

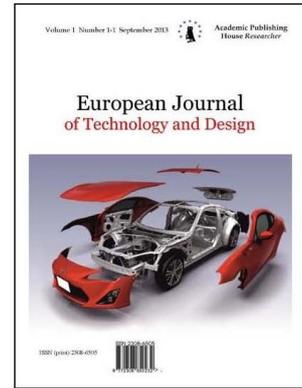
Copyright © 2014 by Academic Publishing House *Researcher*Published in the Russian Federation
European Journal of Technology and Design
Has been issued since 2013.

ISSN: 2308-6505

E-ISSN: 2310-3450

Vol. 4, No. 2, pp. 73-80, 2014

DOI: 10.13187/issn.2308-6505

www.ejournal4.com

UDC 534.833:621

Study of the Human-operator Vibroprotection Systems

Oleg S. Kochetov

Moscow state university of instrument making and informatics, Russian Federation

Dr. Sci. Tech., Professor

E-mail: o_kochetov@mail.ru

Abstract. The work studies the new means of human-operator protection against hyper vibration, provides constructive schemes of vibration-isolating seat suspension for human-operator and vibration-isolating platform for vibroactive equipment operation.

Keywords: the seat suspension bracket; the vibroisolated scaffold; the mathematical model; the directing mechanism; the anti-vibration device; damper of dry friction.

Введение. В связи с тем, что вибрация является одним из основных вредных производственных факторов, то одной из актуальных задач исследователей на современном этапе является создание эффективных технических средств виброзащиты производственного персонала от их воздействия [5-10].

Подвеска сиденья и виброизолирующая система помоста для человека-оператора должны обладать равночастотными свойствами, т.е. эффективностью, которая бы незначительно менялась от нагрузки, при ее изменении до 50 % (вес операторов изменяется от 60...120 кг), при этом частота собственных колебаний виброизолирующих подвесок и систем с оператором должна находиться в диапазоне частот 2...5 Гц, т.е. быть ниже частот вибровозбуждения основного класса технологических машин и оборудования.

На рис. 1 изображен общий вид виброзащитного сиденья с равночастотными свойствами [2]. Виброзащитная подвеска сиденья содержит механизм стабилизации крена, состоящий из цилиндрического корпуса 1, к которому крепится подушка сиденья, кареток 2 и 3 с упругими элементами 4 и 5, причем корпус 1 через ось 6 соединен с параллелограммным механизмом, состоящим из подвижной 7 и неподвижной 10 П-образных скоб. Рычаги 9 параллелограммного механизма расположены в опорах качения 8, а упругий элемент 11 имеет возможность настройки заданной на вес оператора жесткости системы посредством регулирующего механизма 12.

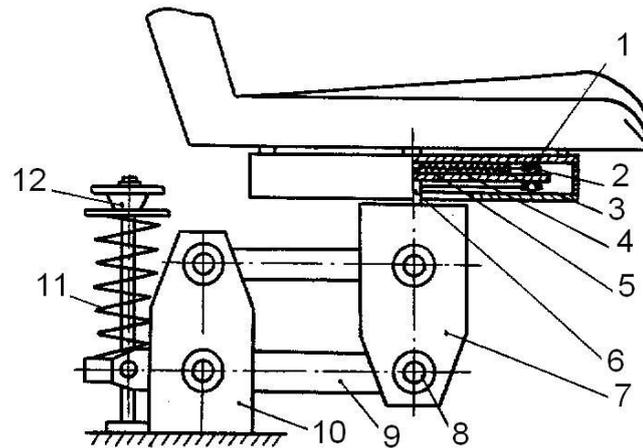


Рис. 1. Общий вид подвески сиденья с направляющим механизмом параллелограммного типа

Вертикальные вибрации, передаваемые на сиденье оператора, гасятся упругим элементом 11, а горизонтальные – упругими элементами 4 и 5 в механизме стабилизации крена.

На рис. 2 изображена принципиальная схема виброизолированного помоста [5, 7, 22]. Упругие элементы виброизолятора 4 могут быть выполнены в виде цилиндрических винтовых пружин [5], или пакета тарельчатых упругих элементов [6, 7], состоящих из последовательно соединенных тарельчатых упругих элементов 3 (рис. 3а), внутренняя поверхность которых взаимодействует с расположенной с ними соосно втулкой 2, жестко связанной со стержнем 6, проходящим через отверстие в опорной поверхности 7 помоста. Стопорный механизм, используемый при перевороте помоста во время уборки цеха, представлен контргайками 5 и 6. На (рис. 3б) изображена конструктивная схема виброизолятора, когда пакет тарельчатых упругих элементов центрируется по внешнему диаметру.

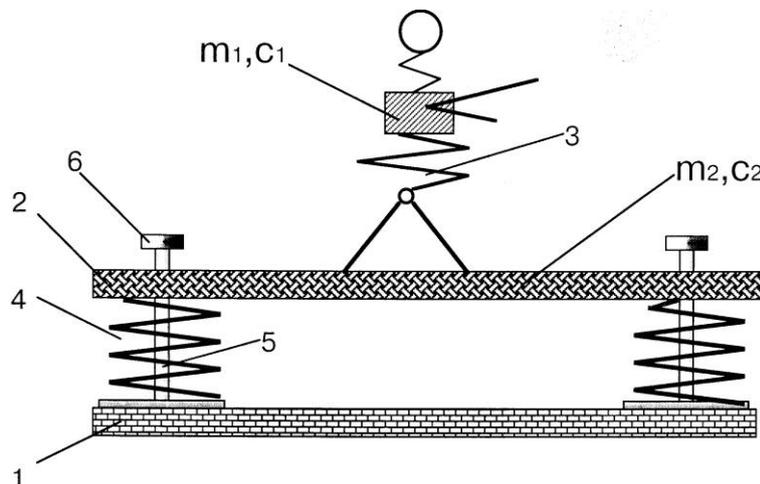


Рис. 2. Схема виброизолированного помоста:

1 – каркас, выполненный из металлических уголков, 2 – деревянный настил, являющийся опорной поверхностью для оператора 3; 4 – виброизолятор с направляющим устройством 5; 6 – стопорный механизм, используемый при перевороте помоста во время уборки цеха

а)

б)

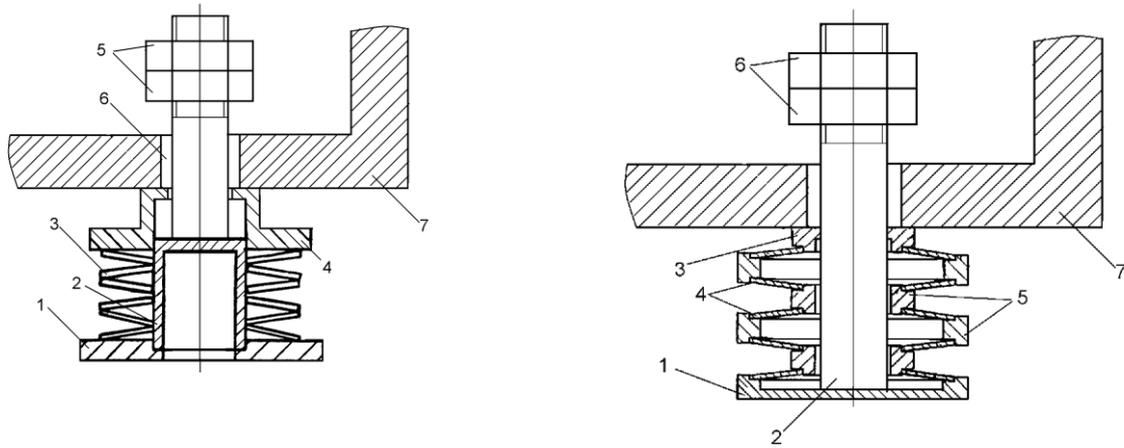


Рис. 3. Общий вид упругих элементов виброизоляторов для помоста:
 а) с тарельчатыми упругими элементами, центрирующимися по внутреннему диаметру,
 б) – по внешнему диаметру

Для аналитического исследования виброколебаний в механической системе «помост-оператор» или «сиденье-оператор» и для выбора рациональных и оптимальных конструктивных параметров виброизолирующих устройств для этих объектов, необходима математическая модель, адекватно описывающая динамику процесса виброизоляции. Данным требованиям отвечает двухмассовая модель (рис. 4) системы «объект-оператор» [3, 4], учитывающая биодинамические характеристики тела человека-оператора. В этой модели тело человека-оператора представлено в виде динамического гасителя колебаний с массой m_1 , жесткостью c_1 и демпфированием b_1 , а масса, жесткость и демпфирование виброизолирующего помоста соответственно m_2 , c_2 и b_2 , причем Z_1 и Z_2 - абсолютные перемещения соответственно масс m_1 и m_2 , а U - абсолютное перемещение основания (межэтажного перекрытия) производственного помещения.

В рамках выбранной модели динамика рассматриваемой системы виброизоляции описывается следующей системой обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} m_1 s^2 Z_1 + b_1 s(Z_1 - Z_2) + c_1(Z_1 - Z_2) = 0, \\ m_2 s^2 Z_2 + b_2 s(Z_2 - Z_1) + c_2(Z_2 - Z_1) + b_2 s(Z_2 - U) + c_2(Z_2 - U) = 0 \end{cases} \quad (1)$$

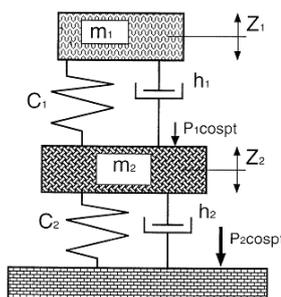


Рис. 4. Математическая двухмассовая модель системы «объект-оператор».

В работах [1-5] представлен анализ виброизолирующих свойств системы через передаточную функцию $T(s)$ по каналу «виброскорость основания - виброскорость сиденья», где $s = j\omega$ комплексная частота, j - мнимая единица, ω - круговая частота колебаний. Передаточная функция $T(s)$ найдена из (1) посредством метода преобразования Лапласа:

$$T(s) = \frac{z_2}{U} = \frac{(m_1 s^2 + b_1 s + c_1)(b_2 s + c_2)}{(m_1 s^2 + b_1 s + c_1)(m_2 s^2 + b_1 s + c_1 + b_2 s + c_2) - (b_1 s + c_1)^2}. \quad (2)$$

На рис. 5а представлено сиденье водителя сельскохозяйственной техники [8, 9], которое содержит основание 1, каркас 2 с подушкой 5 и спинкой 6, связанные между собой посредством рычажного направляющего устройства 3. К каркасу 2 прикреплена планка 7, которая связана посредством шарнирного рычага 9 с основанием виброизолирующего устройства 8. К каркасу 2 крепится устройство 4 электрического типа для обогрева подушки и спинки сиденья.

а)

б)

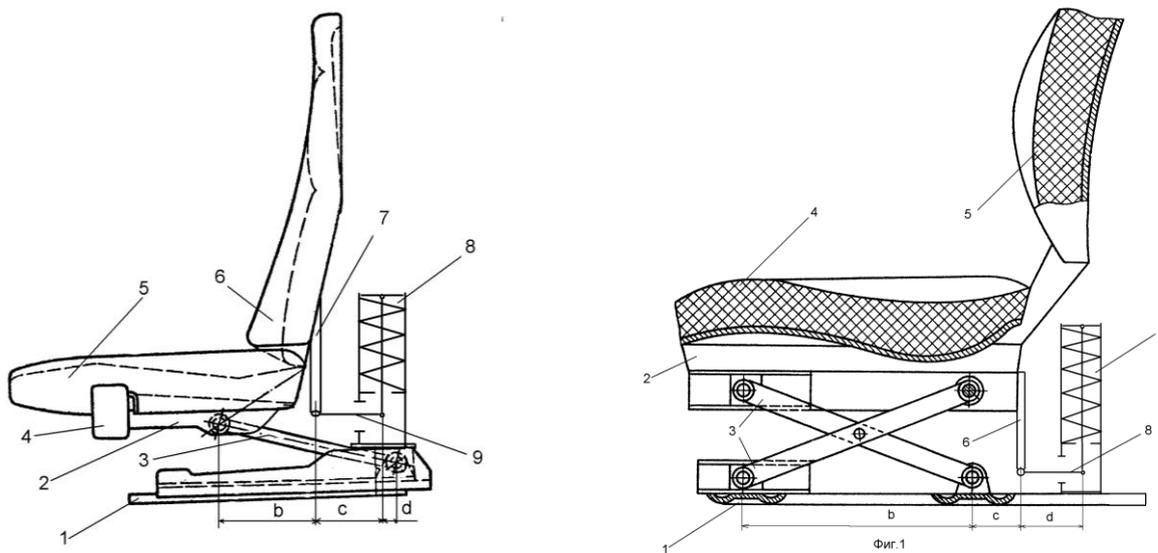


Рис. 5. Общий вид подвески сиденья:

а) с рычажным направляющим механизмом, б) с направляющим механизмом типа «ножницы».

На рис. 5б представлено сиденье оператора самоходной техники [10], которое содержит основание 1, каркас 2 с подушкой 4 и спинкой 5, связанные между собой посредством направляющего устройства 3, выполненного по типу «ножниц», причем к каркасу 2 прикреплен кронштейн 6, связанный шарнирно с опорной плитой 8 виброизолирующего устройства 7. Виброизолирующее устройство каждой из представленных схем сиденья оператора может быть выполнено с демпфером сухого трения [11, 12]: втулочного (рис. 6а) или лепесткового (рис. 6б) типов. Втулочный демпфер сухого трения (рис. 6а) содержит упругий элемент 4, корпус 1, который выполнен в виде двух противоположно расположенных относительно торцов цилиндрической винтовой пружины 4 верхней 2 и нижней 1 полых гильз Т-образной формы, фиксирующих пружину 4 своей торцевой поверхностью. На торце верхней гильзы 2 закреплена упругая втулка 3, с жесткостью, превосходящей жесткость пружины 4 в десять раз. Втулка 5 выполнена из фрикционного материала и расположена между внешней поверхностью верхней гильзы 2 и внутренней поверхностью нижней гильзы 1, которая с требуемым усилием прижимает втулку 5 из фрикционного материала к внешней поверхности верхней гильзы 2, создавая при этом эффект «сухого трения».

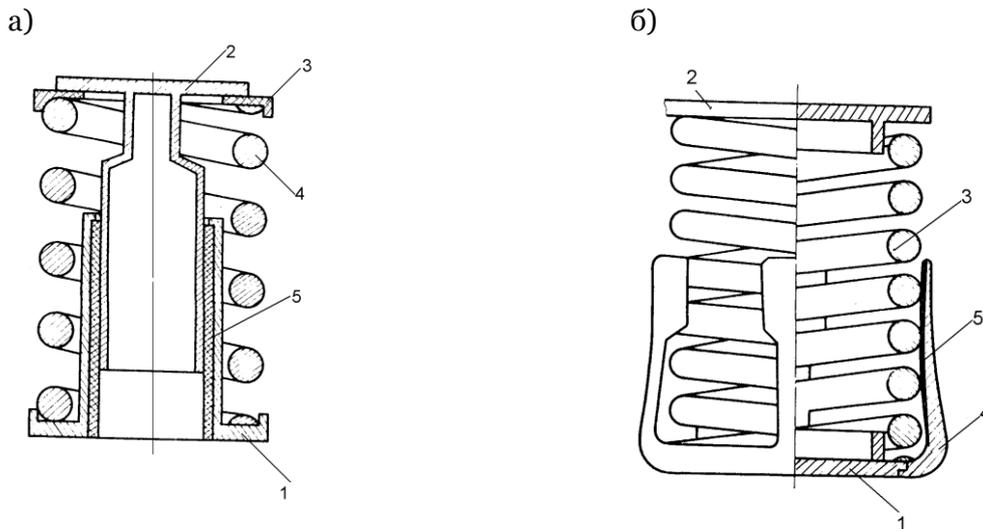


Рис. 6. Общий вид виброизолирующего устройства подвески сиденья с демпфером сухого трения: а) втулочного типа, б) с лепестками

Демпфер сухого трения лепесткового типа (рис. 6б) содержит упругий элемент 3, корпус 1, который выполнен в виде двух оппозитно расположенных относительно торцев цилиндрической винтовой пружины 3 верхней 2 и нижней 1 втулок, фиксирующих пружину 3 своей внешней поверхностью. Демпфирующий элемент сухого трения выполнен в виде, по крайней мере трех упругих лепестков 4, жестко связанных с нижней втулкой 1, и охватывающих с определенным усилием внешнюю поверхность пружины 3. Изнутри лепестки 4 покрыты слоем фрикционного материала 5, усиливающего эффект «сухого демпфирования».

На ПЭВМ по предложенной модели был проведен анализ динамических характеристик и найдены рациональные технические параметры подвески сиденья для операторов основовязальных машин с учетом регламентируемых санитарно-гигиенических требований.

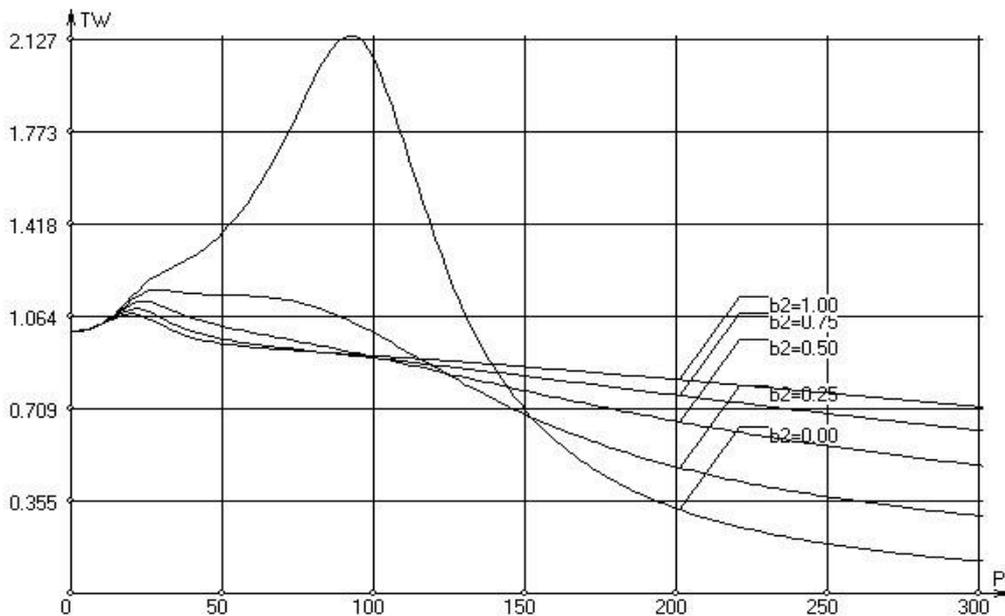


Рис. 7. Динамические характеристики системы «оператор на виброизолирующем помосте» при следующих параметрах: $P_1 = 80$ кгс; $\omega_1 = 25,4$ с⁻¹; $\beta_1 = 0,6$; $P_2 = 50$ кгс; $\omega_2 = 62,8$ с⁻¹; β_2 (var 0...1).

В расчетах задавались следующие параметры:

- человека-оператора – $m_1=80\text{кг}$, $b_1=52700\text{ Н/м}$, $c_1=1070\text{ Нс/м}$.

- подвески сиденья – $m_2=50\text{кг}$, $b_2=90000\text{ Н/м}$, $c_2=5000\text{ Нс/м}$.

Результаты расчетов позволили определить оптимальные параметры виброизолированной подвески сиденья оператора: собственная частота колебаний - 12,56 рад/сек, относительное демпфирование - 0,5.

Выводы:

1. Результаты расчета разработанных схем виброизолирующих подвесок сидений и помостов на базе упругих элементов с сухим трением подтвердили правильность выбора математической модели для расчета амплитудно-частотных характеристик на ПЭВМ с учетом биодинамических характеристик тела человека-оператора, которое ведет себя в этих системах как динамический гаситель колебаний с частотой порядка 4 Гц.

2. Разработанные конструкции виброизолирующих подвесок сиденья и помоста человека-оператора с собственной частотой подвеса порядка 12,56 рад/с и относительным демпфированием, равным 0,5, могут применяться на рабочих местах с повышенным уровнем вибрации, при этом снижение вибрации наблюдается до 2...3 раз, и укладывается в санитарные нормы [13, 14].

Примечания:

1. Кочетов О.С. Расчет виброзащитного сиденья оператора. // Безопасность труда в промышленности, 2009, № 11. С. 32-35.

2. Кочетов О.С., Щербаков В.И., Филимонов А.Б., Терешкина В.И. Двухмассовая механическая модель виброизолирующего помоста основовязальных машин // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 1995, № 5. С. 92-95.

3. Сажин Б.С., Кочетов О.С., Пирогова Н.В., Петухова И.В. Расчет динамических характеристик подвески сиденья для текстильных машин // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2000. № 1. С. 95-100.

4. Сажин Б.С., Кочетов О.С., Чунаев М.В., Швецова И.Н. Расчет на ПЭВМ динамических характеристик виброизолирующего помоста основовязальных машин // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2001, № 6. С. 87-93.

5. Кочетов О.С., Кочетова М.О., Ходакова Т.Д., Петухова А.В. Виброизолированный помост. // Патент РФ на изобретение № 2298120. Опубликовано 27.04.2007. Бюллетень изобретений № 12.

6. Кочетов О.С. Виброизолированный помост для оператора. // Патент РФ на изобретение № 2385429. Опубликовано 27.03.2010. Бюллетень изобретений № 9.

7. Кочетов О.С., Стареева М.О. Виброизолированный помост оператора. // Патент РФ на изобретение № 2451850. Опубликовано 27.05.2012. Бюллетень изобретений № 15.

8. Кочетов О.С., Кочетова М.О., Ходакова Т.Д. Сиденье оператора самоходной техники. // Патент РФ на изобретение № 2281864. Опубликовано 20.08.2006. Бюллетень изобретений № 23.

9. Кочетов О.С., Кочетова М.О., Ходакова Т.Д., Шестернинов А.В., Елин А.М., Куличенко А.В. Сиденье водителя сельскохозяйственной техники. // Патент РФ на изобретение № 2279358. Опубликовано 10.07.2006. Бюллетень изобретений № 19.

10. Кочетов О.С. Сиденье водителя самоходной техники. // Патент РФ на изобретение № 2381919. Опубликовано 20.02.2010. Бюллетень изобретений № 5.

11. Кочетов О.С., Кочетова М.О., Ходакова Т.Д., Шестернинов А.В., Стареев М. Виброизолятор с демпфером сухого трения. // Патент РФ на изобретение № 2282076. Опубликовано 20.08.2006. Бюллетень изобретений № 23.

12. Кочетов О.С., Кочетова М.О., Ходакова Т.Д., Шестернинов А.В., Стареев М.Е. Виброизолятор с сухим трением. // Патент РФ на изобретение № 2279592. Опубликовано 10.07.2006. Бюллетень изобретений № 19.

13. ГОСТ 12.1.012 - 90. ССБТ. Вибрация. Общие требования безопасности. М.: Госстандарт, 1991, 31 с.

14. Кочетов О.С., Гетия С.И. Оценка улучшения условий труда по эргономическим показателям. // Человек и труд, 2009, № 12, С. 59-61.

15. Баранов Е.Ф., Кочетов О.С. Расчет на ПЭВМ динамических характеристик системы человека-оператора // Речной транспорт (XXI век). 2009. № 2. С. 79-81.
16. Кочетов О.С. Расчет пространственной системы виброзащиты. // Безопасность труда в промышленности, 2009, № 8, С. 32-37.
18. Кочетов О.С. Расчет виброзащитного сиденья оператора. // Безопасность труда в промышленности, 2009, № 11. С. 32-35.
19. Кочетов О.С. Динамические характеристики виброзащитной системы человека-оператора. Интернет-журнал "Технологии техносферной безопасности" (<http://ipb.mos.ru/ttb>). 2013. Выпуск № 4 (50).
20. Кочетов О.С., Муравей Л.А., Веряскин А.А., Новичков С.А., Бабушкин О.Ю., Стареева М.О. Сиденье оператора самоходной техники // Патент РФ на изобретение № 2451608. Опубликовано 27.05.2012. Бюллетень изобретений № 15.
21. Кочетов О.С., Стареева М.О. Виброизолятор // Патент РФ на изобретение № 2451849. Опубликовано 27.05.2012. Бюллетень изобретений № 15.
22. Кочетов О.С., Стареева М.О. Виброизолированный помост оператора // Патент РФ на изобретение № 2451850. Опубликовано 27.05.2012. Бюллетень изобретений № 15.

References:

1. Kochetov O.S. Raschet vibrozashchitnogo siden'ya operatora. // Bezopasnost' truda v promyshlennosti, 2009, № 11. S. 32-35.
2. Kochetov O.S., Shcherbakov V.I., Filimonov A.B., Tereshkina V.I. Dvukhmassovaya mekhanicheskaya model' vibroizoliruyushchego pomosta osnovovoyazal'nykh mashin // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noi promyshlennosti. 1995, № 5. S. 92-95.
3. Sazhin B.S., Kochetov O.S., Pirogova N.V., Petukhova I.V. Raschet dinamicheskikh kharakteristik podveski siden'ya dlya tekstil'nykh mashin // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noi promyshlennosti. 2000. № 1. S. 95-100.
4. Sazhin B.S., Kochetov O.S., Chunaev M.V., Shvetsova I.N. Raschet na PEVM dinamicheskikh kharakteristik vibroizoliruyushchego pomosta osnovovoyazal'nykh mashin // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noi promyshlennosti. 2001, № 6. S. 87-93.
5. Kochetov O.S., Kochetova M.O., Khodakova T.D., Petukhova A.V. Vibroizolirovannyi pomost. // Patent RF na izobretenie № 2298120. Opublikovano 27.04.2007. Byulleten' izobretenii № 12.
6. Kochetov O.S. Vibroizolirovannyi pomost dlya operatora. // Patent RF na izobretenie № 2385429. Opublikovano 27.03.2010. Byulleten' izobretenii № 9.
7. Kochetov O.S., Stareeva M.O. Vibroizolirovannyi pomost operatora. // Patent RF na izobretenie № 2451850. Opublikovano 27.05.2012. Byulleten' izobretenii № 15.
8. Kochetov O.S., Kochetova M.O., Khodakova T.D. Siden'e operatora samokhodnoi tekhniki. // Patent RF na izobretenie № 2281864. Opublikovano 20.08.2006. Byulleten' izobretenii № 23.
9. Kochetov O.S., Kochetova M.O., Khodakova T.D., Shesterninov A.V., Elin A.M., Kulichenko A.V. Siden'e voditelya sel'skokhozyaistvennoi tekhniki. // Patent RF na izobretenie № 2279358. Opublikovano 10.07.2006. Byulleten' izobretenii № 19.
10. Kochetov O.S. Siden'e voditelya samokhodnoi tekhniki. // Patent RF na izobretenie № 2381919. Opublikovano 20.02.2010. Byulleten' izobretenii № 5.
11. Kochetov O.S., Kochetova M.O., Khodakova T.D., Shesterninov A.V., Stareev M. Vibroizolyator s dempferom sukhogo treniya. // Patent RF na izobretenie № 2282076. Opublikovano 20.08.2006. Byulleten' izobretenii № 23.
12. Kochetov O.S., Kochetova M.O., Khodakova T.D., Shesterninov A.V., Stareev M.E. Vibroizolyator s sukhim treniem. // Patent RF na izobretenie № 2279592. Opublikovano 10.07.2006. Byulleten' izobretenii № 19.
13. GOST 12.1.012 - 90. SSBT. Vibratsiya. Obshchie trebovaniya bezopasnosti. M.: Gosstandart, 1991, 31 s.
14. Kochetov O.S., Getiya S.I. Otsenka uluchsheniya uslovii truda po ergonomicheskim pokazatelyam. // Chelovek i trud, 2009, № 12, S. 59-61.

15. Baranov E.F., Kochetov O.S. Raschet na PEVM dinamicheskikh kharakteristik sistemy cheloveka-operatora // Rechnoi transport (XXI vek). 2009. № 2. S. 79-81.
16. Kochetov O.S. Raschet prostranstvennoi sistemy vibrozashchity. // Bezopasnost' truda v promyshlennosti, 2009, № 8, S. 32-37.
18. Kochetov O.S. Raschet vibrozashchitnogo siden'ya operatora. // Bezopasnost' truda v promyshlennosti, 2009, № 11. S. 32-35.
19. Kochetov O.S. Dinamicheskie kharakteristiki vibrozashchitnoi sistemy cheloveka-operatora. Internet-zhurnal "Tekhnologii tekhnosfernoi bezopasnosti" (<http://ipb.mos.ru/ttb>). 2013. Vypusk № 4 (50).
20. Kochetov O.S., Muravei L.A., Veryaskin A.A., Novichkov S.A., Babushkin O.Yu., Stareeva M.O. Siden'e operatora samokhodnoi tekhniki // Patent RF na izobretenie № 2451608. Opublikovano 27.05.2012. Byulleten' izobretenii № 15.
21. Kochetov O.S., Stareeva M.O. Vibroizolyator // Patent RF na izobretenie № 2451849. Opublikovano 27.05.2012. Byulleten' izobretenii № 15.
22. Kochetov O.S., Stareeva M.O. Vibroizolirovannyi pomost operatora // Patent RF na izobretenie № 2451850. Opublikovano 27.05.2012. Byulleten' izobretenii № 15.

УДК 534.833:621

Исследование систем виброзащиты для человека-оператора

Олег Савельевич Кочетов

Московский государственный университет приборостроения и информатики, Российская Федерация
Доктор технических наук, профессор
E-mail: o_kochetov@mail.ru

Аннотация. В работе исследованы новые средства защиты человека-оператора от повышенных уровней вибрации. Приведены конструктивные схемы виброизолирующих подвесок сиденья для человека-оператора и виброизолированных помостов для обслуживания виброактивного оборудования.

Ключевые слова: подвеска сиденья; виброизолированный помост; математическая модель; направляющий механизм; виброизолирующее устройство; демпфер сухого трения.