

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СУЩЕСТВУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ВИБРОЗАЩИТЫ РАБОЧЕГО МЕСТА ВОДИТЕЛЯ КОЛЕСНОГО ТРАКТОРА ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ПОЛЕВЫХ РАБОТ

Д. А. ЛИННИК

Гродненский государственный университет имени Янки Купалы,
г. Гродно, Республика Беларусь, 230023

(Поступила в редакцию 03.04.2023)

Во многих развивающихся странах сельскохозяйственные тракторы используются для различных полевых работ (например, вспашка пласта многолетних трав, вспашка стерни, сплошная культивация, комбинированная обработка почвы, лушение и дискование стерни и многолетних трав, предпосевная обработка почвы с посевом сельскохозяйственных культур, внесение минеральных удобрений, внесение органических удобрений, кошение трав с измельчением и подачей в транспортное средство и другие) и транспортировки по сельским дорогам, где оператор подвергается различного рода вредным воздействиям от физических нагрузок, неблагоприятного микроклимата, различных загрязнений (пыль, выхлопные газы, химикаты), высоких или низких температур, шума и вибрации.

Вибрации являются одним из факторов, в наибольшей степени влияющих на здоровье и условия комфорта, обусловленные характеристиками и взаимодействием конкретных частей трактора (шины, мосты, шасси, кабина).

Нарушения здоровья, как правило, проявляются постепенно, обычно через два-семь лет на рабочих местах, где операторы подвергаются воздействию этих вибраций. Все это делает необходимым точное измерение вибраций, их оценку и оценку реального риска для здоровья операторов. На основе этих данных можно разработать системы безопасности, способные снизить уровень вибрации.

Сохранение здоровья и комфорт водителей сельскохозяйственных тракторов представляют собой важные аспекты эволюции сельскохозяйственной техники, которые привели к разработке устройств, направленных на улучшение условий труда, таких как шумоизоляционная кабина, подвеска сиденья водителя и кабины колесного трактора, которые в настоящее время широко используются в тракторах.

В данной статье предлагается оценка эффективности существующей системы виброзащиты рабочего места водителя по измеренным среднеквадратическим значениям скорректированного виброускорения в вертикальном направлении в третьоктавных полосах частот на полу кабины и подушке сиденья для серии из N выборок в течение 8 часового рабочего дня при внесении органических удобрений на поля колесным трактором «Беларус-3022ДЦ.1» с полуприцепом ПСС-20. Приводится анализ результатов исследований.

Ключевые слова: колесный трактор, пол кабины, подушка сиденья, водитель, вибрация, скорректированное виброускорение, третьоктавные полосы частот.

In many developing countries, agricultural tractors are used for a variety of field work (e.g., plowing a layer of perennial grasses, plowing stubble, continuous cultivation, combined tillage, peeling and disking stubble and perennial grasses, pre-sowing tillage with crop sowing, applying mineral fertilizers, applying organic fertilizers, grass mowing with grinding and feeding into a vehicle, etc.) and transportation on rural roads, where the operator is exposed to various kinds of harmful effects from physical exertion, unfavorable microclimate, various pollution (dust, exhaust gases, chemicals), high or low temperatures, noise and vibration.

Vibrations are one of the factors that most affect health and comfort conditions due to the characteristics and interaction of specific parts of the tractor (tyres, axles, chassis, cab).

Health problems tend to show up gradually, usually after two to seven years in workplaces where operators are exposed to these vibrations. All this makes it necessary to accurately measure vibrations, evaluate them and assess the real risk to the health of operators. Based on this data, safety systems can be developed that can reduce vibration levels.

Maintaining the health and comfort of agricultural tractor drivers are important aspects of the evolution of agricultural machinery, which have led to the development of devices aimed at improving working conditions, such as a noise-insulated cab, suspensions of driver's seat and wheeled tractor cabs, which are now widely used in tractors.

This article proposes an assessment of the effectiveness of the existing vibration protection system for the driver's workplace based on the measured root-mean-square values of the corrected vibration acceleration in the vertical direction in one-third octave frequency bands on the cab floor and seat cushion for a series of N samples during an 8-hour working day when organic fertilizers are applied to the fields by a wheeled tractor "Belarus-3022DTs.1" with semi-trailer PSS-20. The analysis of research results is given.

Key words: wheeled tractor, cab floor, seat cushion, driver, vibration, corrected vibration acceleration, one-third octave frequency bands.

Введение

В последние годы, помимо эксплуатационных характеристик, внимание производителей сельскохозяйственной техники все больше сосредоточивается на аспектах комфорта и сохранения здоровья оператора, что привело к внедрению устройств и инструментов, способных значительно улучшить условия труда. Например, кабины современных сельскохозяйственных тракторов, как правило, оснащены кондиционерами, системами звукоизоляции и сиденьями водителя с подвесками различного конструктивного исполнения. Вибрации, передающиеся на все тело водителя, являются одним из факторов, в наибольшей степени влияющих на здоровье и комфорт. Они являются результатом характеристик таких элементов, как кабина, шины, шасси, осей и подвесок сидений, которые по-разному взаимодействуют в зависимости от внешних условий (неровностей почвы, уклона, вида сельскохозяйственной операции, скорости движения и т. д.) [1].

Низкочастотные вибрации, производимые сельскохозяйственными транспортными средствами, могут быть чрезвычайно сильными в зависимости от местности, через которую проходит сельскохозяйственное транспортное средство, и скорости движения транспортного средства [2; 3]. По сравнению с прогрессом, достигнутым за последние десятилетия в улучшении характеристик сельскохозяйственных тракторов (мощность, трансмиссия, электроника), защита водителя от вибрации остается недостаточной. Это связано с тем, что, как правило, сельскохозяйственные тракторы не имеют подвески шасси, а шины, которые являются относительно гибкими и слабо демпфированными, являются единственной системой подвески [4; 5]. Это объясняет, почему водитель колесного трактора подвергается воздействию низкочастотных вибраций высокой амплитуды, которые являются важным фактором риска возникновения болей в пояснице [6]. Чтобы снизить риск для здоровья и дискомфорта для водителя, а также дать возможность водителю работать быстрее, важно максимально изолировать водителя от вибрации [7].

Относительно сидящих операторов в стандарте ISO 5008/2002 дополнительно указывается, что вибрация всего тела – это вибрация, передаваемая телу в целом через ягодицы сидящего оператора. Воздействие высоких уровней вибрации всего тела может вызвать или усугубить травмы спины. Такие риски наиболее значительны, когда величины вибрации высоки, длительность воздействия становится большой, частой и регулярной, и, кроме того, вибрация включает в себя сильные удары или толчки [8; 9].

В [10; 11] отражены нормативное скорректированное эквивалентное значение виброускорения при длительности вибрационного воздействия 8 ч – $0,5 \text{ м/с}^2$, допустимое значение – $0,8 \text{ м/с}^2$, предельное значение – $1,15 \text{ м/с}^2$.

Вибрация всего тела, которую испытывают трактористы, вызывается навесными орудиями и взаимодействием колесного трактора с обрабатываемой поверхностью земли. Пол кабины трактора, рычаги управления, подушка сиденья, спинка сиденья и рулевое колесо являются одними из мест контакта, где вибрация передается на тело водителя колесного трактора. Эти вибрации могут вызывать у людей дискомфорт, а иногда и проблемы со здоровьем. Несколько исследований показали, что водители колесных тракторов часто подвергаются воздействию вибрации, уровень которой превышает нормативное значение вибрационного воздействия ($0,5 \text{ м/с}^2$), установленное в Директиве 2002/44/ЕС [11]. Высокие уровни вибрационного воздействия тесно связаны с рядом заболеваний, включая заболевания опорно-двигательного аппарата (например, боль в спине), утомляемость (например, мышечную усталость), физиологические проблемы (например, концентрация внимания, сонливость) и проблемы с нервной системой (например, синдром запястного канала) [12].

Организм человека представляет собой сложную механическую систему, состоящую из множества линейных и нелинейных элементов, имеющих значительные индивидуальные различия. Частоты вертикальных колебаний некоторых частей тела человека можно принять с соответствующими приближениями, например: голова – 25 Гц, плечи – 4–5 Гц, грудь – 60 Гц, позвоночник – 10–12 Гц, живот – 4–8 Гц, бедра – 50–200 Гц, локти – 16–30 Гц, глазница – 30–80 Гц [13].

Устранить многие факторы, порождающие вибрации, которые через гибкие и полугибкие соединения и крепления передаются на сиденье водителя, сложно, но снизить уровень вибрации различными конструкциями, безусловно, возможно. Известные мировые производители тракторов (Class, Fendt, CAT, Case, John Deere, New Holland, JCB, Massey Ferguson) посвятили себя решению этих проблем и явно повысили безопасность и комфорт водителей во всех аспектах [14].

Производители тракторов стараются улучшить санитарно-гигиенические и комфортные условия в своей продукции за счет разработки и внедрения новых устройств. Среди них, например, можно выделить кабину трактора, оснащенную автоматической системой самовыравнивания, целью которой является изменение положения кабины и удержание водителя в правильном положении во время сельскохозяйственных операций [1].

В стремлении обеспечить оптимальные условия труда сиденье, вероятно, является ключевым фактором защиты водителя от вибраций. Вместе с подвеской оно должно поглощать вибрации и обеспечивать водителю оптимальный комфорт. Длительное воздействие низкочастотной вибрации на организм водителя ведет к развитию вибрационной болезни, которая доминирует среди профессиональных заболеваний и чаще встречается у рабочих, занятых в сельском хозяйстве, на транспорте и в других отраслях народного хозяйства. Поэтому снижение влияния вибрации на организм водителя колесного трактора является приоритетным направлением научных исследований [15].

Цель исследования заключается в оценке эффективности существующей системы виброзащиты рабочего места водителя колесного трактора при выполнении полевых работ (внесение органических удобрений на поля) по измеренным среднеквадратическим значениям скорректированного виброускорения в вертикальном направлении в третьоктавных полосах частот на полу кабины и подушке сиденья колесного трактора «Беларус-3022ДЦ.1» с полуприцепом ПСС-20.

Основная часть

Экспериментальные исследования проводили с целью оценки эффективности существующей системы виброзащиты рабочего места водителя по измеренным среднеквадратическим значениям скорректированного виброускорения в вертикальном направлении в третьоктавных полосах частот на полу кабины и подушке сиденья для серии из N выборок в течение 8 часового рабочего дня при внесении органических удобрений на поля колесным трактором «Беларус-3022ДЦ.1» с полуприцепом ПСС-20.

Объектом исследования был выбран колесный трактор «Беларус-3022ДЦ.1» с полуприцепом ПСС-20.

Оценка длительности воздействия вибрации на водителя колесного трактора в течение рабочего дня основана на фактическом измерении длительности вибрационного воздействия во время выполнения конкретных рабочих циклов с учетом их повторяемости в течение рабочего дня. Полученные результаты измерений усредняли. Усредненное среднеквадратическое значение скорректированного виброускорения для серии из N выборок определяли по ГОСТ 31319-2006 (ЕН 14253:2003) [9; 16].

Рабочие условия и испытательные участки определены с точки зрения реальных условий работы колесного трактора. Варьируемым параметром, определяющим рабочие условия, служила скорость передвижения колесного трактора в заданном режиме работы. Режим работы определяли исходя из вида выполняемых работ. В нашем случае – это работа по внесению органических удобрений на поля колесным трактором «Беларус-3022ДЦ.1» с полуприцепом ПСС-20 (рис. 1).



Рис. 1. Внесение органических удобрений на поля:

а) внешний вид колесного трактора «Беларус-3022ДЦ.1» с полуприцепом ПСС-20; б) испытательные участки на поле

Экспериментальные исследования проводились в светлое время суток на определенных естественных участках испытательного пути (рис. 1). Температура окружающего воздуха находилась в пределах от $+5$ до $+7^{\circ}\text{C}$. Продолжительность рабочего дня, в нашем случае, составляла 8 часов.

Испытательные участки выбирали таким образом, чтобы длина пути на этом участке, где оценивали общую вибрацию, была достаточной для передвижения колесного трактора с постоянной скоростью в течение не менее 3 минут [16; 17].

Измерение среднеквадратических значений скорректированного виброускорения на рабочем месте водителя осуществляли в соответствии с ГОСТ 31319-2006 (ЕН 14253:2003) [16], ГОСТ 31193-2004 (ЕН 1032:2003) [17], ГОСТ 31191.1-2004 (ИСО 2631-1:2003) [18].

Оценку воздействия вибрации на водителя колесного трактора «Беларус-3022ДЦ.1» осуществляли путем непрерывного измерения вибрации в течение всего рабочего дня с использованием современной измерительной техники (рис. 2).

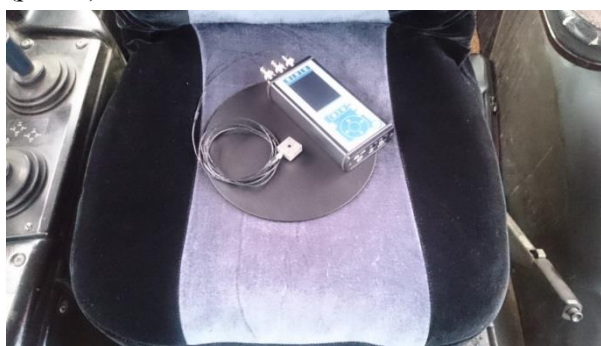


Рис. 2. Рабочее место водителя колесного трактора и шумомер-вибромметр, анализатор спектра ЭКОФИЗИКА-110А (НФ-Белая) с трехкомпонентным датчиком АР2038Р-10

Для измерения среднеквадратических значений скорректированного виброускорения на рабочем месте водителя колесного трактора были выбраны места установки датчика AP2038P-10: подушка сиденья и опорная поверхность для ног (пол кабины) [16–18].

На момент проведения экспериментальных исследований на передней оси колесного трактора «Беларус-3022ДЦ.1» были установлены шины 540/65 R30 фирмы «BELSHINA», а на задней оси – 650/65 R42 фирмы «Cultor» (Чехия). Внутреннее давление воздуха в передних шинах составляло 2,1 МПа, а в задних – 2,2 МПа. Сиденье было отрегулировано по массе водителя с учетом условий работы колесного трактора. Неправильная регулировка сиденья может привести к увеличению вибрации в вертикальном направлении.

В результате проведенных экспериментальных исследований были измерены среднеквадратические значения скорректированного виброускорения в вертикальном направлении в третьоктавных полосах частот на полу кабины и подушке сиденья для серии из N выборок в течение 8 часового рабочего дня при внесении органических удобрений на поля колесным трактором «Беларус-3022ДЦ.1» с полуприцепом ПСС-20 (рис. 1) со скоростями передвижения: 5 км/ч, 7 км/ч и 9 км/ч (рис. 3–5).

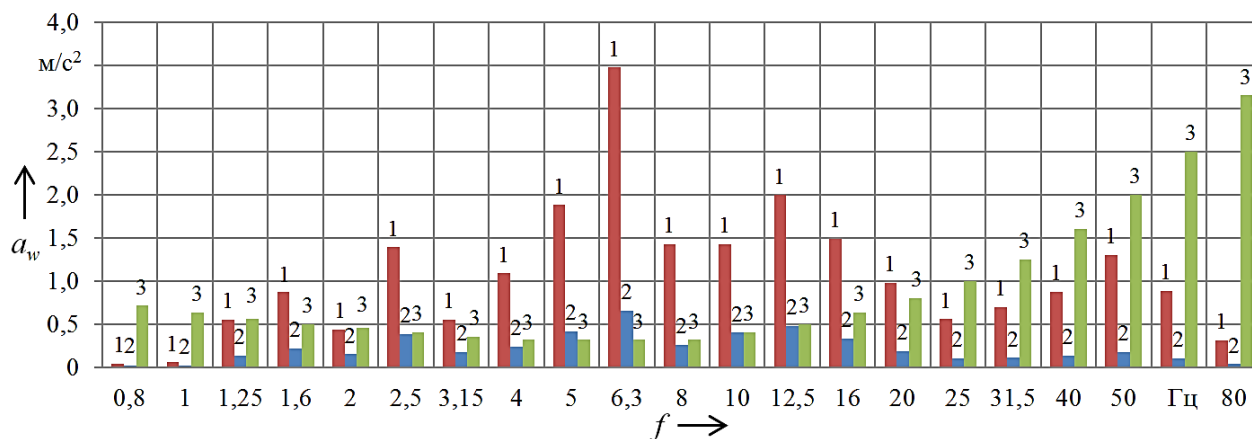


Рис. 3. Среднеквадратические значения скорректированного виброускорения на рабочем месте водителя при внесении органических удобрений на поля колесным трактором «Беларус-3022ДЦ.1» с полуприцепом ПСС-20 со скоростью передвижения 5 км/ч: 1 – пол кабины; 2 – подушка сиденья; 3 – СНиП от 26.12.2013 № 132 [19]

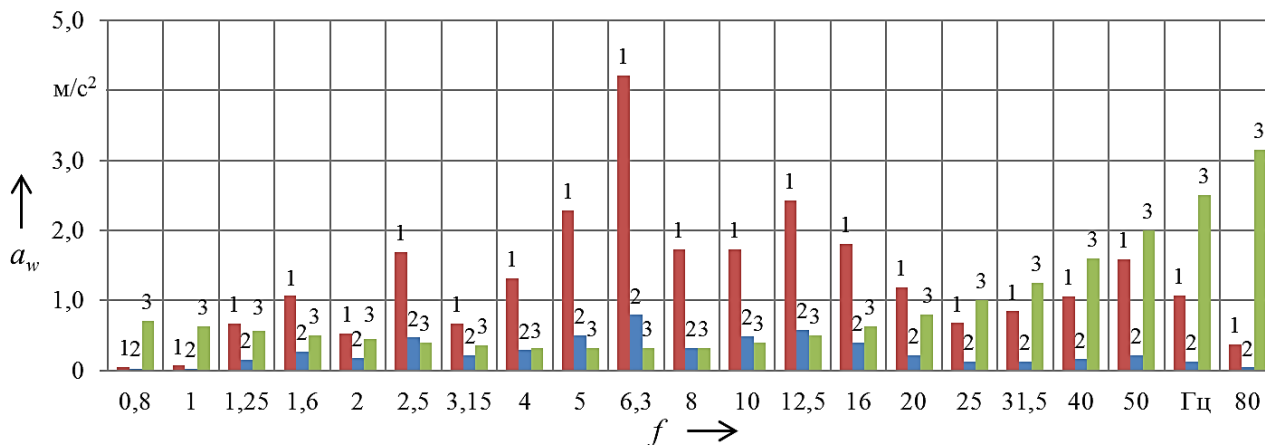


Рис. 4. Среднеквадратические значения скорректированного виброускорения на рабочем месте водителя при внесении органических удобрений на поля колесным трактором «Беларус-3022ДЦ.1» с полуприцепом ПСС-20 со скоростью передвижения 7 км/ч: 1 – пол кабины; 2 – подушка сиденья; 3 – СНиП от 26.12.2013 № 132 [19]

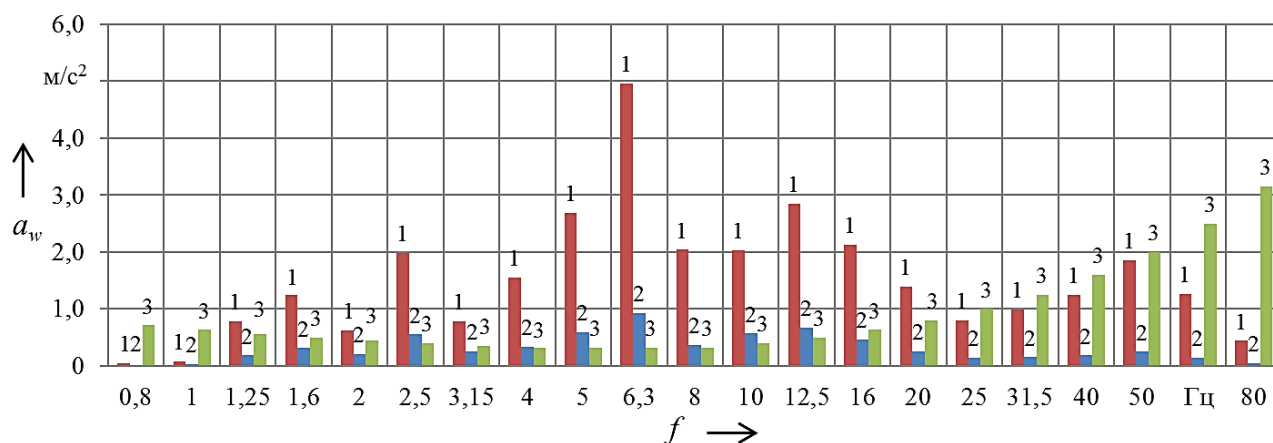


Рис. 5. Среднеквадратические значения скорректированного виброускорения на рабочем месте водителя при внесении органических удобрений на поля колесным трактором «Беларус-3022ДЦ.1» с полуприцепом ПСС-20 со скоростью передвижения 9 км/ч: 1 – пол кабины; 2 – подушка сиденья; 3 – СНИП от 26.12.2013 № 132 [19]

Заклучение

По результатам экспериментальных исследований были сформулированы следующие выводы:

1. Среднеквадратические значения скорректированного виброускорения в третьоктавных полосах частот на полу кабины при внесении органических удобрений на поля колесным трактором «Беларус-3022ДЦ.1» с полуприцепом ПСС-20 со скоростями передвижения 5 км/ч, 7 км/ч и 9 км/ч в течение 8 часового рабочего дня превышают величину предельно допустимых значений виброускорения общей вибрации 1 категории (транспортной) [19] на диапазоне частот 1,25–20 Гц в среднем в 4,2 раза (рис. 3–5).

2. Среднеквадратические значения скорректированного виброускорения в третьоктавных полосах частот на подушке сиденья при внесении органических удобрений на поля колесным трактором «Беларус-3022ДЦ.1» с полуприцепом ПСС-20 в течение 8 часового рабочего дня превышают величину предельно допустимых значений виброускорения общей вибрации 1 категории (транспортной) [19]: при скорости передвижения 5 км/ч на диапазоне частот 5–6,3 Гц в среднем в 1,7 раза; при 7 км/ч на частоте 2,5 Гц в 1,2 раза, на диапазоне частот 5–12,5 Гц в среднем в 1,5 раза; при 9 км/ч на частоте 2,5 Гц в 1,4 раза, на диапазоне частот 4–12,5 Гц в среднем в 1,7 раза (рис. 3–5).

3. Максимальные среднеквадратические значения скорректированного виброускорения в третьоктавных полосах частот на полу кабины наблюдаются на диапазоне частот 1,25–20 Гц, а на подушке сиденья: при скорости передвижения колесного трактора 5 км/ч на диапазоне частот 5–6,3 Гц; при 7 км/ч – 2,5 Гц, 5–6,3 Гц и 10–12,5 Гц; при 9 км/ч – 2,5 Гц, 5–12,5 Гц (рис. 3–5).

В связи с вышеизложенным сделан вывод о неэффективности работы системы виброзащиты рабочего места водителя на ряде частот. Таким образом, существующая на колесном тракторе «Беларус-3022ДЦ.1» система виброзащиты рабочего места водителя нуждается в доработке.

ЛИТЕРАТУРА

1. Levels of Whole-Body Vibrations Transmitted to the Driver of a Tractor Equipped with Self-Levelling Cab during Soil Primary Tillage / D. Pochi [et al.] // *AgriEngineering*. – 2022. – Vol. 4. – P. 695–706.
2. Lines, J. A. Whole Body Vibration During Tractor Driving / J. A. Lines, M. Stiles, R. T. Whyte // *Journal of Low Frequency Noise and Vibration*. – 1995. – Vol. 14 (2). – P. 87–104.
3. Scarlett, A. J. Whole-body vibration: Evaluation of emission and exposure levels arising from agricultural tractors / A. J. Scarlett, J. S. Price, R. M. Stayner // *Journal of Terramechanics*. – 2007. – Vol. 44. – P. 65–73.
4. Cutini, M. Assessment of tractor's tires influence on operator's comfort / M. Cutini, C. Bisaglia, E. Romano // *Proceedings of XXXII CIOSTA Conference, Nitra, September 2007*. – Nitra, 2007. – P. 197–206.
5. Servadio, P. Analysis of driving seat vibrations in high forward speed tractors / P. Servadio, A. Marsili, N. P. Belfiore // *Bio-systems Engineering*. – 2007. – Vol. 97. – P. 171–180.
6. Bovenzi, M. Low-back disorders in agricultural tractor drivers exposed to whole-body vibration and postural stress / M. Bovenzi, A. Betta // *Appl. Ergon.* – 1994. – Vol. 25 (4). – P. 231–241.
7. Whole Body Vibration (WBV) transmitted to the operator by tractors equipped with radial tires / R. Deboli, A. Calvo, C. Preti, G. Paletto // *Innovation Technology to Empower Safety, Health and Welfare in Agriculture and Agro-food Systems: International Conf., Ragusa, 15–17 Sept. 2008*. – Ragusa, 2008. – P. 1–8.
8. *Agricultural Wheeled Tractors and Field Machinery – Measurement of Whole-Body Vibration of the Operator: Standard ISO 5008:2002*. – Geneva: International Standard Organization (ISO), 2002. – 17 p.
9. Линник, Д. А. Влияние конструктивного исполнения системы виброзащиты рабочего места водителя колесного трактора на развитие профессиональных заболеваний / Д. А. Линник, А. С. Воронцов // *Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. В, Промышленность. Прикладные науки*. – 2019. – № 11. – С. 15–23.

10. Whole-body vibration in agriculture. In Practical User's Guide / European Agricultural Machinery (CEMA). – Brussel: Diamant Building, 2005. – 6 p.
11. Directive 2002/44/EC of the European parliament and the Council of 25 June 2002 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (vibration) // Official Journal of the European Communities. – 2002. – L. 177, vol. 45. – 12 p.
12. Whole-body vibration: Characterization of seat-to-head transmissibility for agricultural tractor drivers during loader operation / A. Singh [et al.] // Smart Agricultural Technology. – 2023. – Vol. 4 (100164). – P. 1–7.
13. Линник, Д. А. Конструкция опытного демпфера системы поддрессирования кабины колесного трактора / Д. А. Линник, О. В. Билык // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2022. – № 1 (74). – С. 39–48.
14. Линник, Д. А. Имитационные испытания систем виброзащиты рабочего места водителя колесного трактора / Д. А. Линник // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2022. – № 1. – С. 137–141.
15. Линник, Д. А. Методика определения физико-механических свойств виброизолятора кабины колесного трактора / Д. А. Линник // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2022. – № 1. – С. 128–132.
16. Вибрация. Измерение общей вибрации и оценка ее воздействия на человека. Требования к проведению измерений на рабочих местах: ГОСТ 31319-2006 (ЕН 14253:2003). – Введ. 30.06.2008. – М.: Научно-исследовательский центр контроля и диагностики технических систем, 2008. – 23 с.
17. Вибрация. Определение параметров вибрационной характеристики самоходных машин. Общие требования: ГОСТ 31193-2004 (ЕН 1032:2003). – Введ. 30.06.2008. – М.: Научно-исследовательский центр контроля и диагностики технических систем, 2008. – 30 с.
18. Вибрация и удар. Измерение общей вибрации и оценка ее воздействия на человека. Часть 1. Общие требования: ГОСТ 31191.1-2004 (ИСО 2631-1:1997). – Введ. 30.06.2008. – М.: Научно-исследовательский центр контроля и диагностики технических систем, 2008. – 29 с.
19. Об утверждении Санитарных норм и правил «Требования к производственной вибрации, вибрации в жилых помещениях, помещениях административных и общественных зданий», Гигиенического норматива «Предельно допустимые и допустимые уровни нормируемых параметров при работах с источниками производственной вибрации, вибрации в жилых помещениях, помещениях административных и общественных зданий» [Электронный ресурс] : постановление М-ва здравоохранения Респ. Беларусь, 26 дек. 2013 г., № 132: внес. доп. 15 апр. 2016 г. № 57 // Министерство здравоохранения Республики Беларусь: нормативно-правовая база. – Режим доступа: <http://minzdrav.gov.by/ru/dlya-spetsialistov/normativno-pravovaya-baza/tekhnicheskie-normativnye-pravovye-akty/teksty-tekhnicheskikh-normativnykh-aktov/sanitarnye-normy-pravila-i-gigienicheskie-normativy-reglamentiruyushchie-osnovnye-trebvaniya-pri-vo.php> – Дата доступа: 14.03.2023.