

4.3.1. ТЕХНОЛОГИИ, МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА (ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)

Научная статья

УДК 629.3

DOI: 10.53914/issn2071-2243_2024_2_60

EDN: ECXDXB

Совершенствование систем подвесок сидений операторов сельскохозяйственных тракторов

Олег Иванович Поливаев¹, Дмитрий Борисович Болотов^{2✉},
Алексей Владиславович Лощенко³, Аркадий Васильевич Химченко⁴,
Наталья Митрофановна Дерканосова⁵

^{1, 2, 3, 4, 5} Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I,
Воронеж, Россия

² BDB1998@yandex.ru[✉]

Аннотация. Разработка конструкции сельскохозяйственного трактора исторически велась в направлении повышения производительности и снижения себестоимости работ в соответствии с выполнением требований по агрономии, которые также менялись по мере ее развития. В последние десятилетия, помимо повышения эффективности работы мобильного энергетического средства (МЭС), стали обращать внимание на аспекты комфорта и сохранения здоровья оператора трактора. Вибрации, которые возникают в процессе передвижения МЭС по дорожному профилю, возрастают пропорционально скорости движения. Учитывая современные тенденции, направленные на увеличение рабочих скоростей движения, данная проблема в настоящее время является актуальной. С целью определения действительного уровня вибронегативности рабочего места оператора транспортного средства были проведены полевые испытания движения трактора МТЗ-82.1 на различных скоростях на грунтовой дороге. Проведенные испытания показали, что уровень виброускорений на сиденье оператора превышает допустимые значения, указанные в нормативных документах, на 12–17%. С целью снижения негативного воздействия и предупреждения профессиональных заболеваний у механизаторов разработана конструкция подвески сиденья (пат. № 211255 РФ), особенностью которой является возможность подключения или отключения от общей системы при помощи дросселей и клапанов, дополнительных гидропневматических аккумуляторов, что позволяет изменить характеристику подвески сиденья, тем самым устранив резонансные режимы и пробои. Предложенная конструкция подвески частично снижает уровень транспортной вибрации, однако за счет использования для регулирования потока рабочей жидкости механического дросселя и клапанов увеличивается время срабатывания, что приводит к пропуску колебаний на сиденье оператора. Это ухудшает условия труда оператора транспортного средства. В дальнейшем необходимо разрабатывать конструкции подвесок сиденья с активным демпфированием, которые приближают их к полуактивным и активным системам.

Ключевые слова: мобильное энергетическое средство, подвеска сиденья, уровень виброускорений, транспортная вибрация, вибронегативность оператора, транспортная скорость, виброметр

Для цитирования: Поливаев О.И., Болотов Д.Б., Лощенко А.В., Химченко А.В., Дерканосова Н.М. Совершенствование систем подвесок сидений операторов сельскохозяйственных тракторов // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2024. Т. 17, № 2(81). С. 60–67. https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2024_2_60–67.

4.3.1. TECHNOLOGIES, MACHINERY AND EQUIPMENT FOR AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX (ENGINEERING SCIENCES)

Original article

Improvement of seat suspension systems for agricultural tractor operators

Oleg I. Polivaev¹, Dmitriy B. Bolotov^{2✉}, Aleksey V. Loshchenko³,
Arkadiy V. Khimchenko⁴, Natalia M. Derkanosova⁵

^{1, 2, 3, 4, 5} Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Voronezh, Russia

² BDB1998@yandex.ru[✉]

Abstract. The development of the agricultural tractor design has historically been conducted in the direction of increasing productivity and reducing the cost of work in accordance with the requirements of agronomy, which also changed as it developed. In the past decades, in addition to improving the efficiency of the mobile energy vehicle, attention has been paid to aspects of comfort and maintaining the health of the tractor operator. The vibrations that occur during the motion of the mobile energy vehicle along the road profile increase in proportion to the motion speed. Given the current trends aimed at increasing working speeds, this problem is currently relevant. In order to determine the actual level of vibration load of the workplace of tractor operator, field tests of the movement of the MTZ-82.1 tractor at various speeds on a country road were carried out. The tests showed that the level of vibration acceleration on the operator's seat exceeds the permissible values specified in regulatory documents by 12-17%. In order to reduce the negative impact and prevent occupational diseases in tractor operators, a seat suspension design has been developed (Patent No. 211255 RF), the feature of which is the ability to connect or disconnect from the general system, using throttles and valves, additional hydropneumatic batteries, which allows changing the characteristics of the seat suspension, thereby eliminating resonant modes and breakdowns. The proposed suspension design partially reduces the level of transport vibration, however, due to the use of a mechanical throttle and valves to regulate the flow of working fluid, the response time increases, which leads to the passage of vibrations to the operator's seat. This worsens the working conditions of the vehicle operator. In the future, it is necessary to develop seat suspension designs with active damping, which brings them closer to semi-active and active systems.

Keywords: mobile energy vehicle, seat suspension, vibration acceleration level, transport vibration, operator vibration load, transport speed, vibrometer

For citation: Polivaev O.I., Bolotov D.B., Loshchenko A.V., Khimchenko A.V., Derkanosova N.M. Improvement of seat suspension systems for agricultural tractor operators. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2024;17(2):60-67. (In Russ.). https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2024_2_60-67.

Устойчиво высокие темпы прироста населения планеты при стремительном уменьшении мировых запасов минерально-сырьевых, энергетических, земельных, водных и других видов ресурсов значительно обостряют проблему обеспечения продовольствием. Актуален этот вопрос и для России.

Реализация масштабных задач, стоящих перед сельским хозяйством, предполагает повышение урожайности возделываемых сельскохозяйственных культур, преимущественно на основе дальнейшего совершенствования машинного земледелия, сохраняющего все еще свою доминирующую позицию в качестве основного источника получения продовольствия [1]. В свою очередь, основной объем энергоемких земледельческих операций в растениеводстве и внутрихозяйственных транспортных работ в течение всего сельскохозяйственного года выполняется традиционными тракторами [1, 2].

Разработка конструкции сельскохозяйственного трактора велась в направлении повышения производительности и снижения себестоимости работ в соответствии с выполнением требований по агрономии, которые также менялись по мере развития. В последние десятилетия, помимо повышения эффективности работы мобильного энергетического средства (МЭС), стали обращать внимание на аспекты комфорта и сохранения здоровья оператора трактора. Это связано в первую очередь с тем, что рабочие скорости движения машинно-тракторных агрегатов стали активно повышаться, что привело к возрастанию вибраций и колебаний, вызываемых неровностями рельефа дорожного профиля и передающихся через сиденье на оператора [1, 2].

В связи с этим большое количество технических решений направлено на улучшение условий труда. Так, рабочие места современных машин, применяемых в сельском хозяйстве, оборудуются перспективными системами для достижения максимального комфорта оператора. Устанавливаются системы кондиционирования и отопления воздуха, устройства звуко- и вибропоглощения [9, 10, 11].

Вибрация, которая возникает при работе тракторного агрегата, зависит в основном от рельефа дороги, а также крюковой нагрузки. Согласно нормативно-правовым актам, по способу передачи на человека выделяют два вида вибрации: общую и локальную. Общая вибрация передается на тело человека через опорные поверхности (ступни ног, ягодицы и др.), локальная – через конкретные участки тела, контактирующие с рабочими поверхностями, подверженными вибрации. Источники возникновения вибрации также носят различный характер, однако при рассмотрении вибрационной нагруженности оператора мобильного энергетического средства наибольший интерес представляет общая вибрация первой категории. Данная вибрация является транспортной вибрацией, которая воздействует на человека в процессе нахождения на рабочем месте транспортного средства при его движении [3, 4, 5].

Согласно СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» уровень вибрации на рабочих местах в транспортных средствах самоходных и прицепных машин должен находиться в строгом соответствии норме [6]. С целью определения действительного уровня вибронегруженности рабочего места оператора транспортного средства были проведены полевые испытания. В качестве объекта был выбран трактор МТЗ-82.1. Испытания проводились на грунтовой дороге при движении на различных скоростях.

Для измерения уровня вибронегруженности оператора мобильного энергетического средства использовался виброметр ОКТАВА 101В. Данное устройство предназначено для измерения среднеквадратичного уровня виброускорений. Исходя из результатов замеров можно оценить влияние общей, а также локальной вибрации на человека в различных условиях.

В кабине трактора, а именно на сиденье оператора, был установлен посадочный диск, необходимый для корректного распределения веса оператора, на котором жестко закреплен трехкомпонентный вибропреобразователь, подключенный через антивибрационный кабель к измерительно-индикаторному блоку (рис. 1).

Сравнительные испытания проводили на одном и том же участке, который был определен с точки зрения реальных условий работы колесного трактора. Участок был ограничен вешками, контрольные параметры фиксировали при различных скоростях движения. Эксперименты проводили в светлое время суток, температура окружающего воздуха находилась в диапазоне от +20 до +25°C. На передней оси трактора МТЗ-82.1 были установлены шины 11.2-20, а на задней – 15,5-38 фирмы Belshina. Давление в передних и задних шинах равнялось соответственно 1,75 и 1,3 атм. Сиденье оператора транспортного средства было отрегулировано в соответствии с массой водителя. Частота вращения двигателя была установлена постоянной и равнялась номинальной частоте вращения 2200 мин⁻¹. Это было сделано по причине того, чтобы вибрации, создаваемые двигателем и передаваемые на оператора транспортного средства, были равны и не оказывали сильного искажения результатов испытаний. Различные значения скоростей достигались за счет выбора нужного диапазона и передачи [8]. Для более объективной оценки вибронегруженности и исключения пиковых значений при обработке данных использовались среднеквадратичные значения.

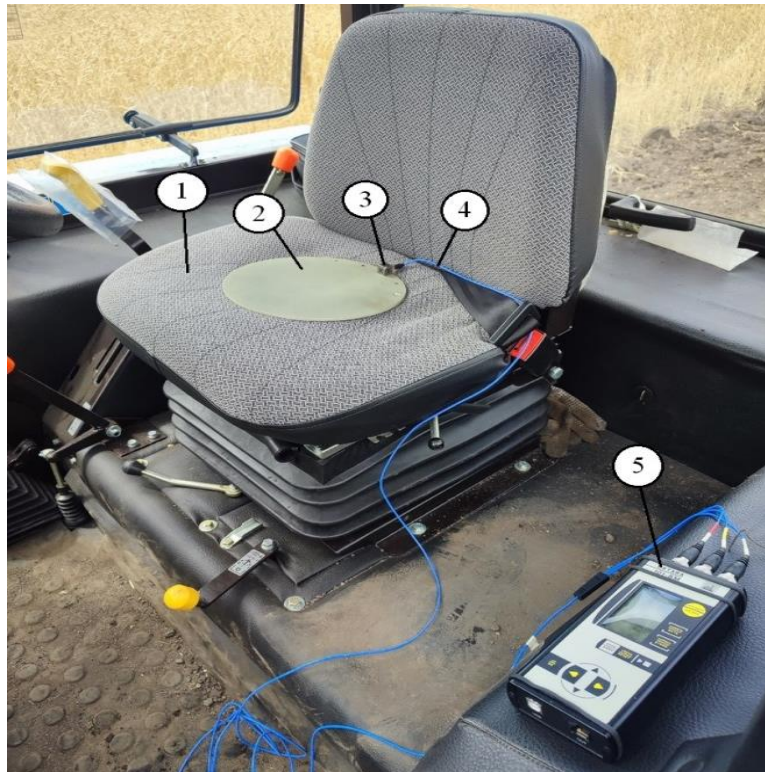


Рис 1. Рабочее место оператора трактора МТЗ 82.1 с установленным измерительным оборудованием: 1 – сиденье механизатора; 2 – посадочный диск; 3 – трехкомпонентный вибропреобразователь; 4 – антивибрационный кабель; 5 – виброметр ОКТАВА 101В

При оценивании общего уровня вибрации оси ортогональной системы координат направлены следующим образом:

- ось X_o – от спины к груди;
- ось Y_o – от правого бока к левому;
- ось Z_o – от ног (ягодиц) к голове (рис. 2).

Прибор ОКТАВА 101В, которым производились замеры транспортной вибрации, выводит данные скорректированного уровня виброускорений в дБ, разделенные по осям координат.

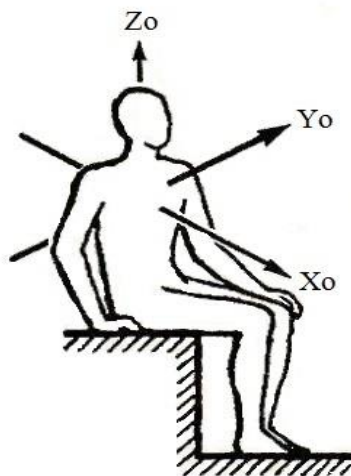


Рис. 2. Направления воздействия общей транспортной вибрации

Сравнительные результаты полевых испытаний трактора МТЗ-82.1 на грунтовой дороге при движении на скорости от 3 до 25 км/ч приведены на рисунках 3, 4 и 5.

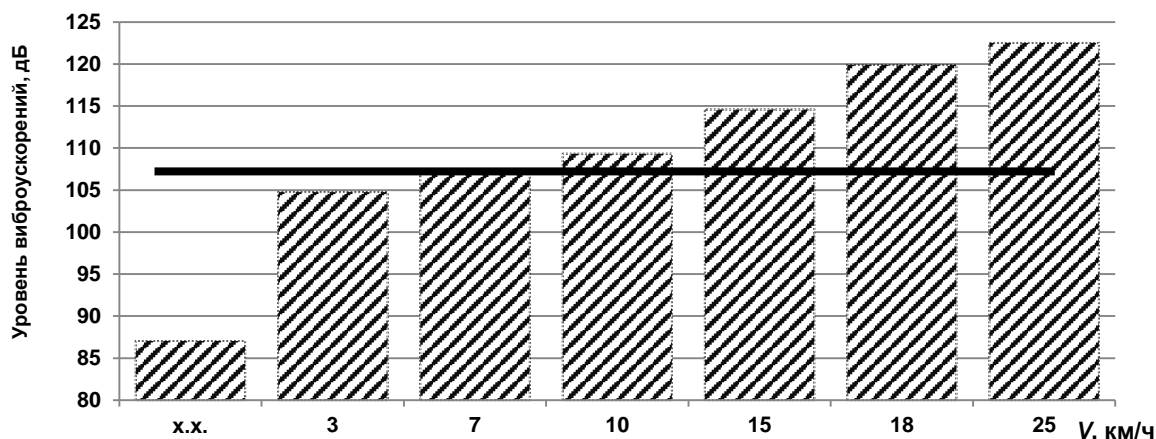


Рис. 3. Эквивалентный корректированный уровень виброускорений на сиденье оператора по оси X_0

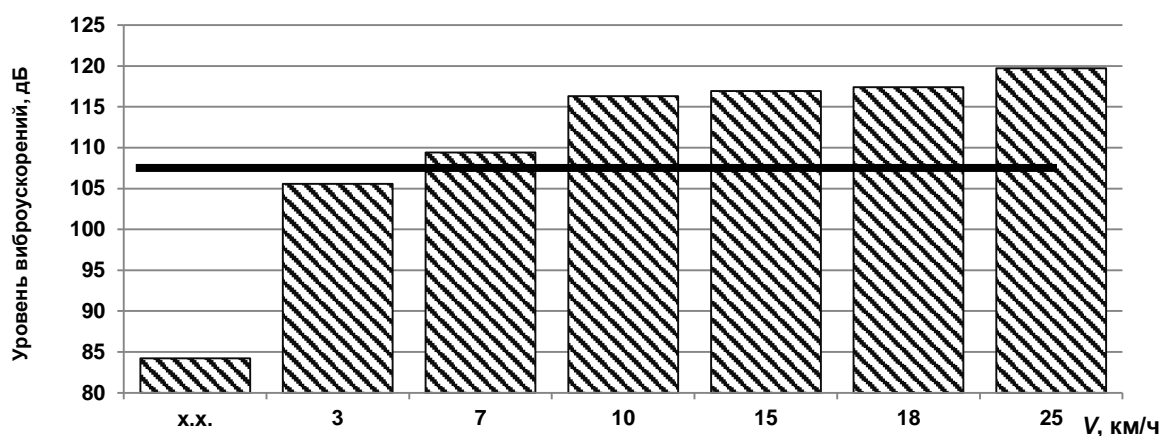


Рис. 4. Эквивалентный корректированный уровень виброускорений на сиденье оператора по оси Y_0

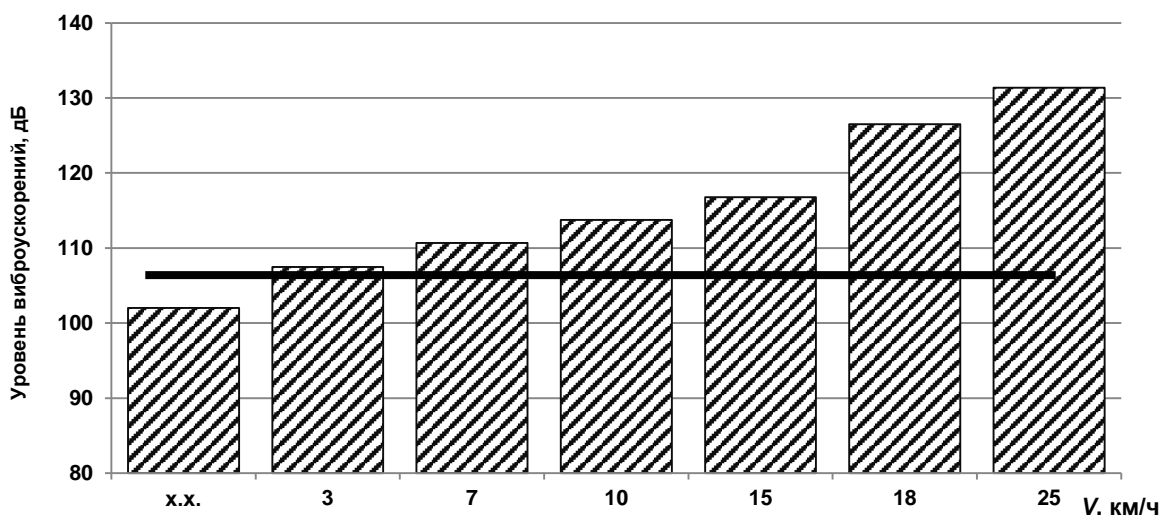


Рис. 5. Эквивалентный корректированный уровень виброускорений на сиденье оператора по оси Z_0

Согласно СанПиН 1.2.3685-21 уровень общей транспортной вибрации на рабочих местах в транспортных средствах не должен превышать 112 дБ для направления действия по осям X_0 и Y_0 , а по оси Z_0 – 115 дБ [10].

Результаты испытаний показывают, что при движении трактора МТЗ-82.1 по грунтовой дороге, при скорости более 15 км/ч, на всех направлениях действия вибрации наблюдается повышенный эквивалентный уровень виброускорений. При скорости

движения 25 км/ч уровень транспортной вибрации на месте оператора транспортного средства превышает максимально допустимое значение на 12–17%. Данный фактор негативно влияет на здоровье оператора мобильного энергетического средства, что приводит к возникновению профессиональных заболеваний. Однако низкочастотные колебания на рабочем месте оператора трактора можно снизить либо за счет поддрессовывания остова транспортного средства, кабины, либо применения подвесок сиденья. В настоящее время наиболее эффективным способом является применение подвесок сиденья оператора транспортного средства.

Проанализировав недостатки известных конструкций подвесок сиденья оператора транспортного средства, авторы разработали подвеску сиденья транспортного средства (рис. 6) [7], отличительной особенностью конструкции которой является использование нескольких гидропневматических аккумуляторов, связанных с гидроцилиндром посредством регулируемых дросселей.

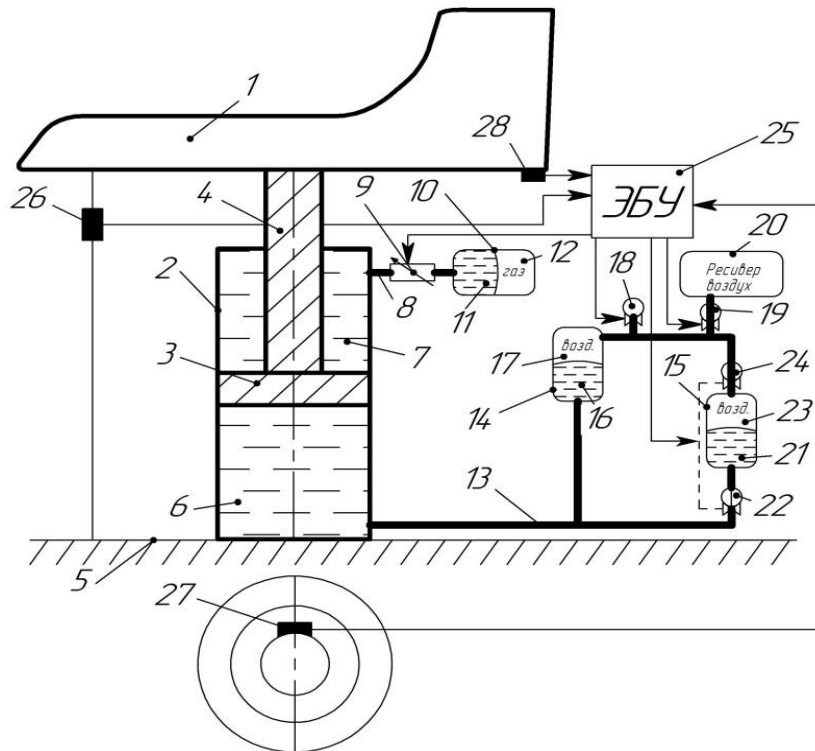


Рис. 6. Схема разработанной конструкции подвески сиденья оператора: 1 – сиденье; 2 – гидроцилиндр; 3 – поршень; 4 – шток; 5 – основание подвески; 6, 7 – поршневая и штоковая полости гидроцилиндра; 8, 13 – гидромагистраль; 9 – регулируемый дроссель; 10, 14, 15 – гидропневматические аккумуляторы; 11, 16, 21 – гидравлические полости; 12, 17, 23 – пневматические полости; 18, 19 – клапаны сброса и нагнетания давления; 20 – ресивер; 22, 24 – блокировочные клапаны; 25 – ЭБУ; 26, 27, 28 – датчики перемещения сиденья, виброускорений моста, виброускорений сиденья

Принцип действия разработанной конструкции подвески сиденья оператора мобильного энергетического средства следующий. При посадке водителя в кабину происходит калибровка системы и установка сиденья в центральное положение путем компенсации гидроаккумуляторами и ресивером веса оператора.

В процессе движения транспортного средства подвеска сиденья подвергается воздействию вибрации, которая возникает от преодоления неровностей дорожного профиля. Датчик виброускорений, установленный на переднем мосту транспортного средства, регистрирует колебания моста и передает сигнал на электронный блок управления (ЭБУ). Произведя обработку входящей информации согласно заложенному алгоритму, ЭБУ формирует управляющий сигнал, который подается на клапаны и регули-

руемый дроссель, изменяя его проходное сечение, что позволяет изменять демпфирующие свойства подвески в зависимости от амплитуды и частоты колебаний.

При работе с малыми и средними значениями колебаний ЭБУ формирует управляющий сигнал, который воздействует на клапаны гидропневматических аккумуляторов для поддержания оптимальной жесткости подвески, а также корректирует проходное сечение регулируемого дросселя с целью изменения жесткости подвески сиденья оператора ТС. Это позволяет регулировать демпфирование, а также устранять возможные пробои подвески. При переезде транспортным средством препятствий возникают повышенные колебания трактора, следовательно, и подвески сиденья. В данном случае ЭБУ подает электронный сигнал и перекрывает клапаны на одном из гидропневматических аккумуляторов подпоршневой полости, отключая его от общей системы. За счет этого в работе остается только один гидропневматический аккумулятор, что позволяет увеличить жесткость подвески и резко изменить ее характеристику, не допустив пробоев подвески. Также за счет данной конструктивной особенности устраняются резонансные режимы, которые могут образовываться вследствие совпадения собственной частоты колебаний с частотой внешних воздействий.

Результаты испытаний, проведенных на тракторе МТЗ 82.1 при движении по грунтовой дороге на транспортной скорости, показали, что серийная подвеска сиденья транспортного средства не отвечает СанПиН 1.2.3685-21 и при скорости движения свыше 15 км/ч максимально допустимые значения уровня общей транспортной вибрации превышаются на 12–17%.

Конструкция по патенту РФ на полезную модель № 211255 частично снижает уровень транспортной вибрации, однако за счет использования для регулирования потока рабочей жидкости механического дросселя и клапанов увеличивается время срабатывания, что приводит к пропуску колебаний на сиденье оператора и ухудшает условия труда оператора транспортного средства. В дальнейшем необходимо разрабатывать конструкции подвесок сиденья с активным демпфированием, что приближает их к полупассивным и активным системам.

Список источников

1. Даминов А., Абдазимов А.Д. Краткий анализ эволюции технической концепции сельскохозяйственного трактора [Электронный ресурс] // Universum: технические науки: электронный научный журнал. 2022. № 5(98). URL: <https://universum.com/ru/tech/archive/item/13755> (дата обращения: 29.01.2024).
2. Дидманидзе О.Н., Девянин С.Н., Парлюк Е.П. Трактор сельскохозяйственный: вчера, сегодня, завтра // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020. Т. 21, № 1. С. 74–85. DOI: 10.30766/2072-9081.2020.21.1.74-85.
3. Годжаев З.А., Годжаев Т.З., Ляшенко М.В. и др. Сравнительный анализ российских и зарубежных нормативных требований к виброзащите оператора трактора // Известия МГТУ «МАМИ». 2021. Т. 15, № 2(48). С. 2–8. DOI: 10.31992/2074-0530-2021-48-2-2-8.
4. Годжаев З.А., Ляшенко М.В., Шеховцов В.В. и др. Вибронагруженность рабочего места оператора и виброзащитные свойства подвесок сидений // Известия МГТУ «МАМИ». 2021. Т. 15, № 1(47). С. 2–11. DOI: 10.31992/2074-0530-2021-47-1-2-11.
5. ГОСТ 20062-96. Сиденье тракторное. Общие технические условия. Москва: Стандартинформ, 2000. 13 с.
6. О введении в действие СанПиН 1.2.3685-21. «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»: постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28.01.2021 № 2 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.eisspb.ru/files/SanPiN2.1.3685-21Hygienicstandards.pdf> (дата обращения: 24.01.2024).
7. Подвеска сиденья транспортного средства с активным демпфированием: пат. на полезную модель № 211255 Рос. Федерация. № 2022104102; заявл. 15.02.2022; опубл. 26.05.2022, Бюл. № 5. 8 с.
8. Поливаев О.И., Костиков О.М. Испытание сельскохозяйственной техники и энергосиловых установок: учебное пособие для вузов. Санкт-Петербург: Лань, 2022. 280 с.
9. Устинов Ю.Ф., Калинин Ю.И., Ульянов А.В. и др. Улучшение виброакустических параметров транспортно-технологических машин // Высокие технологии в строительном комплексе. 2021. № 1. С. 172–176.
10. Fischer D, Isermann R. Mechatronic semi-active and active vehicle suspensions // Control Engineering Practice. 2004. Vol. 12(11), Pp. 1353–1367. DOI: 10.1016/j.conengprac.2003.08.003.
11. Du H., Yim Sze K., Lam J. Semi-active control of vehicle suspension with magneto-rheological dampers // Journal of Sound and Vibration. 2005. Vol. 283(3-5). Pp. 981–996. DOI: 10.1016/j.jsv.2004.05.030.

References

1. Daminov A., Abdazimov A.D. Brief analysis of the evolution of the technical concept of the agricultural tractor. *Universum: Engineering Sciences*. 2022;5(98). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/13755>. (In Russ.).
2. Didmanidze O.N., Devyanin S.N., Parlyuk E.P. Past, present, future of agricultural tractors. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2020;21(1):74-85. DOI: 10.30766/2072-9081.2020.21.1.74-85. (In Russ.).
3. Godzhaev Z.A., Godzhaev T.Z., Lyashenko M.V. et al. Comparative analysis of Russian and foreign regulatory requirements for vibration protection of a tractor operator. *Izvestiya MGTU «MAMI»*. 2021;15(2):2-8. DOI: 10.31992/2074-0530-2021-48-2-2-8. (In Russ.).
4. Godzhaev Z.A., Lyashenko M.V., Shekhovtsov V.V. et al. Vibration levels of operator's workplace and vibration protection characteristics of seat suspensions. *Izvestiya MGTU «MAMI»*. 2021;15(1):2-11. DOI: 10.31992/2074-0530-2021-47-1-2-11. (In Russ.).
5. GOST 20062-96. Tractor seat. General specifications. Moscow: Standartinform Press; 2000. 13 p. (In Russ.).
6. On the introduction of SanPiN 1.2.3685-21. "Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of environmental factors for humans": Resolution of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation No. 2 of 28.01.2021. URL: <https://www.eisspb.ru/files/SanPiN2.1.3685-21Hygienicstandards.pdf>. (In Russ.).
7. Vehicle seat suspension with active damping: Utility Model Patent 211255 Russian Federation. No. 2022104102; claimed 15.02.2022; published 26.05.2022, Bulletin 5. 8 p. (In Russ.).
8. Polivaev O.I., Kostikov O.M. Testing of agricultural machinery and power plants: study guide for universities. St. Petersburg: Lan' Publihers; 2022. 280 p. (In Russ.).
9. Ustinov Yu.F., Kalinin Yu.I., Ulyanov A.V. et al. Improvement of vibroacoustic parameters of transport and technological machines. *High Technologies in Construction Complex*. 2021;1:172-176. (In Russ.).
10. Fischer D, Isermann R. Mechatronic semi-active and active vehicle suspensions. *Control Engineering Practice*. 2004;12(11):1353-1367. DOI: 10.1016/j.conengprac.2003.08.003.
11. Du H., Yim Sze K., Lam J. Semi-active control of vehicle suspension with magneto-rheological dampers. *Journal of Sound and Vibration*. 2005;283(3-5):981-996. DOI: 10.1016/j.jsv.2004.05.030.

Информация об авторах

О.И. Поливаев – доктор технических наук, профессор кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Polivaevoi@icloud.com.

Д.Б. Болотов – аспирант кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», BDB1998@ya.ru.

А.В. Лощенко – кандидат технических наук, доцент кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», loshenko.av@mail.ru.

А.В. Химченко – кандидат технических наук, доцент кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», himch.arkady@yandex.ru.

Н.М. Дерканосова – доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой товароведения и экспертизы товаров ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», kommerce05@list.ru.

Information about the authors

O.I. Polivaev, Doctor of Engineering Sciences, Professor, the Dept. of Agricultural Machinery, Tractors and Cars, Voronezh State Agrarian University named after Peter the Great, polivaevoi@icloud.com.

D.B. Bolotov, Postgraduate Student, the Dept. of Agricultural Machinery, Tractors and Cars, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, BDB1998@ya.ru.

A.V. Loschenko, Candidate of Engineering Sciences, Docent, the Dept. of Agricultural Machinery, Tractors and Cars, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, loshenko.av@mail.ru.

A.V. Khimchenko, Candidate of Engineering Sciences, Docent, the Dept. of Agricultural Machinery, Tractors and Cars, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, himch.arkady@yandex.ru.

N.M. Derkanosova, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Dept. of Merchandizing and Expert Examination of Goods, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, kommerce05@list.ru.

Статья поступила в редакцию 21.04.2024; одобрена после рецензирования 26.05.2024; принята к публикации 06.06.2024.

The article was submitted 21.04.2024; approved after reviewing 26.05.2024; accepted for publication 06.06.2024.

© Поливаев О.И., Болотов Д.Б., Лощенко А.В., Химченко А.В., Дерканосова Н.М., 2024
