

УДК 629.113.073

В.Г. МИХАЙЛОВ, канд. техн. наук

ведущий инженер¹

E-mail: sapr7@mail.ru

Д.В. МИШУТА, канд. техн. наук

советник генерального директора по внешнеэкономическим связям¹

E-mail: info@midivisana.by

¹ООО «Мидивисана», г. Минск, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 15.02.2016.

ОЦЕНКА ВИБРАЦИЙ НА СПАЛЬНОМ МЕСТЕ ВОДИТЕЛЯ ГРУЗОВОГО АВТОМОБИЛЯ

Рассматриваются вопросы режима работы и отдыха водителей, вибраций на спальном месте грузового автомобиля, влияющие на безопасность движения ТС. Отмечается, что водители могут проводить значительную часть времени в пути при длительных поездках на спальном месте и вибрации отрицательно сказываются на их состоянии. Предложена математическая модель колебаний водителя на спальном месте и блок-схема ее реализации в пакете Matlab/Simulink, позволяющая расчетным путем определить уровень вибраций на спальном месте. Проведено исследование влияния прокладки подушки на уровень вибраций на спальном месте. Установлено, что изменение толщины прокладки подушки спальное место практически не влияет на изменение уровня вибраций водителя в положении лежа. Выбор толщины прокладки подушки спальное место больше обуславливается физиологическими факторами — обеспечение равномерного распределения давления на тело водителя и систему кровообращения. Дана оценка уровня вибраций на спальном месте грузового автомобиля. Выявлено, что в третьоктавных полосах частот 2; 5; 3; 1; 4 Гц при движении по булыжному шоссе имеет место превышение уровня допустимых вибраций на 25–50 %. Снизить уровень вибраций можно путем применения малолистовой рессоры либо пневмоподдресориванием спального места или кабины.

Ключевые слова: транспортное средство, прокладка подушки, спальное место, вибрация, моделирование колебаний на спальном месте водителя

Введение. Сейчас все больше внимания уделяется вопросам безопасности движения автотранспортных средств [1–5]. По данным американских исследователей [2] причиной в 80 % несчастных случаев водителей грузовиков со смертельным исходом является усталость и засыпание за рулем. Наиболее эффективным противодействием этому является соблюдение режима труда и отдыха водителей. Согласно Регламенту ЕСТР труда и отдыха водителей (Европейское соглашение о работе экипажей транспортных средств, производящих международные автомобильные перевозки) продолжительность управления между любыми двумя периодами ежедневного отдыха или между ежедневным периодом отдыха и еженедельным периодом отдыха, именуемая ниже «ежедневная продолжительность управления», не должна превышать 9-ти часов (рисунок 1).

После управления в течение 4,5 часов водитель должен сделать перерыв по крайней мере на 45 минут, если не наступает период отдыха (ст. 7.1).

Если продолжительность рейса более 12 часов, то поездка должна осуществляться двумя водителями. ЕСТР рекомендует при 30-ти часовой поездке придерживаться следующего режима труда и отдыха (рисунок 2), сменяясь за рулем каждые 4,5 часа. А после 19 часов поездки водители сменяются через 1 час.

После чего должен быть обязательный непрерывный отдых 10 часов либо не менее 8 часов, включающий обязательный сон на стоянке. В процессе движения в течение 4,5 часов невождения второй водитель находится в состоянии отдыха + готовности. В это время он может бодрствовать на месте пассажира либо спать, для чего большинство современных грузовых автомобилей оборудуются спальными местами (рисунок 3). Они позволяют спать обоим водителям на стоянке либо дают возможность второму водителю-сменщику отдохнуть

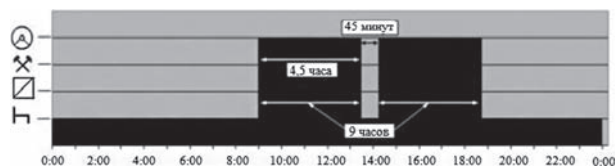


Рисунок 1 — График работы и отдыха водителя



Рисунок 2 — График работы и отдыха при поездке двух водителей



Рисунок 3 — Рабочее и спальные места современного грузового автомобиля

в процессе движения. Это нерегламентировано ЕСТР, хотя наиболее полноценный комфортный отдых и сон возможен только в дорожных отелях. Однако из практики собственных наблюдений по СНГ большая часть водителей предпочитает спать в машине на стоянке в целях экономии средств, особенно в летний период.

В качестве спального места используется специальный лежак с матрасом. Роль упругого и демпфирующего элемента матраса выполняет латексная губчатая резина 1-й и 2-й категории твердости. Из работы [6] известно, что данный материал в области резонанса значительно усиливает вибрации.

С точки зрения биомеханики [8] тело человека можно рассматривать как колебательные системы с упругими связями. Собственные частоты внутренних органов приходятся на диапазон 3–6 Гц. При воздействии на человека внешних колебаний таких частот происходит возникновение резонансных явлений во внутренних органах, способных вызвать травмы, разрыв артерий, летальный исход. Собственные частоты колебаний плечевого пояса, бедер и головы относительно опорной поверхности составляют 4–6 Гц, головы относительно плеч — 25–30 Гц, глазных яблок — 50 Гц. Собственные частоты колебаний тела в положении лежа составляют 3–6 Гц, в положении стоя — 5–12 Гц, колебаний грудной клетки — 5–8 Гц. Воздействуя на человека, вибрация угнетает центральную нервную систему, вызывая чувство тревоги и страха, ухудшает зрение и качество работы человека-оператора, а также физиологическое и функциональное состояние организма человека. Это проявляется в повышении утомляемости, увеличении времени двигательной и зрительной реакции, нарушении вестибулярных реакций и координации движений.

Вибрации во время движения отрицательно влияют на отдыхающего водителя-сменщика, возможность его полноценного сна и естественно на безо-

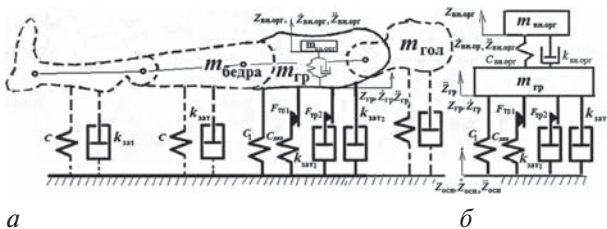


Рисунок 4 — Модель водителя на спальном месте: а — полная модель водителя на спальном месте; б — упрощенная модель

пасность движения. Исследования, посвященные вибрационным воздействиям на водителя в лежачем положении во время движения автомобиля, отсутствуют [7–9]. Учитывая, что водитель может проводить значительную часть времени в пути на спальном месте и отрицательное воздействие вибрации, представляет интерес путем виртуального моделирования оценить уровень вибраций на спальном месте с учетом третьоктавного спектра. Это позволит рассмотреть выбор мер по их снижению. Все это определяет новизну данного исследования.

Колебательная модель водителя на спальном месте. Водителя на спальном месте можно представить в виде следующей модели с шарнирами (рисунок 4).

Наибольший интерес представляет часть тела, относящаяся к груди. Здесь расположены сердце, печень, почки, которые наиболее чувствительны к колебаниям и имеют резонанс в области 5–7 Гц. По данным работ [6–8] эту часть тела можно представить в виде массы $m_{тр}$, соединенной с пружиной и амортизатором. Данных по модели головы в горизонтальном положении нет. Нога человека в виде бедра и голени не является чувствительным элементом к вибрациям. Хотя они и совершают колебания, однако учитывая шарнирную связь, их в колебательной модели можно не рассматривать. То есть при рассмотрении модели человека в горизонтальном состоянии лежа можно ограничиться двухмассовой моделью груди и внутренних органов (сердца, печени, почек) (см. рисунок 4 б). Масса последних в сумме составляет 2 кг. Приняты следующие колебательные параметры для линейной модели внутренних органов, соответствующие собственной частоте их колебаний 7 Гц ($C_{вн.орг} = 3864 \text{ Н/м}$, $k_{вн.орг} = 31 \text{ Н} \cdot \text{с/м}$).

Подушку спального места можно представить в виде двух пружин, усилие одной из которых ограничено величиной трения и двух амортизаторов, усилие одного из них ограничено величиной трения.

Математическую модель колебаний и усилия упругих, демпфирующих элементов прокладок спального места можно описать следующими уравнениями, базируясь на анализе работ [6–10]:

$$\begin{aligned}
 & m_{вн.орг} \ddot{Z}_{вн.орг} + C_{вн.орг} (\dot{Z}_{вн.орг} - \dot{Z}_{гр}) + \\
 & + k_{вн.орг} (Z_{вн.орг} - Z_{гр}) = 0; \quad m_{тр} \ddot{Z}_{тр} + F_1 + F_{тр1} + F_{тр2} = 0; \\
 & F_{тр1} = \begin{cases} C_{дин} \int_0^t (\dot{Z}_{осн.} - \dot{Z}_{гр}) dt & \text{если } F_{тр1} > C_{дин} \int_0^t (\dot{Z}_{осн.} - \dot{Z}_{гр}) dt > -F_{тр1}; \\ F_{тр1} & \text{если } C_{дин} \int_0^t (\dot{Z}_{осн.} - \dot{Z}_{гр}) dt > F_{тр1}; \\ -F_{тр1} & \text{если } C_{дин} \int_0^t (\dot{Z}_{осн.} - \dot{Z}_{гр}) dt > -F_{тр1}; \end{cases} \\
 & F_{тр2} = \begin{cases} k_{заг1} \int_0^t (\dot{Z}_{осн.} - \dot{Z}_{гр}) dt & \text{если } F_{тр2} > k_{заг1} \int_0^t (\dot{Z}_{осн.} - \dot{Z}_{гр}) dt > -F_{тр2}; \\ F_{тр2} & \text{если } k_{заг1} \int_0^t (\dot{Z}_{осн.} - \dot{Z}_{гр}) dt > F_{тр2}; \\ -F_{тр2} & \text{если } k_{заг1} \int_0^t (\dot{Z}_{осн.} - \dot{Z}_{гр}) dt > -F_{тр2}; \end{cases}
 \end{aligned}$$

$$F_1 = C_1(Z_{осн.} - Z_{гр}); F_{зат2} = k_{зат2}(\dot{Z}_{осн.} - \dot{Z}_{гр}),$$

где $C_1, C_{дин}$ — жесткость прокладки подушки, определенная при статическом и динамическом нагружении; $k_{зат1}, k_{зат2}$ — коэффициенты затуханий в прокладке; $F_1, F_{тр1}, F_{тр2}$ — усилие от жесткости прокладки подушки, максимальные значения трения, ограничивающего усилия от динамической жесткости и демпфирующего элемента; $m_{гр}, m_{вн.орг}$ — масса груди, внутренних органов; $\dot{Z}_{осн.}, \dot{Z}_{гр}, \dot{Z}_{вн.орг}$ — текущее значение виброскорости основания, груди, внутренних органов; $Z_{осн.}, Z_{гр}, Z_{вн.орг}$ — текущее значение перемещений основания, груди, внутренних органов. Значения $Z_{осн.}, \dot{Z}_{осн.}$ берутся из колебательной модели автомобиля.

В качестве исходных параметров для моделирования использованы данные работ [6, 10] по подушкам сидений, полученные для линейной модели (рисунки 5, 6).

Эти данные преобразованы в параметры динамической модели подушки (рисунок 7), которые использовались при моделировании вибраций на спальном месте. Значения величин: $F_{орп} = 0,005 \text{ кН} \cdot \text{с/м}$, $F_{тр1} = 0,0029 \text{ кН} \cdot \text{с/м}$.

Блок-схема реализации этой модели в пакете Matlab/Simulink приведена на рисунке 8.

Влияние прокладки подушки на вибрации водителя на спальном месте. Исследование влияния подушки спального места на вибрации водителя проведено путем виртуального моделирования колебаний

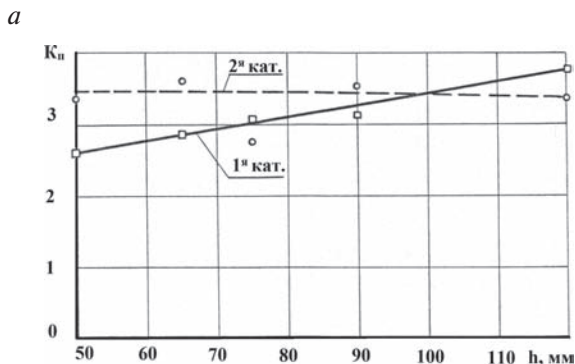
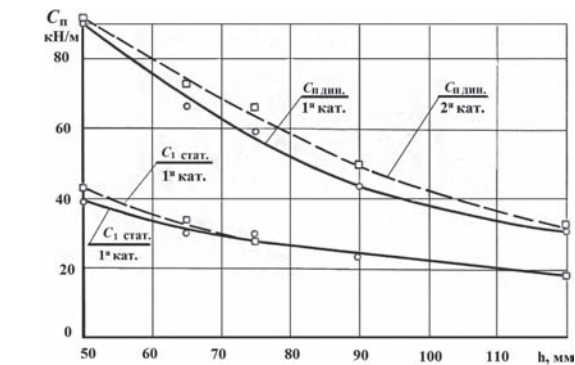


Рисунок 5 — Изменение статической и динамической жесткости подушки и коэффициента передачи вибраций в зависимости от категории резины и толщины прокладки

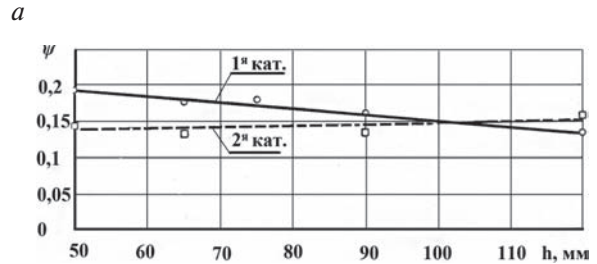
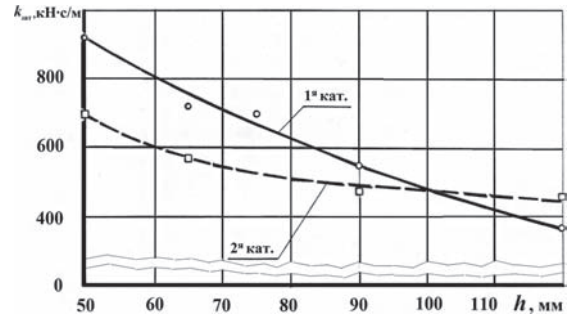


Рисунок 6 — Изменение коэффициентов затухания в зависимости от категории резины и толщины

грузового автомобиля 6×6, движущегося по булыжному шоссе [11] с реальным микропрофилем дороги. Полученный сигнал пола кабины подавался на модель водителя на спальном месте. Использовалась модель автомобиля, обеспечивающая погрешность (5–15 %) в октавных полосах частот. Влияние толщины прокладки спального места показано на рисунке 9.

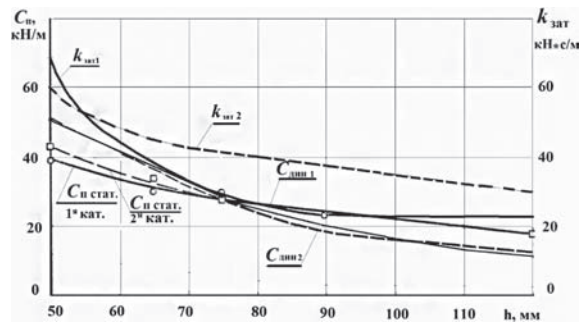


Рисунок 7 — Изменение параметров модели подушки в зависимости от категории резины и толщины прокладки

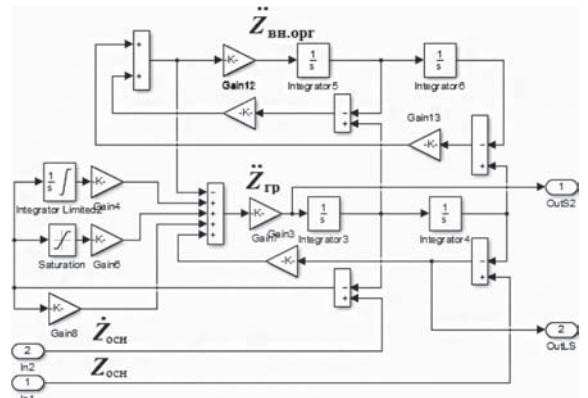


Рисунок 8 — Блок-схема реализации модели колебаний водителя на спальном месте в пакете Matlab/Simulink

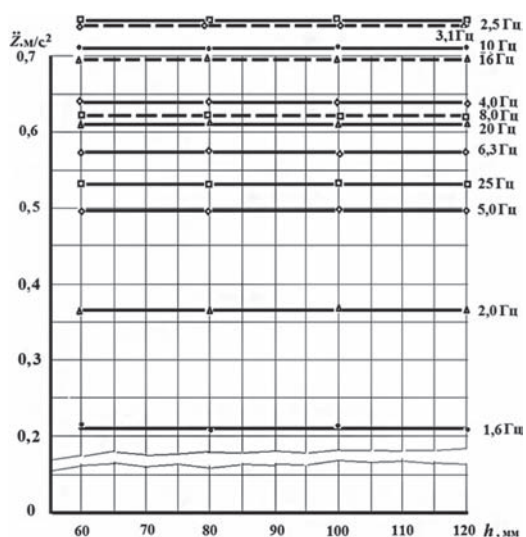


Рисунок 9 — Влияние толщины подушки на уровень вибраций водителя ТС на спальном месте в третьоктавных полосах частот

Из него видно, что изменение толщины прокладки подушки спального места в пределах 60–120 мм не влияет на изменение уровня вибраций водителя в положении лежа. Уровень вибраций на спальном месте в третьоктавных полосах частот 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,1; 4; 5,3; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25 Гц составляет соответственно 0,046; 0,2; 0,365; 0,78; 0,76; 0,64; 0,5; 0,57; 0,62; 0,705; 0,77; 0,7; 0,61; 0,53 м/с². В третьоктавных полосах частот 2,5; 3,1; 4 Гц при движении по бульжному шоссе имеет место превышение уровня допустимых вибраций на водителя транспортного средства на 25–50 % [12].

Характер изменения зависимостей аналогичен тому, что наблюдалось при расчетах и эксперименте на подушках сидений [6]. По данным работы [9] выбор толщины прокладки для подушек сидений больше обуславливается физиологическими факторами — обеспечением равномерного распределения давления на тело водителя и систему кровообращения. Такой же вывод можно сделать и для случая спального места. Исходя из опыта производителей, оптимальная толщина подушки спального места водителя составляет 70–80 мм.

Как показывает анализ работы [13], снизить уровень вибраций в полосе 2,5–4 Гц частот можно путем совершенствования основной подвески грузового автомобиля. В первую очередь, применением малолистовой рессоры, которая снижает «сухое» трение, существенно влияющего на уровень вибраций в этой полосе частот. Другим возможным путем является применение пневматической подвески спального места либо поддрессирование кабины с использованием пневмоэлементов [13]. Применение малолистовой рессоры является наиболее дешевым способом снижения вибраций.

Выводы. 1. Предложена и обоснована модель водителя в положении лежа на спальном месте грузового автомобиля. Проведены исследования методом виртуального моделирования влияния толщины прокладки на уровень вибраций на спальном месте.

2. Проведенными расчетными исследованиями установлено, что:

- изменение толщины прокладки подушки спального места в пределах 60–120 мм практически не влияет на изменение уровня вибраций водителя в положении лежа. Уровень вибраций на спальном месте в третьоктавных полосах частот 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,1; 4; 5,3; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25 Гц составляет соответственно 0,046; 0,2; 0,365; 0,78; 0,76; 0,64; 0,5; 0,57; 0,62; 0,705; 0,77; 0,7; 0,61; 0,53 м/с².

- в третьоктавных полосах частот 2,5; 3,1; 4 Гц при движении по бульжному шоссе имеет место превышение уровня допустимых вибраций на 25–50 %.

- снизить уровень вибраций в полосе 2,5–4 Гц частот можно путем совершенствования основной подвески грузового автомобиля. В первую очередь, применением малолистовой рессоры, которая снижает «сухое» трение, существенно влияющее на уровень вибраций в этой полосе частот. Другим возможным путем является применение пневматической подвески спального места либо поддрессирование кабины с использованием пневмоэлементов. Применение малолистовой рессоры является наиболее дешевым способом снижения вибраций.
- выбор толщины прокладки для подушки спального места больше обуславливается физиологическими факторами — обеспечением равномерного распределения давления на тело водителя и систему кровообращения.

3. Исходя из опыта производителей оптимальная толщина подушки составляет 70–80 мм.

Работа выполнена в ООО «Мидивисана».

Список литературы

1. An in vehicle physiological signal monitoring system for Driver fatigue detection / Ye Sun [et al.] // Transportation Research. Part C: Emerging Technologies Submitted to the 3rd International Conference on Road Safety and Simulation, September 14–16, 2011, Indianapolis, USA.
2. Evaluating the Impact of Whole-Body Vibration (WBV) on Fatigue and the Implications for Driver Safety / Wendy M. [et al.] // Research Report. — Santa Monica: the RAND Corporation, Calif. — 2015. — Available at: www.rand.org/t/rr1057/ (accessed 8 Jan. 2015).
3. The effect of rest-schedule orientation on sleep quality of commercial drivers / Filiatrault [et al.] // Annual Proceedings Association for the Advancement of Automotive Medicine. — 1999. — Vol. 43. — Pp. 329–343.
4. Ishimatsu, Kazuma. Effects of whole-body vibration on visual information processing / Ishimatsu Kazuma, Nobuyuki Shibata, Setsuo Maeda // Japanese Journal of Psychonomic Science. — 2009. — Vol. 28, № 1. — Pp. 179–180.
5. Mabbott, Nick. Heavy vehicle seat vibration and driver fatigue / Mabbott Nick, Gary Foster, and Barbara McPhee; Canberra: Australian Transport Safety Bureau, Department of Transport and Regional Services, July 2001, report number CR 203, Sept. 16, 2015. — Access mode: https://infrastructure.gov.au/roads/safety/publications/2001/pdf/Fatig_Trans_8.pdf. — Data of access: 08.01.2015.
6. Михайлов, В.Г. Исследования системы поддрессирования сиденья водителя грузового автомобиля: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.03/ В.Г. Михайлов. — Минск: БПИ, 1982. — 231 с.
7. Микулик, Т.Н. Определение влияния параметров подвески сиденья водителя на вибрационную мощность / Т.Н. Микулик // Грузовик &. — 2008. — № 4. — С. 33–34.
8. Хачатуров, А.А. Динамика системы «дорога — шина — автомобиль — водитель» / А.А. Хачатурова; под ред. А.А. Хачатурова. — Машиностроение, 1976. — 535 с.

9. Шишкин, В.И. Динамические и эргономические исследования и оптимизация характеристик взаимодействия водителя и автомобиля: дис. ...канд. техн. наук: 05.05.03/ В.И. Шишкин. — Горький, 1977. — 234 с.
10. Михайлов, В.Г. Анализ моделей трения в подвесках транспортных средств / В.Г. Михайлов // Трение и износ. — 2014. — Т. 2, № 35. — С. 198–206.
11. Михайлов, В.Г. Анализ вибронгруженности штабной машины / В.Г. Михайлов, Д.В. Мишута // Сб. науч. трудов Военной Академии Респ. Беларусь. — 2016. — Вып. № 1(50). — С. 159–164.
12. Вибрация и удар. Измерение общей вибрации и оценка ее воздействия на человека. Ч. 1. Общие требования: ГОСТ 31191.1-2004 (ISO 2631-1:1997). — Введ.: 01.07.2008. — М.: Стандартиформ, 2008.
13. Михайлов, В.Г. Оценка эффективности систем поддресоривания грузового автомобиля / В.Г. Михайлов, Д.В. Мишута // Автомобил. пром-сть. — 2016. — № 5. — С. 16–20.

MIKHAILOV Vladimir G., Cand. Tech. Sc.

Leading Engineer¹

E-mail: sapr7@mail.ru

MISHUTA Dmitry V., Cand. Tech. Sc.

Adviser of the General Director for Foreign Economic Relations¹

E-mail: info@midivisana.by

¹OSC “Midivisana”, Minsk, Republic of Belarus

Received 15 February 2016.

ESTIMATION OF VIBRATION ON A BERTH OF DRIVER OF TRUCK

Questions of a mode of behaviour and rest of drivers, vibrations on a berth of the truck, the influencing road traffic safety are considered. It is noticed that drivers can spend a considerable part of time to ways at long trips on a berth and vibration negatively affect their condition. Together the driver spends a considerable part of time to ways on a berth and vibration negatively affect its condition. The mathematical model of fluctuations of the driver on a berth and the block-scheme of its realisation in package Matlab/Simulink is offered, allowing a settlement way to define level of vibrations on a berth. Probe of influence of a layer pad of a pillow on level of vibrations on a berth is conducted. The estimation of level of vibrations on a lorry berth is given. It is revealed that in 1/3 octave bands of frequencies 2,5; 3,1; 4 Hz excess of level of admissible vibrations on 25–50 % takes place. To lower level of vibrations it is possible only by perfection of the basic suspender of the truck. It is established that change of a thickness of a layer pad of a pillow of a berth practically does not influence change of level of vibrations of the driver in a prone position. The choice of a thickness of a layer pad for a seat pillow is more caused by physiological factors—maintenance of an equal distribution of pressure upon a body of the driver and blood circulation system. To lower level of vibrations it is possible by application springs with small number of sheets or a berth or cabin pneumocushioning.

Keywords: truck, vehicle, pillow layer pad, a berth, vibration, modelling of fluctuations on a berth of the driver

References

1. Ye Sun, Xiong Yu, Jim Berilla, Zhen Liu, Ye Sun, Guangxi Wu. An in vehicle physiological signal monitoring system for Driver fatigue detection. *Transportation Research. Part C: Emerging Technologies. Proc. the 3rd International Conference on Road Safety and Simulation*. USA, Indianapolis, 2011, September 14–16.
2. Wendy M. Troxel, Todd C. Helmus, Flavia Tsang, Carter C. Evaluating the Impact of Whole-Body Vibration (WBV) on Fatigue and the Implications for Driver Safety. *Research Report*. Available at: www.rand.org/t/rr1057/ (accessed 8 January 2015).
3. Filiatrault, Daniel D., John Vavrik, Boris Kuzeljevic, Peter J. Cooper. The Effect of Rest-Schedule Orientation on Sleep Quality of Commercial Drivers. *Annual Proceedings Association for the Advancement of Automotive Medicine*, 1999, vol. 43, pp. 329–343.
4. Ishimatsu Kazuma, Nobuyuki Shibata, Setsuo Maeda. Effects of whole-body vibration on visual information processing. *Japanese Journal of Psychonomic Science*, 2009, vol. 28, no. 1, pp. 179–180.
5. Mabbott Nick, Gary Foster, Barbara McPhee. Heavy vehicle seat vibration and driver fatigue. Canberra, Australian Transport Safety Bureau, department of Transport and Regional Services, July 2001, report number CR 203. Available at: https://infrastructure.gov.au/roads/safety/publications/2001/pdf/Fatig_Trans_8.pdf (accessed 8 January 2015).
6. Mikhailov V.G. *Issledovanie sistemy podressorivaniya siden'ja voditel'ja gruzovogo avtomobil'ja*. Diss. kand. tehn. nauk [Research of system of a Suspender of a seat of the driver of the truck. Cand. tech. sci. diss.]. Minsk, 1982, BPI. 231 p.
7. Mikulik T.N. Opređenje vlijanija parametrov podveskis iden'ja voditel'ja na vibracionnuju moshhnost' [Definition of influence of parametres of a suspender of a seat of the driver on vibrating capacity]. *Gruzovik* [The autotruck], 2008, no. 4, pp. 33–34.
8. Hachaturov A.A. *Dinamika sistemy "doroga — shina — avtomobil" — voditel'* [Dynamics of system “road — the tyre — the car — the driver”]. Mashinostroenie, 1976. 535 p.
9. Shishkin V.I. *Dinamicheskie i jergonomicheskie issledovanija i optimizacija harakteristik vzaimodejstvija voditel'ja i avtomobil'ja*. Diss. kand. tehn. nauk [Dynamic both ergonomic probes and optimisation of characteristics of interaction of the driver and the car. Cand. tech. sc. diss.]. Gorky, 1977. 234 p.
10. Mikhailov V.G. Analiz modelej trenija v podveskah transportnyh sredstv [The analysis of friction models in suspensions of vehicles]. *Trenie i iznos* [Friction and deterioration], 2014, vol. 2, no. 35, pp. 198–206.
11. Mikhailov V.G., Mishuta D.V. Analiz vibronagruzhennosti shtabnoj mashiny [The analysis of vibration of the staff car]. *Sb. nauch. Trudov Voennoj Akademii Resp. Belarus'* [Col. Science Works of Military Academy Rep. Belarus], 2016, no. 1, pp. 88–92.
12. GOST 31191.1-2004 (ISO 2631-1:1997) *Vibracija i udar. Izmerenie obshhej vibracii i ocenka ee vozdejstvija na cheloveka*. Chast' 1. Obshhie trebovanija [Vibration and blow. Measurement of the general vibration and an estimation of its influence on the person. Part 1. General requirements]. Moscow, Standartinform Publ., 2004. 10 p.
13. Mikhailov V.G. Ocenka jeffektivnosti sistem podressorivaniya gruzovogo avtomobil'ja [Estimation of efficiency of systems of a cushioning of the truck]. *Avtomobil'naja promyshlennost'* [Automobile industry], 2016, no. 5, pp. 16–20.