02.06.2022

Accepted: 29.11.2022

Published: 15.12.2022

ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия в результате борьбы за производительность сельскохозяйственных машин и агрегатов наблюдается устойчивый рост их размерно-массовых показателей, что порождает рост давления ходовых органов на почву [1]. В наибольшей мере изучены вопросы воздействия на почву движителей тракторных агрегатов непосредственно в технологических операциях возделывания сельскохозяйственных культур. Для них установлены основные закономерности происходящих процессов и негативных последствий давления на почву [2]. Но воздействие на почву зерноуборочной техники в процессе уборочных работ, несмотря на продолжительное время до вегетации следующей культуры, также приводит к ряду негативных последствий в виде повышения затрат на обработку переуплотненного пахотного слоя (на вспашку) и на периодическое разуплотнение подпахотного горизонта (чизелевание).

В отличие от почвообрабатывающих и ряда других машинно-тракторных агрегатов в рабочем процессе зерноуборочного комбайна происходит изменение его массы вследствие заполнения бункера зерном. Нагрузка на оси и колеса комбайна в рабочем цикле заполнения бункера находится в зависимости от массы поступающего зерна. Граничные условия изменения максимального давления колес на почву по длине прохода комбайна между разгрузками определяются изменением указанного показателя в начале движения (при пустом бункере) и при завершении заполнения бункера. Но при испытаниях на машиноиспытательных станциях контролируется в большинстве случаев нагрузка на колеса с незаполненным бункером.

Согласно ГОСТ Р 58655-2019 [3], нормальные давления движителей на почву ограничены 150 кПа при влажности почвы менее 0,6 НВ и 80–100 кПа – при влажности почвы более 0,6 НВ. Но, как отмечено в [4], и отечественные, и большинство зарубежных комбайнов создают максимальное давление на почву в пределах 180–240 кПа, а комбайны с повышенной пропускной способностью (8,5–12 кг/с) – до 280–350 кПа.

Необходимо отметить, что в настоящее время отсутствует простой и надежный алгоритм оценки давления на почву предлагаемых на рынке комбайнов. В связи с этим актуален анализ методов, представленных в действующих стандартах и применяемых при расчетах давления ходовых органов на почву, а также выработка приемлемого для специалистов-производственников упрощенного метода.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЙ

Упрощение оценок силовых воздействий на колеса и на почву в рабочем цикле начала и окончания заполнения бункеров зерноуборочных комбайнов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Использован анализ стандартизованных методов и материалов публикаций, посвященных определению давления ходовых органов зерноуборочных комбайнов на почву. Исходя из значений нагрузок на колеса при порожнем и заполненном бункере, проводили расчеты площади пятна контакта шин, среднего и максимального (в вертикальной плоскости оси колеса) давления на почву. Применяли метод определения массы зерна в заполненном бункере, а также расположение линии действия центра тяжести зерна относительно осей комбайна. Таким образом, вместо развесовки комбайна с заполненным бункером применяли расчетный метод определения максимального давления ходовых органов на почву.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ известных способов оценки величины нормальных давлений на почву

Данный показатель в значительной мере зависит от массы техники. При испытаниях, согласно ГОСТ 26025-83 п. 4.2 [5], эксплуатационную массу машины определяют путем ее взвешивания на платформенных весах. Аналогичный метод оценки нагрузки на колеса регламентирован в ГОСТ Р 58656-2019 [6], при этом на машиноиспытательных станциях применяется метод с использованием тензометрических взвешивающих устройств на площадке с твердым покрытием (рис. 1). По полученным результатам развесовки находят расположение центра тяжести комбайна относительно осей.

Для определения максимального давления колес комбайна на почву с применением действующих



Рис. 1. Процесс взвешивания комбайна на тензометрических весах.

Fig. 1. The process of combine weighing with strain gauge scales.

стандартов необходима следующая последовательность их применения:

- определение вертикальной нагрузки на колесо;
- нахождение контурной площади пятна контакта протектора шины с жестким опорным основанием;
- расчет среднего давления на почву как частного от деления нагрузки на колесо к площади пятна контакта шины;
- определение максимального давления на почву (в вертикальной плоскости оси колеса).

Значение площади пятна контакта шины колеса определяют в соответствии с ГОСТ 7057-81 [7] – преимущественно посредством поддомкрачивания и опускания колеса с окрашенными почвозацепами на ровную поверхность. Путем деления значения вертикальной нагрузки на колесо комбайна на значение площади пятна контакта находят среднее давление колеса на почву, а также максимальное давление на почву (в вертикальной плоскости по оси колеса), согласно методике ГОСТ Р 58656-2019 [6].

Очевидно, что значения показателей воздействия колес на почву зерноуборочного комбайна при пустом бункере соответствуют лишь начальному этапу процесса наполнения бункера зерном. Определение весовых характеристик зерноуборочных комбайнов в варианте с заполненным бункером при испытаниях не проводят. Но в процессе обмолота зерновых колосовых культур зерно, поступающее в бункер, существенно увеличивает уровень вертикальной нагрузки на колеса. При этом, наибольшие приросты общей массы комбайна и его соответствующего негативного воздействия на почву вызывает повышенная вместимость бункеров комбайнов, достигающая 12 и более кубометров [8].

Определение нагрузки на колеса путем поочередного взвешивания в вариантах с порожним и с заполненным бункером применяется лишь в отдельных случаях [9]. Наличие результатов развесовок в указанных двух вариантах позволяет получать информацию о нагрузках на оси и колеса комбайна как в начале, так и по окончании заполнения бункера зерном, т. е. в повторяющемся технологическом цикле работы комбайна на поле, с последующим определением площади пятна контакта применяемых шин, среднего и максимального давления колес на почву по указанным выше известным методам. Но недостатком данного способа является проблематичность взвешивания комбайна с заполненным бункером на краях полей непосредственно при уборке из-за отсутствия необходимых ровных площадок с твердым покрытием. А при использовании специальной площадки на полевых станах для заполнения бункера необходима перевозка и перегрузка значительного объема зерна, что сопряжено с организационными трудностями и дополнительными затратами труда и времени. Кроме этого, важное прикладное значение результатов определения нагрузки на колеса в варианте с заполненным бункером

заключается в получении указанных значений по нескольким комбайнам для выбора комбайна из предлагаемых на рынке образцов по критерию минимальных силовых нагрузок на почву в процессе комбайнирования. Однако в настоящее время такая информация за редкими исключениями отсутствует, а для ее ускоренного получения необходим более простой способ определения нагрузок на оси и колеса комбайнов при заполненном бункере.

Следует также отметить, что особенность известных методов оценки максимального давления колес на почву состоит в том, что отдельным этапам расчетов посвящены разные стандарты, что требует существенных затрат времени для поиска исходной информации и проведения расчетов.

Предлагаемый усовершенствованный способ оценки

Изменение весовых параметров комбайна от заполнения бункера зерном достаточно точно может быть найдено расчетным методом, исходя из вместимости бункера и объемной массы зерна заданной культуры. Предпосылками к этому являются:

- известная из технической характеристики вместимость бункера;
- известные средние значения объемной массы зерна убираемой культуры;
- наличие в руководстве по эксплуатации комбайна и в других источниках пропорционально уменьшенных графических изображений комбайна (включая виды сбоку), позволяющих масштабировать взаимное расположение конструктивных элементов, в частности форму и расположение бункера относительно осей опорных колес (рис. 2);
- наличие данных по развесовке комбайна при пустом бункере;
- возможность применения методов технической механики для расчета изменения нагрузок на оси и опорных колес на почву при изменении количества зерна в бункере.

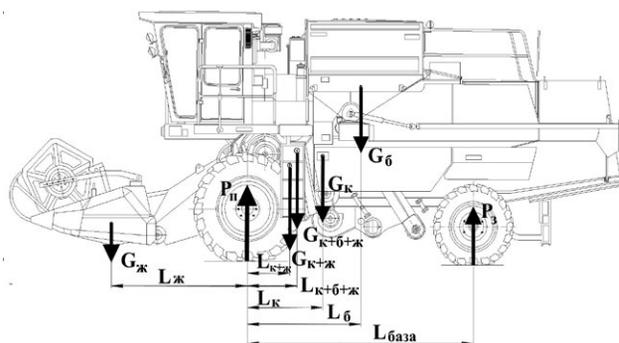


Рис. 2. Схема приложения сил к комбайну ДОН-1500Б в различных комплектациях.

Fig. 2. The force diagram of the DON-1500B combine in different configurations.

Центр тяжести зерна в бункере с относительно высокой степенью точности определяют с помощью системы трехмерного проектирования КОМПАС-3D. Для этого с помощью команд «вставка» – «рисунок» на панели инструментов помещают изображение комбайна с бункером в главное окно программы [10]. Затем, в «падающем меню» посредством кнопки на инструментальной панели «Вспомогательная геометрия» и команды «Ломаная» очерчивают границы бункера. Далее выделяют полученный фрагмент и посредством команды «Сервис» на панели инструментов и кнопки «МЦХ» в отдельном окне получают массово-центровочные характеристики заполненного зерном бункера с указанием координат его центра тяжести.

Определив координаты центра тяжести комбайна с пустым бункером относительно осей (по результатам развесовки), а также координаты центра тяжести зерна в бункере, схематично рассматривая приложение сил к жесткой балке на двух опорах, можно определить реакции опор в вертикальных плоскостях осей колес от веса комбайна с заполненным бункером (рис. 3).

Таким образом, для определения нагрузки на почву колесных движителей комбайна с учетом веса зерна в заполненном бункере необходимо выполнить следующие взаимосвязанные действия:

1. Установить значения нагрузок колес на опорное основание с помощью весовых устройств, т. е. распределение веса комбайна по опорам с пустым бункером (в том числе из имеющихся в открытом доступе сведений из протоколов испытаний комбайна данной марки).
2. Исходя из вместимости бункера данного конкретного комбайна и известного среднего значения объемного веса зерна, установить вес зерна в заполненном бункере.
3. С помощью системы трехмерного проектирования (типа КОМПАС-3D) установить место нахождения центра тяжести зерна в бункере, а по виду сбоку масштабированной схемы комбайна – его расположение относительно осей колес.

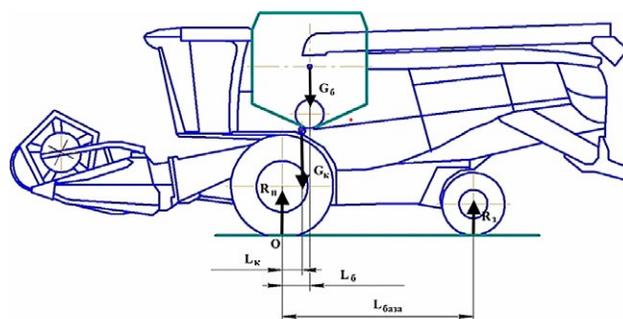


Рис. 3. Точки приложения результирующих сил тяжести и реакции опор на примере зерноуборочного комбайна Fendt 6300C.

Fig. 3. Points of application of resultant gravity forces and wheel normal forces in the case of the Fendt 6300C combine harvester.

4. Из анализа схемы действия сил из центров их приложения (эксплуатационного веса комбайна и веса зерна в бункере) с учетом их расстояний до осей определить реакции опор под передними и задними колесами.
5. По найденным значениям реакций опор, по известным из ГОСТ Р 58656 [6] математическим зависимостям, а также по другим методикам, приведенным в научной литературе, определить площадь пятна контакта колес, среднее давление шин на опорное основание и максимальное давление на почву (в вертикальной плоскости оси колеса).

Выполнение указанных выше действий обеспечивает получение значений максимального давления колес на почву (и значений других показателей), распространяемых по колеям при проходах комбайна, и позволяет получать значения максимального давления в диапазоне от начала до завершения процесса заполнения бункера зерном.

Ниже приведем пример практического использования усовершенствованного метода оценки максимального давления движителей зерноуборочного комбайна на почву.

Таблица 1. Исходные данные для расчета показателей комбайна Fendt 6300C

Table 1. The data for the Fendt 6300C combine indicators calculation

Показатели	Значения показателей
Вес комбайна, кН	161,5
Вместимость бункера, м ³	8,0
Расстояние между передней и задней осями (база), мм	3385
Средние значения нагрузки на ось с пустым бункером, кН:	
- передняя ось;	138,0
- задняя ось.	23,5
Среднее/максимальное давление на почву с пустым бункером, кПа	
- колесо передней оси;	199 / 271
- колесо задней оси.	68 / 89

Объект оценки – зерноуборочный комбайн *Fendt 6300C* на уборке озимой пшеницы (табл. 1).

1. Рассчитывают вес зерна в бункере

$$G_6 = V_6 \cdot \lambda, \quad (1)$$

где: V_6 – объем бункера, м³; λ – удельный вес зерна озимой пшеницы, кН/м³ (среднее значение данного показателя – 7,5 кН/м³).

В результате получают: $G_6 = 60,0$ кН.

2. Определяют место расположения геометрического центра бункера (см. профиль комбайна на рис. 3 из открытых источников) и, соответственно, центра тяжести зерна в заполненном бункере (с помощью указанной выше системы трехмерного проектирования). Его расстояние от оси передних колес комбайна L_6 составляет 510 мм. Результирующую веса зерна, находящегося в заполненном бункере, обозначают G_6 . На рис. 3 абрис бункера выделен утолщенной линией.

3. Устанавливают горизонтальную координату центра тяжести комбайна с незаполненным бункером ($G_6=0$), т. е. расстояние от оси передних колес L_k . Для этого составляют уравнение моментов сил относительно точки пересечения вертикальной проекции оси колеса с опорной поверхностью, т. е. относительно точки O (см. рис. 3):

$$G_k \cdot L_k = R_3 \cdot L_{\text{база}}, \quad (2)$$

где: G_k – вес зерноуборочной машины, равный 161,5 кН (в соответствии с таблицей 1); R_3 – реакция опоры под задней осью $R_3=23,5$ кН; $L_{\text{база}}$ – база комбайна (3385 мм).

Из формулы (2) следует, что: $L_k=492,5$ мм.

4. Рассчитывают реакции опор при заполненном зерном бункере ($G_6=60$ кН). В этом случае уравнение моментов сил (2) примет следующий вид:

$$G_k \cdot L_k + G_6 \cdot L_6 - R_{36} \cdot L_{\text{база}} = 0, \quad (3)$$

где R_{36} – реакция опоры под задней осью с учетом веса зерна в заполненном бункере.

Из уравнения (3) определяем величину $R_{36}=32,5$ кН.

Величину реакции опоры передних колес зерноуборочного комбайна определяют с учетом увеличения общего веса машины от дополнительного веса зерна в бункере:

$$R_{п6} = (G_k + G_6) - R_{36} = 189,0 \text{ кН.}$$

В соответствии с результатами экспериментальной развесовки данного комбайна с заполненным бункером [9] величина данного показателя для колес передней оси составила 185,6 кН, для задней – 31,9 кН.

5. Определяют значение площади пятна контакта в соответствии с формулой, представленной в [11], которая была уточнена для шин зерноуборочных комбайнов:

$$S = \sqrt{f \cdot (D - f)} + f \cdot H, \quad (4)$$

где B и H – соответственно, ширина и высота профиля шины, м; D – наружный диаметр ненагруженной шины, м; f – нормальный прогиб, м.

Для шины передней оси размерности 650/75R32 параметры D , B , H и f возьмем из ГОСТ 7463-2003 [12] (табл. А.1 Приложения “Обозначения, основные параметры и размеры, нормы эксплуатационных режимов шин”): диаметр $D=1,789$ м; ширина профиля $B=0,645$ м; нормальный прогиб $f=D/2 - R_{st}=0,092$ (где $R_{st}=0,803$ – статический радиус, м); высота профиля $H=(D - d)/2=0,49$ м (где $d=0,813$ – диаметр обода, м).

После подстановки и вычислений получим: $S=0,3$ м².

Для шины задней оси размерности 540/65R24 величина S равна 0,176 м².

6. Определяют значения среднего и максимального давления на почву колес передней и задней оси с учетом результатов расчетов, полученных по пунктам 1–5.

Величина усредненного показателя среднего давления на почву под колесами передней оси составит:

$$q_k^{cp} = \frac{M_{п} \cdot g}{1000 \cdot F_{кп}}, \quad (5)$$

где $M_{п}$ – масса, воспринимаемая почвой под колесом передней оси (реакция опоры под колесом) $M_{п}=18896:2=9448$ кг; $F_{кп}$ – площадь пятна контакта шины с почвой, для колес передней оси 650/75R32, выражаемая в соответствии с ГОСТ Р 58656-2019 формулой: $F_{кп}=S \cdot 1,1=0,33$ м².

Следует отметить, что в ГОСТ 7463-2003 помимо размерных параметров приведена величина максимально допустимой нагрузки на шину – 6300 кг. В нашем случае нагрузка на шину составит 9448 кг, что выше допустимого уровня на 50%. Но, в соответствии с ГОСТ 30191-96 [13], для зерноуборочных комбайнов при эксплуатации с периодической нагрузкой (кроме комбайнов, работающих на склонах) при скорости не более 10 км/ч допускается увеличивать нагрузку до 170% от допустимой с повышением внутришинного давления примерно на 30%.

Тогда величина среднего давления на почву колес передней оси: $q_k^{cp} = 281$ кПа.

Соответствующая величина максимального давления переднего колеса на почву (по ГОСТ Р 58656-2019) составит $q_k = 1,5 \cdot q_k^{cp} = 421$ кПа.

Показатели среднего и максимального давления на почву колес задней оси 540/65R24 составят, соответственно, $q_k^{cp} = 78$ кПа, а $q_k = 117$ кПа.

Таблица 2. Сравнение значений нагрузок на переднюю и заднюю оси комбайна, найденных различными способами**Table 2.** Comparison of loads at front and rear axles of the combine, obtained with different methods

Наименование показателя	Новый способ	Базовый способ
Нагрузка на ось при заполненном бункере, кН:		
– передняя ось	188,99	185,60
– задняя ось	32,51	31,90
Разность значений относительно базового способа, ± %		
– передняя ось	+1,8	
– задняя ось	+ 1,9	

Таким образом, от начала до завершения цикла заполнения бункера комбайна *Fendt 6300C* зерном озимой пшеницы среднее давление колес передней оси изменяется от 199 до 281 кПа, колес задней оси – от 68 до 78 кПа. При этом максимальное давление колес передней оси на почву изменяется от 271 до 421 кПа, колес задней оси – от 89 до 117 кПа.

Сравнительной оценкой предлагаемого расчетного и эмпирического способов определения осевых нагрузок на оси и колеса для зерноуборочного комбайна *Fendt 6300C* установлены минимальные численные различия искомых показателей – 1,8% (табл. 2).

Таким образом, выполнение указанных выше действий позволяет определить значения максимального давления колеса на почву при заполненном бункере и в совокупности с аналогичным показателем при пустом бункере – рассчитать диапазон изменения максимального давления от начала до завершения заполнения бункера зерном. При этом исключается трудоемкий способ определения нагрузки на колеса комбайна на специальной ровной площадке с заполнением и выгрузкой (после взвешивания) зерна из бункера.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Усовершенствованный метод оценки максимального давления колес зерноуборочных комбайнов на почву с применением расчетов дополнительного воздействия на колеса намолоченного зерна позволяет исключить взвешивание комбайна с заполненным бункером. Это обеспечивает возможность сравнения зерноуборочных комбайнов по уровню воздействия на почву применительно к началу и к окончанию рабочих циклов заполнения бункеров с использованием результатов развесовок, получаемых в варианте эксплуатационного веса комбайна при испытаниях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Маслов Г.Г., Малашихин Н.В., Лаврентьев В.П. Эффективные направления снижения уплотнения почвы для сохранения ее плодородия // Научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2019. № 146. С. 24–37. doi: 10.21515/1990-4665-146-003

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Вклад авторов. *В.И. Скорляков* — поиск публикаций по теме статьи, написание текста рукописи; экспертная оценка, утверждение финальной версии; *В.Ю. Ревенко* — производство расчетов, редактирование и дополнение текста рукописи, создание изображений. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям *ICMJE* (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

ADDITIONAL INFORMATION

Authors' contribution. *V.J. Skorlyakov* — search for publications, writing the text of the manuscript, expert opinion, approval of the final version; *V.Yu. Revenko* — making calculations, editing and supplementing the text of the manuscript, creating images. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

Competing interests. The authors declare no any transparent and potential conflict of interests in relation to this article publication.

Funding source. The present study was not supported by any external sources of funding.

2. Русанов В.А. Проблема переуплотнения почв движителями и эффективные пути ее решения. Москва, 1998. 368 с.

3. Скурятин Н.Ф., Дьячков А.П., Бровченко А.Д., и др. Методика определения оптимальной грузоподъемности бункеров технологических машин // Вестник Воронежско-

го государственного аграрного университета. 2012. № 2. С. 122–125.

4. Скорляков В.И., Ревенко В.Ю. Особенности воздействия на почву зерноуборочных комбайнов // Техника и оборудование для села. 2022. № 1. С. 25–29. doi: 10.33267/2072-9642-2022-1-25-29

5. Гольяпин В.Я. Анализ и оценка результатов испытаний зарубежных зерноуборочных комбайнов // Техника и оборудование для села. 2014. № 6. С. 37–44.

6. Ганин Н.Б. Проектирование в системе КОМПАС-3D: учебный курс. Питер: ДМК Пресс, 2008. 448 с.

7. 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. С. 10–15. doi: 10.33267/2072-9642-2021-7-10-15

REFERENCES

1. Maslov GG, Malashikhin NV, Lavrentiev VP. Effective ways to reduce soil compaction to preserve its fertility. *Nauchnyi zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2019;(146):24–37. (In Russ). doi: 10.21515/1990-4665-146-003

2. Rusanov VA. The problem of soil re-compaction by movers and effective ways to solve it. Moscow; 1998. 368 p. (In Russ).

3. Skuryatin NF, Dyachkov AP, Brovchenko AD, et al. Methodology for determining the optimal load capacity of technological machine bunkers. *Vestnik of Voronezh state agrarian university*. 2012;(2):122–125. (In Russ).

4. Skorlyakov VI, Revenko VYu. Features of the impact on the soil of combine harvesters. *Machinery and*

equipment for rural area. 2022;(1):25–29. (In Russ). doi: 10.33267/2072-9642-2022-1-25-29

5. Golyapin VYa. Analysis and evaluation of the test results of foreign combine harvesters. *Machinery and equipment for rural area*. 2014;(6):37–44. (In Russ).

6. Ganin NB. Designing in the COMPASS-3D system: A training course. Piter: DМК Press; 2008. 448 p. (In Russ).

7. Revenko VYu, Frolov SS, Tkachenko AN, Ivanov AB. Refined methodology for determining the area of the bearing surface of tires of modern agricultural machinery. *Machinery and equipment for rural area*. 2021;(7):10–15. (In Russ). doi: 10.33267/2072-9642-2021-7-10-15

ОБ АВТОРАХ

*Скорляков Виктор Иосифович,

канд. техн. наук,

ведущий научный сотрудник лаборатории разработки испытательного оборудования;

адрес: Российская Федерация, 352243, Краснодарский край, г. Новокубанск, Красная ул., д. 15;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4348-9489>;

eLibrary SPIN: 7553-1163;

e-mail: skorlv@yandex.ru

Ревенко Валерий Юрьевич,

канд. техн. наук,

ведущий научный сотрудник, ученый секретарь;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0336-5323>;

eLibrary SPIN: 6608-9963;

e-mail: skskniish@rambler.ru

*Автор, ответственный за переписку

AUTHORS' INFO

*Victor J. Skorlyakov,

Cand. Sci. (Tech.),

Leading Researcher of the, Testing Equipment Development Laboratory;

address: 15 Krasnaya street, 352243 Novokubansk, Russia;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4348-9489>;

eLibrary SPIN: 7553-1163;

e-mail: skorlv@yandex.ru

Valery Yu. Revenko,

Cand. Sci. (Tech.),

Leading Researcher, Scientific Secretary;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0336-5323>;

eLibrary SPIN: 6608-9963;

e-mail: skskniish@rambler.ru

*Corresponding author