

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ВИБРОЗАЩИТНОЙ СИСТЕМЫ ТРАКТОРНО-ТРАНСПОРТНОГО АГРЕГАТА НА БАЗЕ БЕЛАРУС 1221.2

---

Олег Иванович Поливаев  
Алексей Николаевич Кузнецов  
Алексей Владиславович Лощенко  
Артем Николаевич Горбулич

Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I

Рассмотрены способы снижения колебаний, приходящих на тракторно-транспортные агрегаты, путем совершенствования систем, снижающих уровень низкочастотных колебаний. Анализ классификации систем подпрессоривания сиденья оператора тракторно-транспортного агрегата показал, что наиболее эффективным с точки зрения повышения плавности хода является внедрение активных систем подпрессоривания. Для снижения вибрационной нагруженности оператора транспортного средства разработана активная система подпрессоривания, включающая гидроцилиндр со штоком, установленным соответственно между полом кабины и основанием подушки сиденья. Гидроцилиндр имеет две полости, которые соединены с регулируемым дросселем и пневмогидравлическим аккумулятором. При этом пневматическая полость аккумулятора соединена при помощи соленоидного клапана с ресивером и клапаном избыточного давления. Регулируемый дроссель и соленоидные клапаны управляются посредством электронного блока управления, на который поступают сигналы от датчиков перемещения сиденья, вибрации моста и сиденья. В качестве объекта исследований был выбран тракторно-транспортный агрегат в составе трактора Беларус 1221.2 и прицепа 2ПТС-4,5 с серийной и опытной конструкцией подвески сиденья. Сравнительные исследования ТТА проводили на транспортных операциях и при переезде искусственных неровностей. При проведении полевых испытаний определяли среднеквадратические значения ускорений на сиденье оператора, полу кабины, переднем и заднем мосту трактора. Также определяли величину тягового усилия на крюке трактора. Результаты испытаний показали, что разработанное техническое решение позволяет снизить логарифмические уровни виброускорений на 12–18% в сравнении с серийной конструкцией и удовлетворяет требованиям санитарных норм во всем диапазоне скоростей.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** тракторно-транспортный агрегат, активная подвеска сиденья, испытания, логарифмические уровни виброускорений, санитарные нормы.

## IMPROVEMENT OF VIBRATION ISOLATION SYSTEM OF TRACTOR-TRANSPORT UNIT ARRANGED ON THE BASIS OF BELARUS 1221.2

Oleg I. Polivaev  
Alexey N. Kuznetsov  
Alexey V. Loshchenko  
Artem N. Gorbulich

Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great

The authors describe methods of derating vibrations that are received by tractor-transport units by improving the systems that reduce the level of low-frequency oscillations. The conducted analysis of the classification of the suspension systems of the operator's seat of the tractor-transport unit showed that the most effective from the point of view of improving the smoothness of the motion is the introduction of active suspension systems. To reduce the vibration load of the vehicle operator, an active suspension system has been developed including a hydraulic cylinder with a rod installed between the cab floor and the base of the seat cushion. The hydraulic cylinder has two cavities, which are connected to an adjustable throttle and a hydropneumatic accumulator. In this case, the pneumatic cavity of the accumulator is connected by means of a solenoid valve with a receiver and an excess pressure valve. Adjustable throttle and solenoid valves are controlled by an electronic control module, which receives signals from the seat displacement sensors, bridge and seat vibration. The object of research was Belarus 1221.2 tractor and 2PTS-4,5 trailer equipped with a production and experimental seat suspension device. Comparative studies of tractor-transport aggregate were carried out during transport operations and overpassing speed hump. During the field tests, the root-mean-square value of acceleration were determined on the operator's seat, on the cabin floor, on the front and rear axles of the tractor. The value of drawbar pulling force was also determined. Test results showed that the proposed design of the suspension system reduces logarithmic levels of vibration acceleration by 12-18% in comparison with the production design and meets the requirements of health and safety regulations at full speed range.

**KEYWORDS:** tractor-transport unit, active seat suspension, tests, logarithmic levels of vibration acceleration, health and safety regulations.

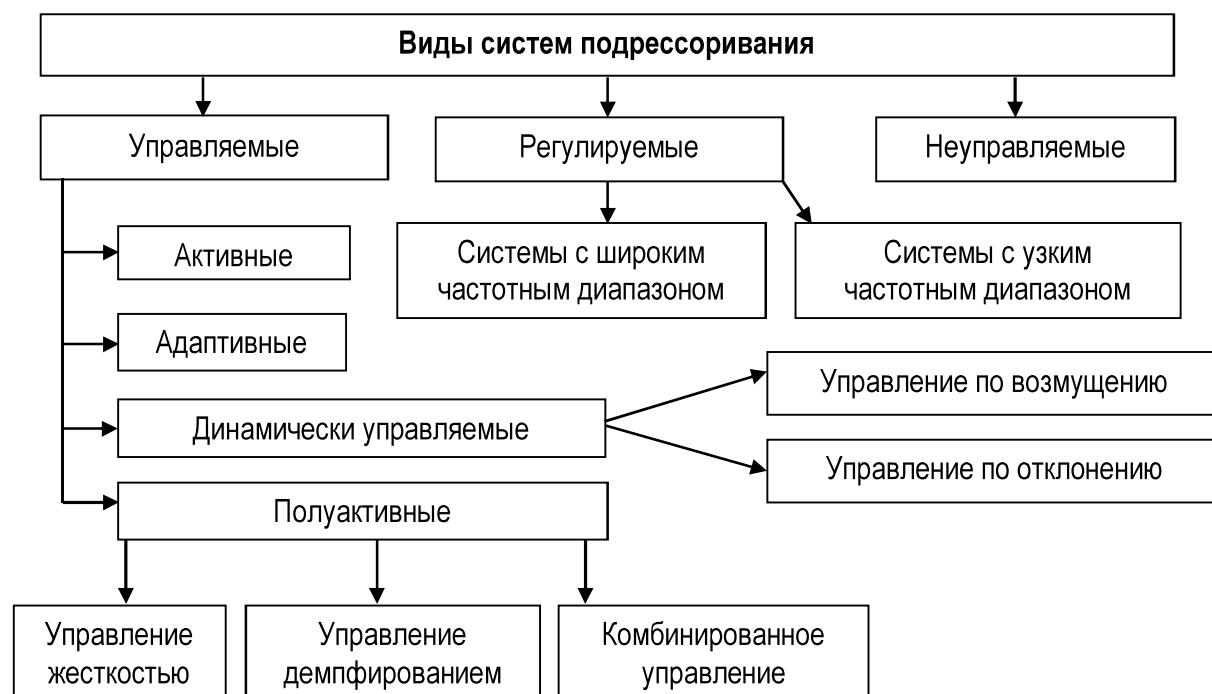
**П**овышение эффективности использования сельскохозяйственной техники связано с увеличением мощности тракторов, их скоростей движения и производительности. Однако рост энергонасыщенности, увеличение скоростей движения и мощности тракторно-транспортных агрегатов (ТТА) сопровождается повышенными уровнями вибрации, возникающей на рабочем месте оператора вследствие возмущающего воздействия неровностей опорной поверхности под колесами движителя, что, в свою очередь, ухудшает условия труда, оказывает вредное влияние на организм человека и приводит к снижению качества выполняемого технологического процесса.

Для уменьшения низкочастотных колебаний, приходящихся на ТТА, необходимо применять современные системы подпрессоривания остова, кабины и сиденья оператора, обеспечивающих повышение плавности хода и снижение вибрационного воздействия на человека [2, 4, 5].

На современном этапе развития техники большие возможности по виброзащитным свойствам имеют полуактивные и активные системы подпрессоривания, в которых основное внимание уделяется конструкции подвески сиденья. Работы по созданию данных систем ведутся как в Российской Федерации, так и за рубежом: в США, Германии, Японии и других странах [1, 9, 10]. Большинство проведенных в полевых условиях испытаний активной системы подпрессоривания сиденья трактора подтверждают ее эффективность в гашении низкочастотных колебаний до 50–60%.

Системой подпрессоривания (подвеской) называют совокупность устройств, обеспечивающих упругую связь между несущей системой и мостами или колесами транспортного средства. Подвеска предназначена главным образом для снижения интенсивности вибрации и динических нагрузок, действующих на человека, перевозимый груз и элементы конструкции при движении и особенно по неровной поверхности дороги. В то же время она должна обеспечивать постоянный контакт колеса с дорожной поверхностью и эффективно передавать ведущее усилие и тормозную силу без отклонения колес от соответствующего положения.

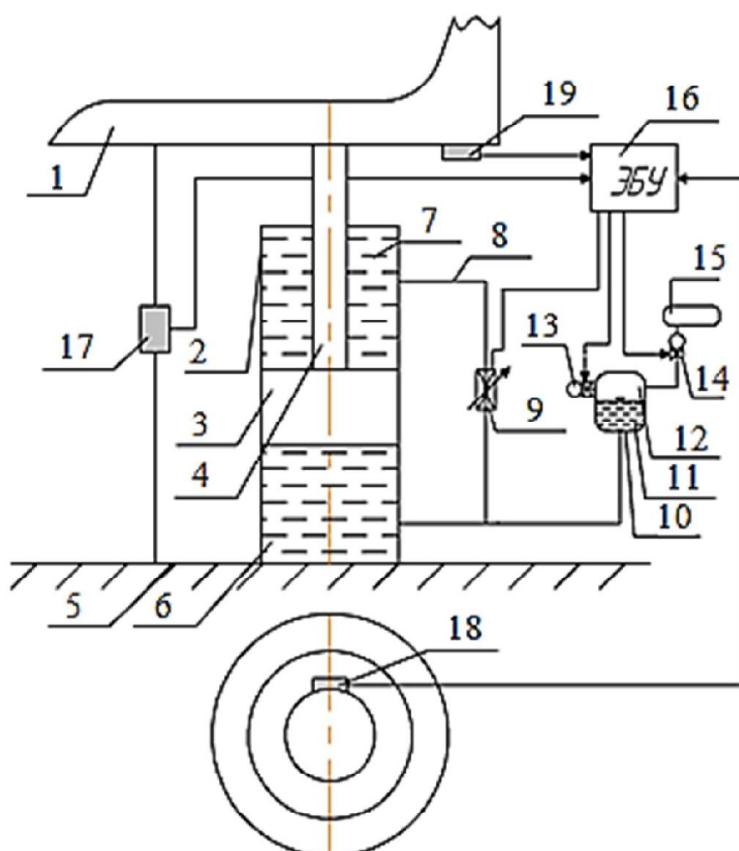
На рисунке 1 приведена классификация систем подпрессоривания ТТА.



**Рис. 1. Классификация систем подпрессоривания**

В различных опубликованных источниках информации многие исследователи отмечают, что лучшими для повышения плавности хода являются активные подвески сиденья транспортных средств [4, 5, 8].

Сотрудники кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей Воронежского государственного аграрного университета имени императора Петра I проводят теоретические и экспериментальные исследования по совершенствованию систем подрессоривания тракторно-транспортных агрегатов. Так, авторами разработана конструкция активной подвески сиденья ТТА, представленная на рисунке 2 [3].



**Рис. 2. Опытная конструкция подвески сиденья оператора ТТА**

Подвеска сиденья ТТА состоит из сиденья 1, гидроцилиндра 2, установленного между сиденьем и основанием 5. При этом шток 4 и поршень 3 жестко соединены с каркасом сиденья 1, а гидроцилиндр закреплен на основании 5. Гидроцилиндр имеет две полости 6 и 7, расположенные по обе стороны поршня. Эти полости сообщаются между собой магистралями 8 и регулируемым дросселем 9. По данной магистрали полости гидроцилиндра подключены к пневмогидравлическому аккумулятору 10, который содержит пневматическую 12 и гидравлическую 11 полости. При этом полости 6 и 7 гидроцилиндра и полость 11 пневмогидравлического аккумулятора заполнены рабочей жидкостью, а его пневматическая полость аккумулятора при помощи соленоидного клапана 14 сообщена с ресивером 15, а также имеет соленоидный клапан избыточного давления 13.

Регулируемый дроссель 9 и соленоидные клапаны 13 и 14 управляются посредством электронного блока управления (ЭБУ) 16, на который поступает сигнал от датчиков перемещения сиденья реахордного типа 17, вибрации моста 18 и датчика вибрации сиденья 19.

Устройство работает следующим образом.

В процессе работы ТТА подвеска подвергается воздействиям вибрации, передаваемой от дорожного покрытия на основание 5 и само сиденье 1. При этом происходит изменение положения самого сиденья и датчика его перемещения 17. Датчики вибрации моста 18 и сиденья передают сигналы в электронный блок управления 16, откуда после преобразования входных сигналов подается управляющий сигнал на регулируемый дроссель 9 и соленоидные клапаны 13, 14. В процессе вертикальных перемещений сиденья рабочая жидкость по магистрали 8 через регулируемый дроссель 9 перетекает между полостями 6, 7 гидроцилиндра 2 и гидравлической полостью 11 гидроаккумулятора 10. Интенсивность перетекания рабочей жидкости, а также ее количество будет зависеть от сигналов, приходящих с датчиков 17, 18 и 19 на электронный блок управления 16.

При движении сиденья 1 вверх с ЭБУ 16 подается управляющий сигнал на регулируемый дроссель 9, который открывает канал на определенную величину и рабочая жидкость из надпоршневой полости 7 частично перетекает в подпоршневую полость 6, в это же время с ЭБУ 16 подается управляющий сигнал на соленоидный клапан 14, который открывается, и из ресивера 15 в пневматическую полость 12 гидроаккумулятора 10 поступает воздух, что влечет за собой вытеснение рабочей жидкости из гидравлической полости 11 аккумулятора. Вытесненная жидкость поступает в подпоршневую полость 6 гидроцилиндра 2, за счет чего увеличивается объем жидкости. Моменты открытия соленоидов 13, 14 и регулируемого дросселя 9 устанавливаются по рациональной (оптимальной) характеристике подвески, полученной в результате расчета.

При движении сиденья вниз с ЭБУ подается управляющий сигнал на дроссель 9, и рабочая жидкость частично перетекает в надпоршневую полость 7, а частичноозвращается в гидравлическую полость 11 аккумулятора 10. Вместе с этим подается управляющий сигнал на соленоидный клапан 13, через который происходит сброс избыточного давления воздуха в пневматической полости 12 при заполнении гидравлической полости 11.

Датчик вибрации сиденья 19 служит также для отслеживания остаточной вибрации при работе системы, при подаче сигнала с него на ЭБУ будет происходить корректировка работы системы.

Давление воздуха в пневмосистеме ресивера 15 создается компрессором трактора. Жесткость активного упругого элемента меняется вследствие изменения давления воздуха. Такой способ активного изменения жесткости пневмоцилиндра 2 позволяет устранить резонансные режимы, а также устраняет пробой подвески на рабочем ходе или ходе отбоя.

В благоприятных условиях подвеска сиденья функционирует на среднем участке характеристики (полученные в результате оптимизации).

В проведенных авторами сравнительных экспериментальных исследованиях в качестве объекта был выбран тракторно-транспортный агрегат в составе трактора Беларус 1221.2 и прицепа 2ПТС-4,5. Трактор был оборудован серийной и опытной подвесками сиденья.

Сравнительные испытания ТТА проводились на транспортных операциях и при переезде искусственных неровностей [7]. При проведении полевых испытаний определяли уровни виброускорений, передаваемых на сиденье оператора, а также на передний и задний мосты трактора, с замером тягового усилия на крюке трактора. Полученные данные преобразовывали в логарифмические уровни виброускорения ( $L_a$ ), в дБ для октавных полос частот, по описанным в санитарных нормах (СН 2.2.4/2.1.8.566-96) методикам [6].

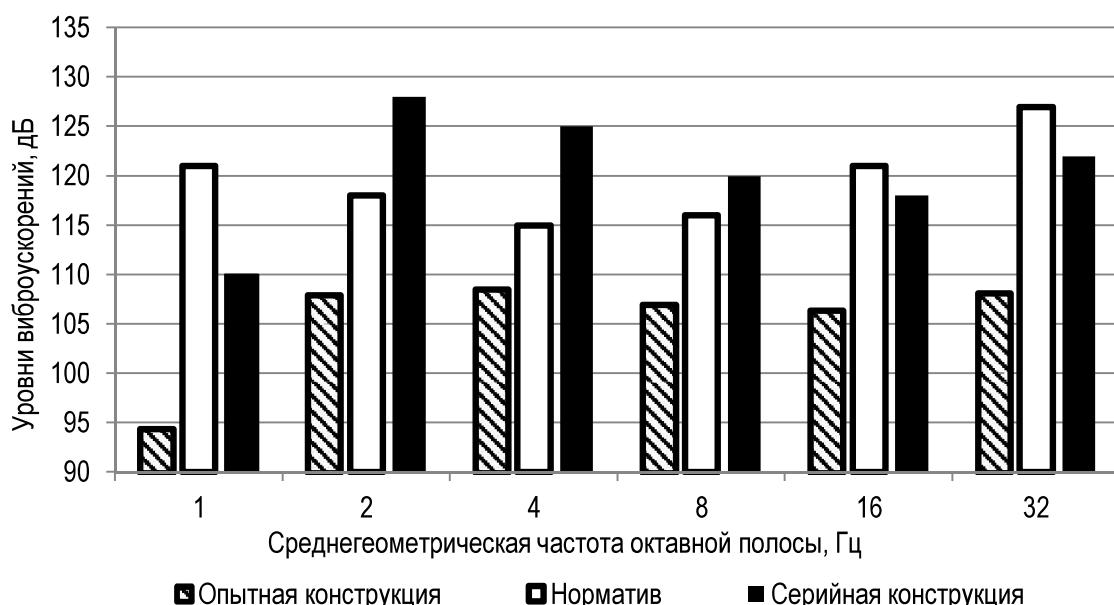
Уровень виброускорения определяется по формуле

$$L_a = 20 \cdot \lg \frac{a}{a_0},$$

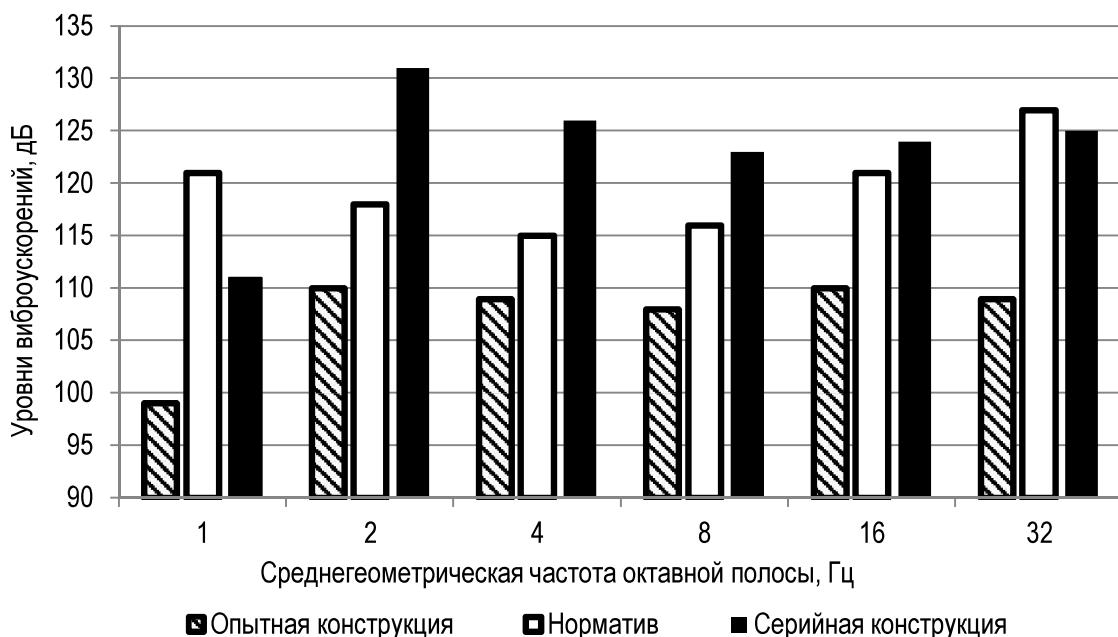
где  $a$  – среднеквадратическое значение виброускорения,  $\text{м}/\text{с}^2$ ;

$a_0$  – опорное значение виброускорения,  $\text{м}/\text{с}^2$ ,  $a_0 = 1 \cdot 10^{-6}$ .

Результаты сравнительных испытаний представлены на рисунках 3 и 4.



**Рис. 3. Сравнительные испытания вибрационной нагруженности оператора ТТА при движении по грунтовой дороге на скорости 30 км/ч**



**Рис. 4. Сравнительные испытания вибрационной нагруженности оператора ТТА при движении по грунтовой дороге на скорости 35 км/ч**

Результаты проведенных исследований свидетельствуют о том, что применение опытной конструкции подвески сиденья эффективнее в сравнении с серийной конструкцией, так как позволяет уменьшить уровни ускорений на рабочем месте оператора при движении ТТА. Максимальные уровни ускорений расположены в октавной полосе со среднегеометрической частотой 2 Гц, что обусловлено массовыми и упругими характеристиками остова и шин трактора. На представленных графиках видно, что повышение скорости движения агрегата закономерно сопровождается ростом уровня логарифмических ускорений.

### **Выводы**

1. Разработана конструкция активной подвески рабочего места оператора тракторно-транспортного агрегата, управление которой осуществляется путем микропроцессорной обработки сигналов, поступающих с датчиков перемещения сиденья и вибрации моста.
2. Применение опытной подвески сиденья при движении ТТА со скоростью 30 и 35 км/ч приводит к снижению уровней виброускорений на рабочем месте оператора в среднем на 12–18% во всех октавных полосах частот в сравнении с серийной конструкцией, что позволяет снизить вибрационную нагрузку на оператора до установленных санитарными нормами требований.

Таким образом, разработанная авторами подвеска сиденья с активным элементом позволяет обеспечить более комфортные условия работы механизатора в сравнении с серийной, а также повышает общую производительность ТТА.

## Библиографический список

1. Занько Н.Г. Безопасность жизнедеятельности : учебник для вузов / Н.Г. Занько, К.Р. Малаян, О.Н. Русак. – Санкт-Петербург : Лань, 2012. – 667 с.
2. Кутьков Г.М. Тракторы и автомобили: теория и технологические свойства : учебник / Г.М. Кутьков. – Москва : ИНФРА-М, 2016. – 506 с.
3. Пат. на полезную модель 186837 Российской Федерации, МПК В60N 2/52 (2006.01). Подвеска сиденья транспортного средства / О.И. Поливаев, А.Н. Горбулич, А.Н. Кузнецов, А.В. Лощенко ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ. – № 2018106154 ; заявл. 19.02.2018 ; опубл. 05.02.2019, Бюл. № 2. – 6 с.
4. Поливаев О.И. Вопросы оптимизации параметров сиденья тракторов / О.И. Поливаев, А.Н. Климов // Высокие технологии в экологии : труды IV международной научно-технической конференции ; Воронежское отделение Российской экологической академии. – Воронеж, 2001. – С. 51–54.
5. Поливаев О.И. Снижение транспортной вибрации операторов мобильных энергетических средств : монография / О.И. Поливаев. – Москва : РУСАЙНС, 2016. – 182 с.
6. СН 2.2.4/2.1.8.566-96 Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий. Санитарные нормы. – Введ. в действие Постановлением Госкомсанэпиднадзора России от 31 октября 1996 г. № 40. – Москва : Информационно-издательский центр Минздрава России, 1997. – 30 с.
7. Реброва И.А. Планирование эксперимента : учеб. пособие / И.А. Реброва. – Омск : СибАДИ, 2010. – 106 с.
8. Силаев А.А. Спектральная теория подпрессоривания транспортных машин / А.А. Силаев. – Москва : Машиностроение, 1972. – 192 с.
9. Троцкий В.А. Оптимальные процессы колебаний механических систем / В.А. Троцкий. – Москва : Машиностроение, 1976. – 248 с.
10. Хитерер М.Я. Синхронные электрические машины возвратно-поступательного движения / М.Я. Хитерер, И.Е. Овчинников. – Санкт-Петербург : КОРОНАпринт, 2008. – 368 с.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ Принадлежность к организации

Олег Иванович Поливаев – доктор технических наук, профессор кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: smachin@agroeng.vsau.ru.

Алексей Николаевич Кузнецов – кандидат технических наук, доцент кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: kuz-basss@yandex.ru.

Алексей Владиславович Лощенко – аспирант кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: loshenko.av@mail.ru.

Артем Викторович Горбулич – аспирант кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: smachin@agroeng.vsau.ru.

Дата поступления в редакцию 14.03.2019

Дата принятия к печати 20.04.2019

## AUTHOR CREDENTIALS Affiliations

Oleg I. Polivaev, Doctor of Engineering Sciences, Professor, the Dept. of Agricultural Machinery, Tractors and Cars, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: car205@agroeng.vsau.ru.

Alexey N. Kuznetsov, Candidate of Engineering Sciences, Docent, the Dept. of Agricultural Machinery, Tractors and Cars, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: kuz-basss@yandex.ru.

Alexey V. Loshchenko, Postgraduate Student, the Dept. of Agricultural Machinery, Tractors and Cars, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: loshenko.av@mail.ru.

Artem V. Gorbulich, Postgraduate Student, the Dept. of Agricultural Machinery, Tractors and Cars, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: smachin@agroeng.vsau.ru.

Received March 14, 2019

Accepted April 20, 2019