

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РОССИЙСКИХ И ЗАРУБЕЖНЫХ НОРМАТИВНЫХ ТРЕБОВАНИЙ К ВИБРОЗАЩИТЕ ОПЕРАТОРА ТРАКТОРА

Член-корр. РАН, д.т.н. **Годжаев З.А.**¹, **Годжаев Т.З.**¹, д.т.н. **Ляшенко М.В.**²,
д.т.н. **Шеховцов В.В.**², к.т.н. **Искалиев А.И.**²

¹ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ), Москва, Россия
fic51@mail.ru

²ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» (ВолгГТУ), Волгоград, Россия
shehovtsov@vstu.ru

В статье рассмотрены основные требования российских и зарубежных нормативных документов по виброзащите рабочего места оператора колесных и гусеничных машин и выполнен их сравнительный анализ. Нормирование параметров общей вибрации на рабочих местах операторов тракторов и самоходных сельскохозяйственных машин в нашей стране происходит согласно требованиям СН 2.2.4/2.1.8.566–96, ГОСТ 12.1.012–2004 и ГОСТ 12.2.019–2015. В качестве критериев оценки выделяются среднеквадратические значения виброускорений за определенный период воздействия в каждой октавной (третьоктавной) полосе частот. Они сравниваются на предмет соответствия с регламентируемыми значениями из определенного стандарта. На международном уровне объектом соответствия принят стандарт ISO 2631-1: 1997, который устанавливает требования вертикальной и горизонтальной вибрации с определенным временем воздействия на человека от 1 мин до 24 часов в диапазоне частот от 1 Гц до 80. В статье показано, что наиболее жесткие требования по уровню локальной вибрации установлены в Российской Федерации. Ими предусматривается четкая регламентация по виду выполняемых работ, длительности, величине, направлению действующих нагрузок и т.д. Относительно мягких требований придерживаются в большинстве стран Европы, кроме Польши, где ПДУ регулируется с учетом возраста, пола и состояния человека. Кроме того, в нормативных документах большинства иностранных государств присутствуют два, а иногда и три показателя: пороговые (верхнее и нижнее) значения и ПДУ. При достижении порогового значения обычно начинаются первичные меры по противодействию вредным факторам.

Ключевые слова: колесные и гусеничные машины, рабочее место оператора, вибрационные воздействия, требования нормативных документов.

Для цитирования: Годжаев З.А., Годжаев Т.З., Ляшенко М.В., Шеховцов В.В., Искалиев А.И. Сравнительный анализ российских и зарубежных нормативных требований к виброзащите оператора трактора // Известия МГТУ «МАМИ». 2021. № 2 (48). С. 2–8. DOI: 10.31992/2074-0530-2021-48-2-2-8.

1. Картина вибрационных воздействий на оператора

Во время эксплуатации колесных и гусеничных машин (КГМ) оператор постоянно подвергается комплексному воздействию вибрационных нагрузок с широким спектром амплитуд и частот этих воздействий. Их совокупность формирует сложную картину вибрационной нагруженности оператора. К примеру, низкочастотные колебания и вибрации передаются во время прикосновений через поверхности контакта частей тела оператора с различными устройствами в кабине, с рычагами и педалями управления, с полом кабины, а также с подрес-

соренным сиденьем в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

При движении КГМ частота взаимодействия опорной поверхности и ходовой системы, возмущения от которого передаются на осто́в и далее через системы поддрессирования кабины и сиденья на человека-оператора, определяется скоростью движения и расстоянием между соседними неровностями. Чем выше скорость движения КГМ и меньше шаг неровностей, тем выше частота передаваемых колебаний. Показано, что наиболее вероятностным частотным диапазоном передаваемых от неровностей возмущений является

диапазон от 1 Гц до 4 Гц [1]. Большое значение имеют также форма и высота неровностей, так как воздействия от неровностей с относительно малой высотой попросту поглощаются двигателем трактора и не ощущаются человеком.

Известно, что вертикальные колебания, передающиеся во время движения через раму полу кабины КГМ и закрепленному на нем сиденью, являются наиболее интенсивными по сравнению с горизонтальными и угловыми колебаниями, воздействующими на сиденье [2, 3, 16]. Также установлено, что человеческий организм воспринимает колебания различной частоты по-разному. Так, низко- и среднечастотные колебания (до 16...18 Гц) воспринимаются отдельными циклами. С повышением частоты как отдельные циклы они уже не воспринимаются. Кроме того, установлено, что интенсивность восприятия пропорциональна ускорениям при колебаниях с частотой до 5 Гц, скорости – от 5 Гц до 40 Гц, амплитуде перемещений – более 40 Гц [3].

С учетом того обстоятельства, что тело человека можно рассматривать как сложную динамическую колебательную систему, каждый состав-

ной элемент которой обладает своей частотой собственных колебаний (табл. 1), анализ картины вибронегруженности оператора представляется еще более затруднительным [4, 5, 6, 8].

При длительных воздействиях вибронегрузок в соответствии с [4] возможны следующие вредные последствия для здоровья человека (табл. 2).

2. Нормирование вибронегруженности рабочего места оператора

Нормирование параметров общей вибрации на рабочих местах операторов тракторов и самоходных сельскохозяйственных машин в нашей стране происходит согласно СН 2.2.4/2.1.8.566-96, ГОСТ 12.1.012–2004 и ГОСТ 12.2.019–2015 [7, 9, 10]. В них активно используется для оценки метод спектрального анализа. В качестве критериев оценки выделяются среднеквадратические значения виброускорений за определенный период воздействия в каждой октавной (третьоктавной) полосе частот. Они сравниваются на предмет соответствия с регламентируемыми значениями из стандарта. На международном уровне

Таблица 1

Частоты собственных колебаний частей тела человека

Table 1. Frequencies of natural vibrations of parts of the human body

Части тела человека	Диапазон частот собственных колебаний, Гц
Голова	12...27
Горло	6...27
Грудная клетка	2...12
Ноги и руки	2...8
Поясничная часть позвоночника	4...14
Живот	4...12

Таблица 2

Последствия для здоровья человека в зависимости от частоты воздействия колебаний

Table 2. Human health effects depending on the frequency of vibration exposure

Частота воздействия, Гц	Последствия
3...5	Вредно отражаются на вестибулярном аппарате, сердечно-сосудистой системе и вызывают синдром укачивания.
1,5...11	Вызывают расстройства вследствие резонансных колебаний головы, желудка, кишечника и в конечном счете всего тела.
11...45	Ухудшают зрение, способствуют возникновению тошноты, рвоты, нарушению нормальной деятельности других органов.
≥ 45	Вызывают повреждение сосудов головного мозга, расстройство высшей нервной деятельности и циркуляции крови с последующим развитием вибрационной болезни.

в качестве объекта соответствия принят стандарт ISO 2631-1: 1997 (рис. 1), который устанавливает требования вертикальной и горизонтальной вибрации с определенным временем воздействия на человека, от 1 мин до 24 часов, в диапазоне частот от 1 Гц до 80 Гц [11].

Чем больше период воздействия вибрации, тем выше требования к виброзащите оператора. Для вертикальных виброускорений (рис. 1, а) наиболее жесткие нормы охватывают диапазон от 4 Гц до 8 Гц, тогда как для горизонтальных (рис. 1, б) – от 1 Гц до 2 Гц. Причем для последних упомянутые нормы выше по величине. Это связано в первую очередь с необходимостью обеспечения повышенной защиты органов и всего тела человека от горизонтальных резонансных колебаний в процессе работы.

Иногда дополнительно уже в качестве интегральных критериев виброактивности определяются корректированные и эквивалентные значения виброускорений [7, 10]. Корректированное по частоте виброускорение (1), позволяет учитывать неоднозначность восприятия человеком широкополосного вибрационного спектра воздействий:

$$a_{\text{кор}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (a_i \cdot k_i)^2}, \quad (1)$$

где a_i – среднеквадратическое значение виброускорения в i -ой полосе частот, м/с²; n – число частотных полос; k_i – весовой коэффициент для i -ой полосы частот (табл. 3).

Возможно определять как корректированные виброускорения, действующие в отдельных направлениях (табл. 3), так и обобщенное значение, учитывающее все компоненты трех основных направлений действия (вертикально-

Таблица 3
Весовой коэффициент общей вертикальной вибрации в третьоктавных полосах частот

Table 3. Weighting factor of total vertical vibration in one-third octave frequency bands

Среднегеометрическая частота, Гц	Весовой коэффициент, k
1	0,482
1,25	0,484
1,6	0,494
2	0,531
2,5	0,631
3,15	0,804
4	0,967
5	1,039
6,3	1,054
8	1,036
10	0,988
12,5	0,902
16	0,768
20	0,636
25	0,513
31,5	0,405
40	0,314
50	0,246
63	0,186
80	0,132

го, горизонтально-продольного, горизонтально-поперечного) и представленное в виде геометрической суммы [10].

Эквивалентные виброускорения рассчитываются как корректированные значения, но с учетом 8-ми часового периода воздействий [7, 10, 13].

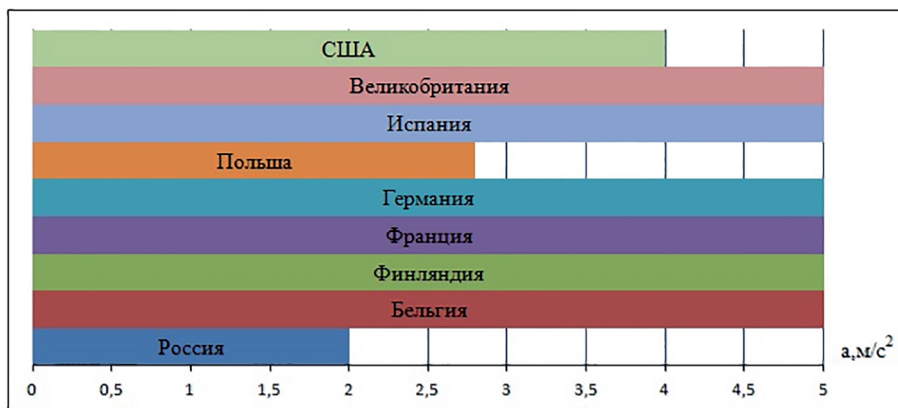


Рис. 1. Пределы воздействия вертикальной (а) и горизонтальной (б) вибрации по ISO 2631-1: 1997

Fig. 1. Exposure limits for vertical (a) and horizontal (b) vibration according to ISO 2631-1: 1997

Для оценки общей вибрации интегральные значения эквивалентных ускорений на подушке сиденья в вертикальном направлении согласно ГОСТ 12.1.012–2004 для самоходных машин должны находиться в пределах 0,25...0,56 м/с² [7].

Согласно ISO 2631-1 [11], для 8-часового постоянного воздействия общей вибрации риск нанесения ущерба здоровью оператора определяется по диапазону интегральных значений вертикальных виброускорений на подушке сиденья:

- < 0,45 м/с² – низкий уровень риска;
- 0,45...0,9 м/с² – средний уровень риска;
- > 0,9 м/с² – высокий уровень риска.

При выборе метода и условий проведения измерений вибраций на подушке сиденья оператора сельскохозяйственного колесного трактора учитывается ГОСТ 31323–2006 [12]. Применительно к гусеничным тракторам подобных действующих национальных стандартов пока нет.

В сведениях ФГБУ «ВНИИ охраны и экономики труда» Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации представлены нормативные показатели уровней вибраций и шума на рабочих местах в различных странах мира [14].

Предельно допустимый уровень (ПДУ) локальной вибрации, передающейся оператору КГМ через контакт частей его тела с рычагами, педалями и приборами управления, в разных странах мира сильно отличается (рис. 2).

Распределение ПДУ общей вибрации на рабочем месте по разным странам мира также имеет неодинаковый характер (рис. 3).

3. Сравнительный анализ российских и зарубежных нормативных требований

Анализ показывает, что наиболее жесткие требования по уровню локальной вибрации установлены в Российской Федерации. Ими предусматривается четкая регламента-

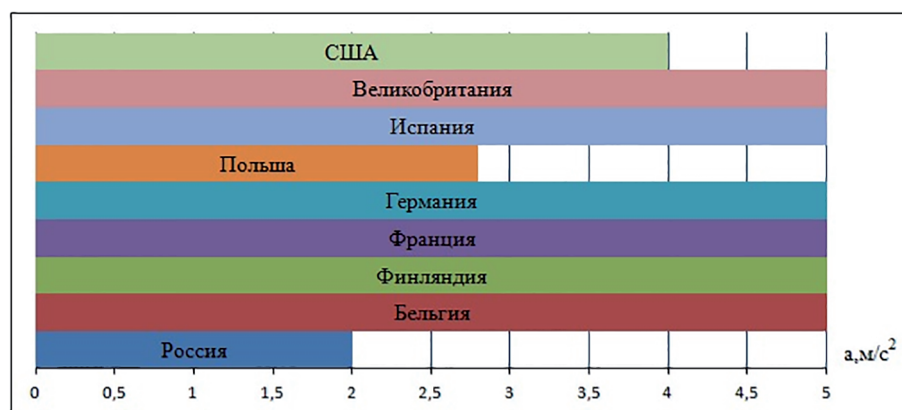


Рис. 2. ПДУ локальной вибрации в разных странах мира

Fig. 2. MPL for local vibration in different countries of the world

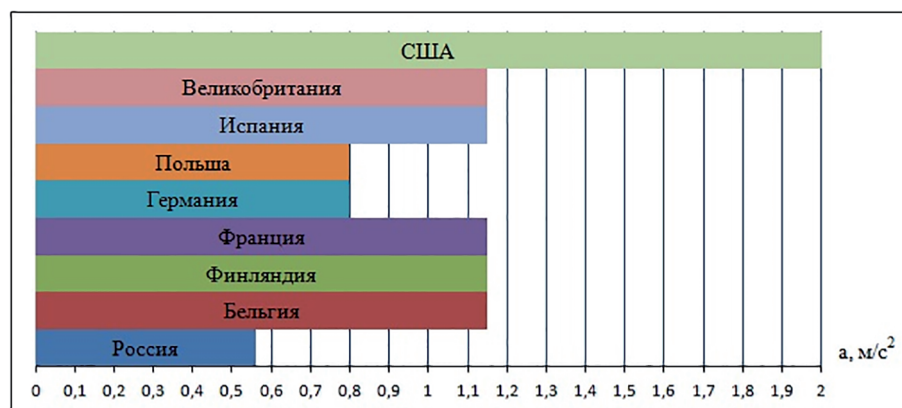


Рис. 3. ПДУ общей вибрации в различных странах мира

Fig. 3. MPL for general vibration in different countries of the world

ция по виду выполняемых работ, длительности, величине, направлению действующих нагрузок и т.д. Относительно мягких требований придерживаются в большинстве стран Европы, кроме Польши, где ПДУ регулируется с учетом возраста, пола и состояния человека [14].

По уровню общей вибрации самые высокие требования предъявляются также в Российской Федерации. В странах Европы показатели ПДУ несколько выше, но их превышение иногда допускается только в ограниченном временном интервале воздействия. В США, в том числе и для определения ПДУ общей вибрации, введена специальная шкала ощущения дискомфорта, ориентируясь на которую, принимают соответствующие меры по борьбе с негативным воздействием механических колебаний и вибраций [14].

Подходы к установлению ПДУ вибраций и шума в России и в других государствах также сильно отличаются. В зарубежных странах наряду с медико-биологическими критериями установления стандартов используются социально-экономические и технологические обоснования. Кроме того, в нормативных документах большинства иностранных государств присутствуют два, а иногда и три показателя: пороговые (верхнее и нижнее) значения и ПДУ. При достижении порогового значения обычно начинаются первичные меры по противодействию вредным факторам [14, 15].

Литература

1. Поливасев О.И., Юшин А.Ю. Снижение воздействия транспортной вибрации на операторов мобильных энергетических средств / Минсельхоз России, ФГОУ ВПО ВГАУ им. К.Д. Глинки. Воронеж: Изд-во ФГОУ ВПО ВГАУ им. К.Д. Глинки, 2008. 177 с.
2. Шеховцов В.В. [и др.] Поддрессирование кабин тягово-транспортных средств / учеб. пособие Минобрнауки России, ВолгГТУ. Волгоград: Изд-во ВолгГТУ, 2016. 160 с.
3. Ротенберг Р.В. Подвеска автомобиля. Колебания и плавность хода / 3-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1972. 392 с.
4. Степанов И.С. [и др.] Автомобили и тракторы / Основы эргономики и дизайна: учебник. Под ред. В.М. Шарипова. М.: МГТУ «МАМИ», 2002. 230 с.
5. Михайлов В.А., Шарипова Н.Н. Кабина трактора: учеб. пособие / М.: МГТУ «МАМИ», 2001. 24 с.
6. Искалиев А.И. Анализ пневматических подвесок автотракторных сидений // Технично-технологическое развитие отраслей и предприятий: сб. науч. тр. по матер. I междунар. науч.-практ. конф. (31 января 2017 г.) / гл. ред. Н.А. Краснова. Научная общественная организация «Профессиональная наука». Нижний Новгород, 2017. С. 4–9 и др.
7. ГОСТ 12.1.012–2004. Система стандартов безопасности труда. Вибрационная безопасность. Общие требования. Взамен ГОСТ 12.1.012–90; введ. 01.07.08. М.: Стандартинформ, 2010. 16 с.
8. Ляшенко М.В., Шеховцов К.В., Годжаев З.А. Стендовое оборудование для испытания виброизоляторов кабины трактора // Тракторы и сельхозмашины. 2012. № 7. С. 43–48.
9. ГОСТ 12.2.019–2015. Система стандартов безопасности труда. Тракторы и машины самоходные сельскохозяйственные. Общие требования безопасности. Взамен ГОСТ 12.2.019–2005; введ. 01.07.17. М.: Стандартинформ, 2016. 18 с.
10. СН 2.2.4/2.1.8.566–96. Производственная вибрация. Вибрация в помещениях жилых и общественных зданий. Взамен СН 3041–84, СН 3044–84 и СН 1304–75; введ. 31.10.96. М.: Информационно-издательский центр Министерства здравоохранения РФ, 1997. 14 с.
11. ISO 2631–1: 1997. Механическая вибрация и удар. Оценка воздействия вибрации на тело человека. Часть 1: Общие требования. М.: Стандартинформ, 2010. 31 с.
12. ГОСТ 31323–2006. Вибрация. Определение параметров вибрационной характеристики самоходных машин. Тракторы сельскохозяйственные колесные и машины для полевых работ. Взамен ГОСТ ИСО 5008–2004; введ. 01.07.08. М.: Стандартинформ, 2008. 20 с.
13. Годжаев З.А., Годжаев Т.З. Оценка эффективности виброзащиты гидравлической системы поддрессирования мобильных машин с активным нейросетевым регулированием // Автомобильная промышленность. 2018. № 8. С. 21–25.
14. Отечественный и зарубежный опыт гигиенического нормирования факторов производственной среды: отчет о НИР / Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт охраны и экономики труда» Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации (ФГБУ «ВНИИ охраны и экономики труда» Минтруда России). М., 2013. 48 с.
15. Годжаев З.А. Сравнительная оценка эффективности виброзащиты активной системы поддрес-

сорования с пид-регулированием // Тракторы и сельхозмашины. 2018. № 3. С. 62–67.

16. Годжаев З.А. Усовершенствование рабочего места оператора // Сельский механизатор. 2019. № 6. С. 38–39.

References

1. Polivayev O.I., Yushin A.YU. Snizheniye vozdeystviya transportnoy vibratsii na operatorov mobil'nykh energeticheskikh sredstv [Reducing the impact of traffic vibration on mobile energy operators]. Minsel'khoz Rossii, FGOU VPO VGPU im. K.D. Glinki. Voronezh: Izd-vo FGOU VPO VGPU im. K.D. Glinki Publ., 2008. 177 p.
2. Shekhovtsov V.V. [i dr.] Podressorivaniye kabin tyagovo-transportnykh sredstv [Cushioning of cabins of traction vehicles]. Ucheb. posobiye. Minobrnauki Rossii, VolGGTU. Volgograd: Izd-vo VolGGTU Publ., 2016. 160 p.
3. Rotenberg R. V. Podveska avtomobilya. Kolebaniya i plavnost' khoda [Vehicle suspension. Oscillation and smoothness of the ride]. 3-e izd., pererab. i dop. Moscow: Mashinostroyeniye Publ., 1972. 392 p.
4. Stepanov I.S. [i dr.] Avtomobili i traktory. Osnovy ergonomiki i dizayna [Automobiles and tractors / Fundamentals of ergonomics and design]: ucheb.-nik. Pod red. V.M. Sharipova. Moscow: MGТУ «MAMI» Publ., 2002. 230 p.
5. Mikhaylov V.A. Sharipova N.N. Kabina traktora [Tractor cabin]: ucheb. posobiye. Moscow: MGТУ «MAMI» Publ., 2001. 24 p.
6. Iskaliyev A.I. Analysis of pneumatic suspensions of automobile and tractor seats. Tekhniko-tekhnologicheskoye razvitiye otrasley i predpriyatiy: sb. nauch. tr. po mater. I mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (31 yanvarya 2017 g.) [Technical and technological development of industries and enterprises: collection of scientific papers of I International scientific-practical conference (January 31, 2017)] / gl. red. N.A. Krasnova. Nauchnaya obshchestvennaya organizatsiya «Professional'naya naukA». Nizhniy Novgorod, 2017, pp. 4–9 (in Russ.).
7. GOST 12.1.012–2004. Sistema standartov bezopasnosti truda. Vibratsionnaya bezopasnost'. Obshchiye trebovaniya [Occupational safety standards system. Vibration safety. General requirements]. Vzamen GOST 12.1.012–90; vved. 01.07.08. Moscow: Standartinform Publ., 2010. 16 p.
8. Lyashenko M.V., Shekhovtsov K.V., Godzhayev Z.A. Bench equipment for testing vibration isolators of a tractor cabin. Traktory i sel'khoz mashiny. 2012. No 7, pp. 43–48 (in Russ.).
9. GOST 12.2.019–2015. Sistema standartov bezopasnosti truda. Traktory i mashiny samokhodnoy sel'skokhozyaystvennoy. Obshchiye trebovaniya bezopasnosti [Occupational safety standards system. Tractors and self-propelled agricultural machinery. General safety requirements]. Vzamen GOST 12.2.019–2005; vved. 01.07.17. Moscow: Standartinform Publ., 2016. 18 p.
10. SN 2.2.4 / 2.1.8.566–96. Proizvodstvennaya vibratsiya. Vibratsiya v pomeshcheniyakh zhilykh i obshchestvennykh zdaniy [Industrial vibration. Vibration in residential and public buildings]. Vzamen SN 3041–84, SN 3044–84 i SN 1304–75; vved. 31.10.96. Moscow: Informatsionno-izdatel'skiy tsentr Ministerstva zdravookhraneniya RF Publ., 1997. 14 p.
11. ISO 2631–1: 1997. Mekhanicheskaya vibratsiya i udar. Otsenka vozdeystviya vibratsii na telo cheloveka. Chast' 1: Obshchiye trebovaniya [Mechanical vibration and shock action. Assessment of the impact of vibration on the human body. Part 1: General Requirements]. Moscow: Standartinform Publ., 2010. 31 p.
12. GOST 31323–2006. Vibratsiya. Opredeleniye parametrov vibratsionnoy kharakteristiki samokhodnykh mashin. Traktory sel'skokhozyaystvennoy kolesnoy i mashiny dlya polevykh rabot [Vibration. Determination of the parameters of the vibration characteristics of self-propelled machines. Agricultural wheeled tractors and field machinery]. Vzamen GOST ISO 5008–2004; vved. 01.07.08. Moscow: Standartinform Publ., 2008. 20 p.
13. Godzhayev Z.A., Godzhayev T.Z. Evaluation of the effectiveness of vibration protection of the hydraulic suspension system of mobile machinery with active neural network regulation. Avtomobil'naya promyshlennost'. 2018. No 8, pp. 21–25 (in Russ.).
14. Otechestvennyy i zarubezhnyy opyt gigiyenicheskogo normirovaniya faktorov proizvodstvennoy sredy [Domestic and foreign experience of hygienic regulation of factors of the working environment]: otchet o NIR. Federal'noye gosudarstvennoye byudzhethnoye uchrezhdeniye «Vserossiyskiy nauchno-issledovatel'skiy institut okhrany i ekonomiki truda» Ministerstva truda i sotsial'noy zashchity Rossiyskoy Federatsii (FGBU «VNII okhrany i ekonomiki truda» Mintruda Rossii). M., 2013. 48 p.
15. Godzhayev Z.A. Comparative evaluation of the effectiveness of vibration protection of an active suspension system with pid-regulation. Traktory i sel'khoz mashiny. 2018. No 3, pp. 62–67 (in Russ.).
16. Godzhayev Z.A. Improvement of the operator's workplace. Sel'skiy mekhanizator. 2019. No 6, pp. 38–39 (in Russ.).

COMPARATIVE ANALYSIS OF RUSSIAN AND FOREIGN REGULATORY REQUIREMENTS FOR VIBRATION PROTECTION OF A TRACTOR OPERATOR

DSc in Engineering, Corresponding member of the Russian Academy of Sciences **Z.A. Godzhayev**¹, **T.Z. Godzhayev**¹,
DSc in Engineering **M.V. Lyashenko**², DSc in Engineering **V.V. Shekhovtsov**², PhD in Engineering **A.I. Iskaliyev**²

¹Federal Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia

fic51@mail.ru

²Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia

shehovtsov@vstu.ru

The paper discusses the main requirements of Russian and foreign regulatory documents on vibration protection of the operator's workplace of wheeled and tracked vehicles. Their comparative analysis was performed. The normalization of the parameters of general vibration at the workplaces of operators of tractors and self-propelled agricultural vehicles in our country occurs in accordance with the requirements of SN 2.2.4/2.1.8.566-96, GOST 12.1.012-2004 and GOST 12.2.019-2015. The root-mean-square values of vibration accelerations for a certain period of exposure in each octave (one-third octave) frequency band are allocated as the evaluation criteria. They are compared for compliance with the regulated values from a specific standard. At the international level, the object of compliance is the ISO 2631-1: 1997 standard, which establishes the requirements for vertical and horizontal vibration with a certain exposure time on a person from 1 minute to 24 hours in the frequency range from 1 to 80 Hz. The article shows that the most stringent requirements for the level of local vibration are established in the Russian Federation. They provide clear regulation of the type of work performed, duration, magnitude, direction of existing loads, etc. Relatively soft requirements are in most European countries, except Poland, where the MPL is regulated taking into account the age, gender and condition of a person. In addition, in the regulatory documents of most foreign countries there are two and sometimes three indicators: threshold (upper and lower) values and MPL. When the threshold is reached, primary measures are usually initiated to counter harmful factors.

Keywords: wheeled and tracked vehicles, operator's workplace, vibration effects, regulatory requirements.

Cite as: Godzhayev Z.A., Godzhayev T.Z., Lyashenko M.V., Shekhovtsov V.V., Iskaliyev A.I. Comparative analysis of Russian and foreign regulatory requirements for vibration protection of a tractor operator. *Izvestiya MGTU «MAMI»*. 2021. No 2 (48), pp. 2–8 (in Russ.). DOI: 10.31992/2074-0530-2021-48-2-2-8.