

ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ



Научная статья


УДК 621.9.06:628.5

<https://doi.org/10.23947/2541-9129-2023-1-28-38>

Снижение виброакустической активности плавучих средств при использовании вибродемпфирующих материалов

А. В. Будовский  , Ю. И. Булыгин , А. В. Павликов , А. В. Трюхан 

Донской государственный технический университет, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1

 k55355396@gmail.com

Аннотация

Введение. Электрические машины, дизельные установки, насосные агрегаты и вентиляторы, а также рабочие органы земснарядов (трубопроводы, черпаки, рыхлители и т. д.) являются основными источниками шума и вибрации на плавучих средствах. Причем главными вредными факторами при эксплуатации плавучих кранов и земснарядов выступают как сама вибрация, так и сопутствующие ей явления инфразвука и структурного шума. Одной из наиболее актуальных задач по внедрению на плавучих средствах методов техносферной безопасности является снижение вредного воздействия на здоровье персонала виброакустических факторов. Цель представленного исследования — улучшение условий труда машинистов плавучих средств за счет внедрения предложенной авторами методики проектирования систем виброзащиты, учитывающей как внешние факторы (температура среды), так и динамические характеристики вибродемпфирующих материалов. Показана возможность выбора наиболее рационального вибродемпфирующего материала на основе инженерного расчёта требуемой виброизоляции.

Материалы и методы. Применен пассивный метод борьбы с вибрацией, при котором в конструкции плавучего средства используются элементы упругости и вибродемпфирующий материал. Идентифицированы источники шума и вибрации, а также определены их фактические уровни воздействия. Выполнен анализ динамических характеристик и свойств вибродемпфирующих материалов, выявлены факторы, оказывающие влияние на эффективность вибродемпфирования.

Результаты исследования. Разработана расчетная схема модели виброгашения на рабочем месте машиниста плавучего средства. Создана аналитическая база динамических характеристик и свойств вибродемпфирующих материалов. К плавучим средствам адаптирована инженерная методика расчета эффективности виброизоляции. Выполнены расчеты эффективности виброизоляции при использовании различных вибродемпфирующих материалов разной толщины, на основании которых доказаны преимущества виброгасящего настила из эластомерной пластины ВЭП20.

Обсуждение и заключения. Разработанная в Excel инженерная методика расчета эффективности виброизоляции автоматизирована и имеет удобный интерфейс. Это позволяет осуществлять расчет и обоснованный подбор многослойных конструкций с учетом температуры внешней среды, а также динамических характеристик вибродемпфирующих материалов в зависимости от спектра шума и вибрации. Полученные результаты можно использовать при проектировании систем виброзащиты машинистов плавучих средств.

Ключевые слова: вибродемпфирующие материалы, виброгашение, плавучие средства, земснаряды, виброакустический фактор, коэффициент потерь.

Для цитирования. Снижение виброакустической активности плавучих средств при использовании вибродемпфирующих материалов / А. В. Будовский, Ю. И. Булыгин, А. В. Павликов, А. В. Трюхан // Безопасность техногенных и природных систем. — 2023. — № 1. — С. 28–38. <https://doi.org/10.23947/2541-9129-2023-1-28-38>

©Будовский А. В., Булыгин Ю. И., Павликов А. В., Трюхан А. В., 2023

Reduction of Watercrafts Vibroacoustic Activity by Vibration Damping Materials

Aleksandr V. Budovskiy ✉, Yuriy I. Bulygin , Aleksandr V. Pavlikov , Aleksandr V. Tryukhan 

Don State Technical University, 1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, Russian Federation

Abstract

Introduction. Electric machines, diesel installations, pumping units and fans, as well as working bodies of dredgers (pipelines, scoops, rippers, etc.) are the main sources of noise and vibration on watercrafts. Moreover, the main harmful factors in the operation of floating cranes and dredgers are both the vibration itself and the accompanying phenomena of infrasound and structural noise. One of the most urgent tasks for the introduction of technosphere safety methods on watercrafts is to reduce the harmful effects of vibroacoustic factors on the health of personnel. The research objective is to improve the working conditions of watercrafts drivers by introducing the method of designing vibration protection systems proposed by the authors, taking into account both the external factors (ambient temperature) and the dynamic characteristics of vibration damping materials. The possibility of choosing the most rational vibration damping material based on the engineering calculation of the required vibration insulation is shown.

Materials and Methods. A passive method of vibration control has been applied, in which elastic elements and vibration damping material are used in the watercraft design. The sources of noise and vibration have been identified, and their actual exposure levels have been determined. The analysis of dynamic characteristics and properties of vibration damping materials is carried out. The factors influencing the efficiency of vibration damping are revealed.

Results. A design scheme of the vibration damping model at the workplace of the watercraft driver has been developed. An analytical database of dynamic characteristics and properties of vibration damping materials has been created. An engineering method for calculating the effectiveness of vibration insulation has been adapted to watercrafts. The calculations of the effectiveness of vibration insulation using various vibration damping materials of different thicknesses have been performed, on the basis of which the advantages of vibration damping flooring made of elastomeric plate VEP20 have been proved.

Discussion and Conclusion. The engineering methodology developed in Excel for calculating the effectiveness of vibration insulation is automated and has a user-friendly interface. This allows you to calculate and reasonably select multilayer structures taking into account the ambient temperature, as well as the dynamic characteristics of vibration damping materials depending on the spectrum of noise and vibration. The results obtained can be used in the design of vibration protection systems for watercraft drivers.

Keywords: vibration damping materials, vibration damping, watercrafts, dredgers, vibration acoustic factor, loss coefficient.

For citation. A. V. Budovskiy, Yu. I. Bulygin, A. V. Pavlikov, A. V. Tryukhan. Reduction of Watercrafts Vibroacoustic Activity by Vibration Damping Materials. Safety of Technogenic and Natural Systems, 2023, no.1, pp. 28–38. <https://doi.org/10.23947/2541-9129-2023-1-28-38>

Введение. Сложность определения оптимального уровня виброизоляции связана с идентификацией источников виброакустической активности и зависит от конструктивных особенностей плавучего средства. Кроме того, эффективность виброизоляции зависит и от динамических свойств самих виброгасящих материалов. В свою очередь, на динамические характеристики вибродемпфирующих материалов влияют условия внешней среды (температура) и спектры колебаний.

Чтобы уменьшить виброакустическую активность плавучих средств, необходимо решить комплекс взаимосвязанных задач:

- установить основные источники шума и вибрации, а также их фактические уровни воздействия;
- разработать модели виброгашения и расчетные схемы для системы виброзащиты машиниста плавучего средства на рабочем месте;
- провести аналитический обзор научных исследований по поводу определения динамических характеристик материалов, оказывающих влияние на эффективность вибродемпфирования;
- определить точные динамические характеристики вибродемпфирующих материалов, в том числе коэффициент потерь колебательной энергии с учетом спектра колебаний и температуры¹.

Решение вышеперечисленных задач позволит предложить обоснованную методику инженерного расчета виброизоляции на основе виброгасящих материалов с учетом специфики объекта исследования.

¹Авдонин В. В. Вибропоглощающие композиционные покрытия: дис. ... канд. техн. наук. Саранск, 2015. 123 с.

Материалы и методы. Для снижения уровней вибрации использовались методы виброакустической защиты машиниста плавучего средства, они заключались в применении упругодемпфирующего элемента в разрабатываемой конструкции.

В качестве объекта исследования выбран земснаряд для производства добычных работ — плавучая землесосная установка ПЗУ-8М (рис. 1). Она используется КТ «Крым-Инвестстрой и Компания» при разработке Сасыкского месторождения песчано-гравийной смеси в реке Крым. В машинах такого типа источником шума и вибрации является оборудование, монтируемое на понтонах (рис. 1).

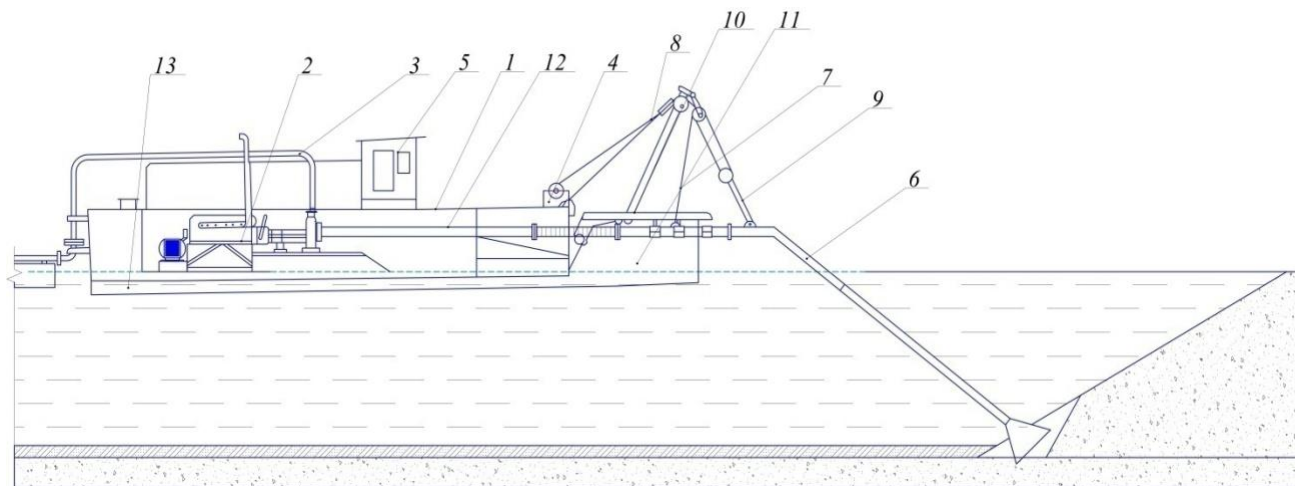


Рис. 1. Схема плавучей землесосной установки ПЗУ-8М: 1 — корпус; 2 — двигатель 3Д6СН; 3 — напорный пульпопровод; 4 — лебедка подъема рамы рыхлителя; 5 — рубка управления; 6 — всасывающий патрубок; 7 — укосина; 8 — подвеска укосины; 9 — полиспаст подвески рамы всасывающего патрубка; 10 — подъемная рама рыхлителя; 11 — понтон боковой; 12 — напорный трубопровод; 13 — понтон центральный

Существует проблема получения достоверной информации об уровнях шума и вибрации на данном оборудовании. Зачастую эти данные могут присутствовать в протоколах результатов специальной оценки условий труда (СОУТ) либо в специальной литературе (руководящий документ, ГОСТ), а также в научно-технической литературе (диссертации, статьи, отчеты)² [1, 2]. Однако степень их достоверности различна, что обуславливает необходимость планирования и проведения измерений шума и вибрации непосредственно на объекте.

Так, например, фактические уровни шума дизель-насоса 3Д6СН, установленного на платформе земснаряда ПЗУ-8М, приводятся в руководящем документе³ и представлены на рис. 2.

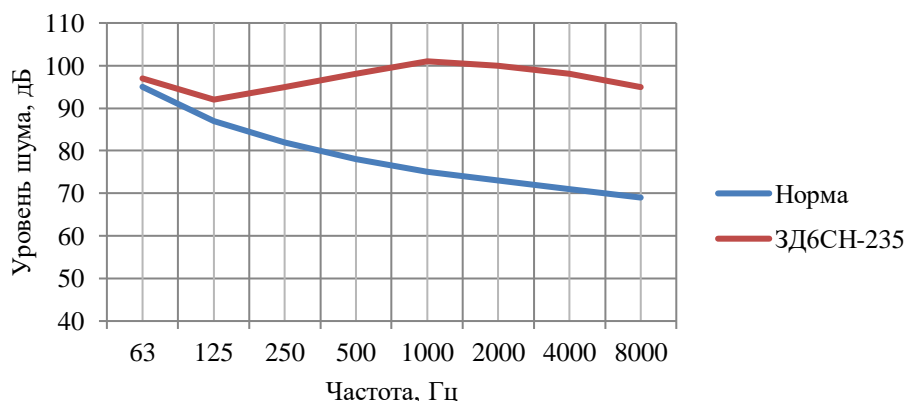


Рис. 2. Сравнение фактического уровня звукового давления дизель-насоса 3Д6СН с санитарно-гигиенической нормой⁴

²Щербакова О. В. Виброизоляция структурного шума на судах: автореферат дис. ... канд. техн. наук. Новосибирск, 2014. 20 с.

³РД 31.81.81-90. Рекомендации по снижению шума на судах морского флота. Утверждены решением Минморфлота 04.04.1991. Ленинград, 1991. 67 с.

⁴Об утверждении Методики проведения специальной оценки условий труда, Классификатора вредных и (или) опасных производственных факторов, формы отчета о проведении специальной оценки условий труда и инструкции по ее заполнению: приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 24 января 2014 года № 33н / Гарант: [сайт]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_158398/ (дата обращения: 15.02.2023).

Судя по данным на рис. 2, требуемая шумоизоляция достигает 26 дБ при частоте 1000 Гц, что является одной из причин высоких уровней шума и вибрации, передаваемых от дизель-насоса в рубку машиниста.

В рассматриваемом случае КТ «Крым-Инвестстрой и Компания» предоставила авторам протоколы с результатами измерений на рабочих местах уровней звукового давления и виброускорения, которые были получены в рамках проведенной в организации СОУТ в марте-апреле 2017 года. Поскольку в протоколах измерений представлены эквивалентные уровни шума, измеренные в соответствии с методикой трижды, необходимо разложить уровень звукового давления в спектр по Осипову⁵ для получения полной спектральной характеристики шума.

В результате анализа данных протокола по уровням шума и вибрации получены спектральные характеристики шума (рис. 3). Эти значения фактических уровней звукового давления на рабочих местах машиниста и помощника машиниста земснаряда ПЗУ-8М позволили выявить превышение санитарно-гигиенических норм, которое соответствовало вредному классу условий труда 3.2. Фактические значения параметра вибрации, в свою очередь, соответствовали классу условий труда 3.1, было установлено также превышение по скорректированным уровням на 6,3 дБ (рис. 4).

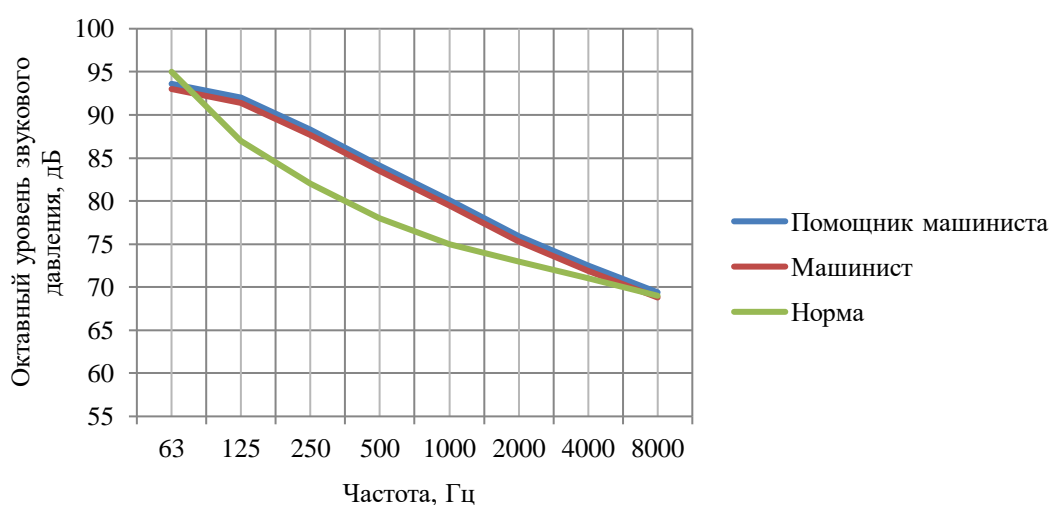


Рис. 3. Результаты СОУТ машиниста и помощника машиниста земснаряда по фактору «шум»

Таким образом, уровни звукового давления и виброускорения, измеренные прибором «Шумомер-виброметр «Экофизика 110А» в соответствии с методикой⁴ в рамках СОУТ, в дальнейшем будем считать достоверными (рис. 3, 4).

Средства защиты от вибрации и шума могут воздействовать на сам источник возбуждения или на пути его распространения. Необходимо стараться реализовать технические решения по шумо- и виброзащите на стадии проектирования машин. Когда это не выполнено, приходится заниматься этим уже на этапе эксплуатации.

К средствам защиты от передаваемых в рубку машиниста земснаряда вибрации и шума относятся вибродемпфирующие (вибропоглощающие) покрытия. Их основное назначение — снижение виброакустической активности источников шума и вибрации.

⁵Звукоизоляция и звукопоглощение: учеб. пособие. Под ред. Г. Л. Осипова. Москва: Астрель, 2004. 450 с.

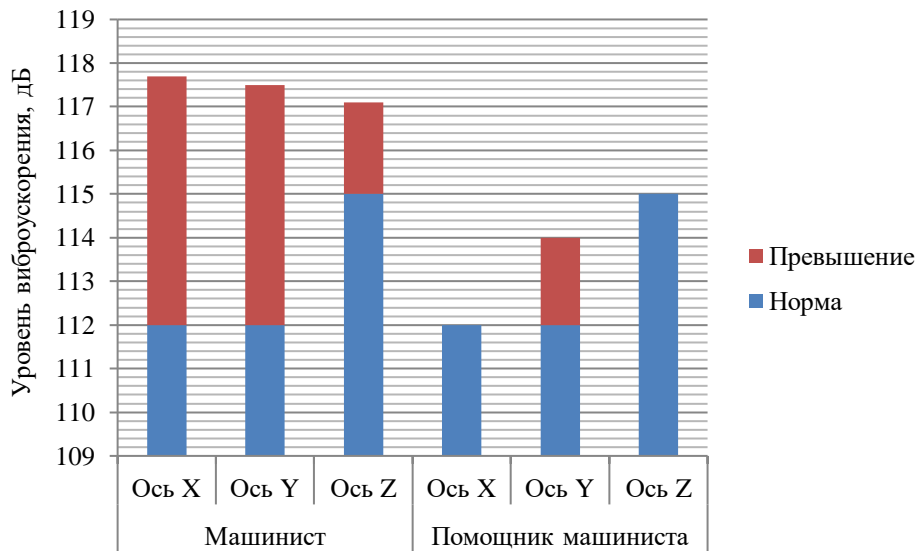


Рис. 4. Результаты СОУТ машиниста и помощника машиниста земснаряда по фактору «вибрация»

Результаты исследования. *Расчетная схема модели виброгашения.* На рис. 5 представлена расчетная схема системы виброгашения на рабочем месте машиниста земснаряда. Так как масса виброгасящего коврика $m_{\text{п}}$ мала, в сравнении с массой платформы m_1 , то влиянием его движения на колебания платформы пренебрегаем. Основная конструкция массой m_1 не опирается на виброизоляторы с приведенной жесткостью. Также не учитываем влияние на виброизоляцию колебаний от воды. Виброгаситель (коврик) связан с основной массой виброизоляторами с приведенной жесткостью C_2 и демпферами с приведенным коэффициентом вязкого сопротивления r .

Расчетная схема системы виброгашения на рабочем месте машиниста земснаряда описана аналитически системой дифференциальных уравнений (1)–(3) (рис. 5).

По данной расчетной схеме справедливы следующие соотношения параметров, участвующих в модельных уравнениях:

$$C_2 = E \cdot \frac{h^3}{12(1-\mu^2)}, m_2 = m_{\text{п}} + m_{\text{ч}}, r = 2m_2 \cdot f_i \cdot \eta_{\Sigma}, F(t) = m_{\text{п}} \cdot g \cdot a, \quad (1)$$

где E — модуль упругости, Па; μ — коэффициент Пуассона; $m_{\text{ч}}$ — масса человека (машиниста), кг; η_{Σ} — суммарный коэффициент потерь колебательной энергии; $F(t)$ — внешняя сила воздействия, Н.

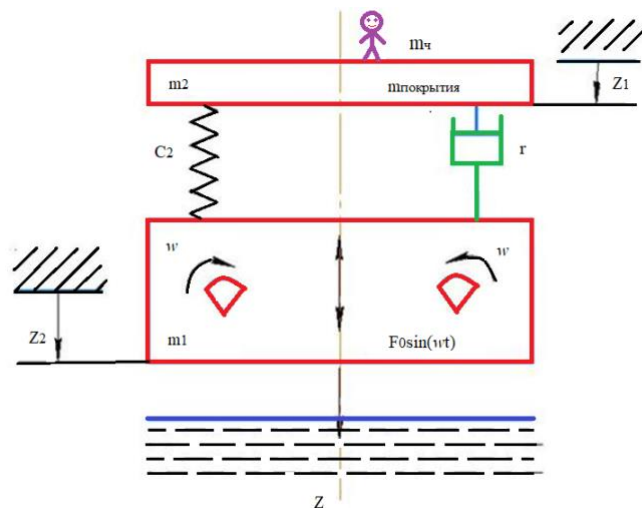


Рис. 5. Расчетная схема системы виброгашения на рабочем месте машиниста земснаряда

Дифференциальные уравнения движения имеют вид:

$$m_1 z_1'' + r z_1' + C_2 z_1 - r z_2' - C_2 z_2 = F_0 \sin(\omega t) \quad (2)$$

$$m_2 z_2'' - r z_2' - C_2 z_1 + r z_2' - C_2 z_2 = 0, \quad (3)$$

где z_1, z_2 — виброперемещения платформы и виброгасящего настила, м; F_0 — амплитуда внешней возмущающей силы, Н; ω — круговая частота вращения, рад/с.

Система дифференциальных уравнений (2) и (3) в последующем может быть решена как аналитически, так и численными методами.

Однако для целей инженерного расчета, как представляется авторам, вполне приемлемы упрощенные зависимости, когда нет необходимости в точном определении параметров виброгашения.

Алгоритм расчета эффективности виброизоляции. Эффективность вибродемпфирования в конструкциях и элементах конструкций определяется через коэффициент потерь η , который характеризуется отношением энергии, поглощаемой в системе за цикл колебаний ($W_{\text{погл}}$), к максимальной потенциальной энергии в системе ($W_{\text{пот}}$):

$$\eta = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{W_{\text{погл}}}{W_{\text{пот}}} \quad (4)$$

Для расчёта эффективности виброгасящих настилов на рабочем месте машиниста земснаряда ПЗУ-8М используем коэффициент потерь колебательной энергии, который определяется для однослойной конструкции по формуле⁶:

$$\eta = \frac{\frac{E_1 \cdot h_1^3}{12(1-\mu_1^2)} \eta_1 + \frac{E_2 \cdot h_2^3}{12(1-\mu_2^2)} \eta_2}{\frac{E_1 \cdot h_1^3}{12(1-\mu_1^2)} + \frac{E_2 \cdot h_2^3}{12(1-\mu_2^2)}}, \quad (5)$$

где E_1 и E_2 — модули упругости стальной трубчатой платформы и виброгасящего настила, Па; η_1 и η_2 — эффективные коэффициенты потерь колебательной энергии стали и настила; h_1 и h_2 — толщина стального листа обшивки платформы и виброгасящего настила, мм; μ_1 и μ_2 — коэффициенты Пуассона стали и материала настила.

Расчётное снижение октавных уровней звукового давления определяется по формуле:

$$\Delta L = 10 \cdot \lg \frac{\eta}{\eta_{\text{основн}}}, \quad (6)$$

где $\eta_{\text{основн}} = \eta_{\text{платформы}} = 10^{-4}$.

Аналитическая база динамических характеристик и свойств вибродемпфирующих материалов.

Сложность определения коэффициента потерь колебательной энергии материалов η связана с отсутствием в литературных источниках проверенных зависимостей η от температуры T и от частотного спектра f . Лишь в источнике¹ имеется некоторая информация о динамических характеристиках некоторых материалов и веществ. Анализ научной литературы показывает, что по данному вопросу также существует ограниченное количество диссертационных исследований, например, в [3] рассматриваются только особенности виброгасящих материалов, используемых в строительстве. Отсутствие достаточной информации о спектре динамических характеристик вибродемпфирующих материалов заставляет в будущем планировать проведение экспериментальных исследований для определения η . На данном этапе исследования в результате анализа доступных литературных источников были собраны и представлены в таблице 1 динамические характеристики некоторых материалов, используемых в качестве виброизолирующих настилов на рабочих местах [4–7].

Рассчитаем ожидаемые снижения уровней шума и вибрации на рабочем месте машиниста земснаряда в зависимости от толщины демпфирующих элементов по формулам (4)–(6). Из справочных данных для стали имеем: $E_1 = 2 \cdot 10^{11}$ Па, $\eta_1 = 10^{-4}$, $\mu_1 = 0,28$, толщина стального листа обшивки платформы земснаряда составляет $h_1 = 1,5$ мм. Динамические характеристики вибродемпфирующих материалов выбираем из таблицы 1. Результаты расчетов представлены на рис. 6. Анализ вычисленных с помощью формулы (6) значений ожидаемого снижения уровней звукового давления и виброускорения при применении вибродемпфирующих материалов позволил сделать ряд выводов.

Таблица 1

Фрагмент создаваемой базы данных динамических характеристик вибродемпфирующих материалов (составлено авторами)

Материал	Эффективный коэффициент потерь колебательной энергии, η	Модуль упругости $E \cdot 10^{-8}$, Па	Коэффициент Пуассона, μ
Войлок	0,2	5	0
Линолеум 1	0,21	7	0,4
Резина 8797	0,2	0,1	0,4
Виброгасящие эластомерные пластины ⁷			

⁶Чукарин А. Н. Виброакустические основы расчета металлорежущих станков на стадии их проектирования: автореферат дис. ... доктора техн. наук. Ростов-на-Дону, 1995. 29 с.

Материал	Эффективный коэффициент потерь колебательной энергии, η	Модуль упругости $E \cdot 10^{-8}$, Па	Коэффициент Пуассона, μ
ВЭП 10	0,25	0,11	0,025
ВЭП 20	0,3	0,14	0,07
ВЭП 4	0,13	0,11	0,06
Эластомерные вибродемпфирующие пластины Nowelle ⁸			
Nowellemod 1	0,25	0,1	0,03
Nowellemod2	0,13	0,1	0,06
Nowellemod3	0,24	0,11	0,09
Nowellemod4	0,26	0,07	0,09

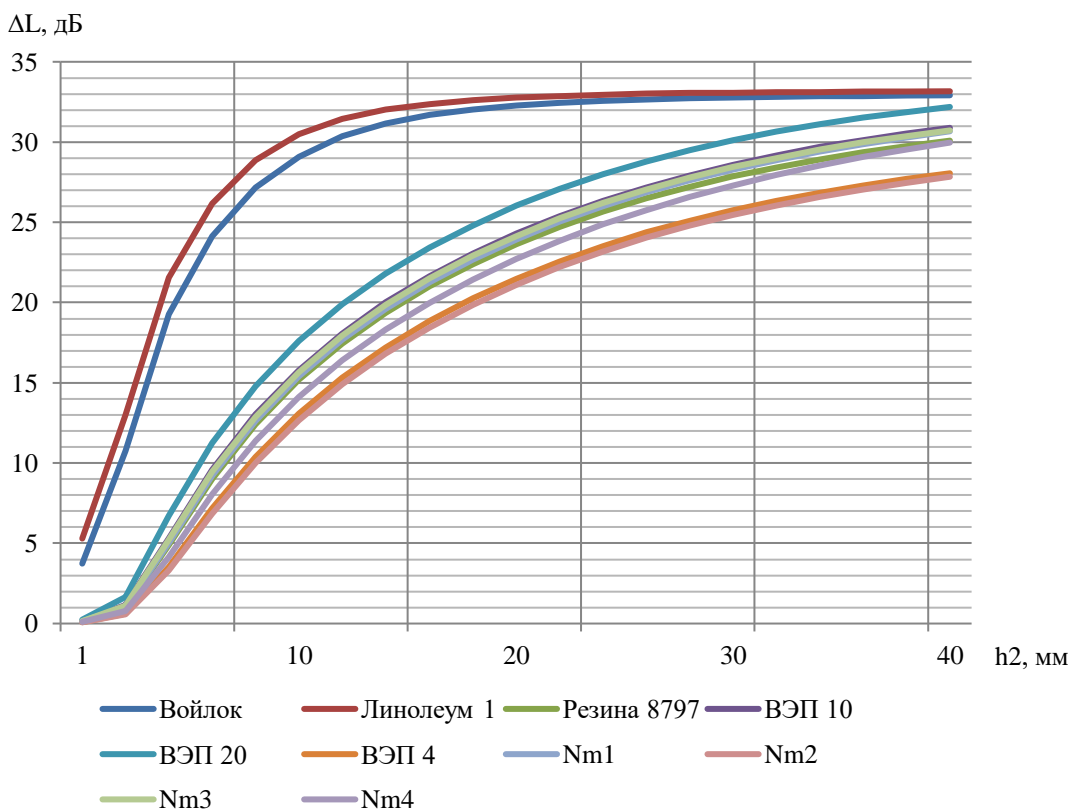


Рис. 6. График зависимости снижения уровня звукового давления от толщины вибродемпфирующего материала h_2 , мм

Такие материалы, как войлок и линолеум 1, при относительно небольшой толщине покрытия (до 40 мм) обеспечивают более эффективную шумо- и виброизоляцию по сравнению с другими материалами. Однако в дальнейшем увеличение толщины нерезинового покрытия (от 40 до 60 мм и выше) не оказывает влияния на эффективность изоляции рабочего места (рис. 7).

Наоборот, результаты расчета эффективности виброгашения показывают, что при толщине покрытия более 49 мм эффективность материалов из эластомерной пластины ВЭП20 увеличивается и продолжает расти, по сравнению с такими материалами, как войлок и линолеум (рис. 7). А при толщине виброгасящего настила ВЭП20 $h_2=4$ мм достигается снижение уровней звукового давления и виброускорения до санитарно-гигиенических норм.

Таким образом, произведенные расчеты эффективности виброизоляции при использовании различных вибродемпфирующих материалов разной толщины показали преимущества виброгасящего настила из эластомерной пластины ВЭП20 по сравнению с другими материалами.

⁷Виброгасящие эластомерные пластины. ТУ 2534-002-61734928-2013 / Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов: [сайт]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/437156319> (дата обращения: 15.02.2023).

⁸Эластомерные вибродемпфирующие пластины Nowelle. ТУ 2534-001-32461352-2015 / Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов: [сайт]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/437156318> (дата обращения: 15.02.2023).

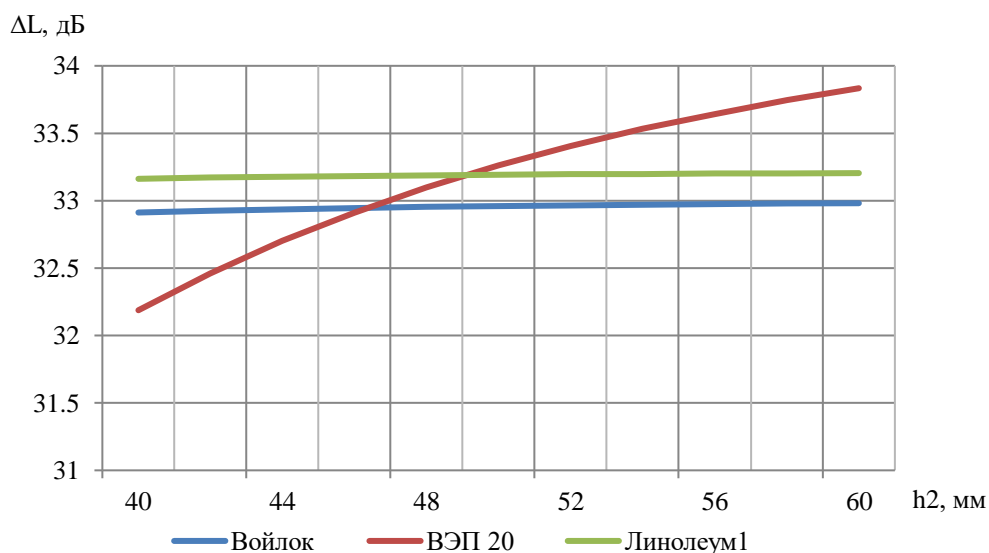


Рис. 7. Сравнение эффективности снижения уровней звукового давления за счёт вибродемпфирования платформы земснаряда резиновой пластиной, войлоком и линолеумом 1, где h_2 — толщина виброгасящего настила, мм

Значимость свойств вибродемпфирующих материалов. Следует пояснить, что вышеприведенный расчёт вибро- и шумоизоляции произведен для частного случая, когда динамические характеристики не изменяются от температуры, спектра шума и вибрации. В реальных условиях эксплуатации под воздействием внешней температуры и частотного спектра колебаний существенно изменяются значения динамических модулей упругости и коэффициентов потерь колебательной энергии демпфирующих материалов, которые, в свою очередь, определяются их химическим строением и молекулярной подвижностью, внутри- и межмолекулярным взаимодействием.

Из зависимости (7) следует, что при низких температурах окружающей среды (ниже 0°C) полимеры находятся в стеклообразном состоянии, а значит, их динамические модули упругости достигают величины 10^9 Па. И наоборот, при высоких температурах (28°C и выше), когда полимерные материалы находятся в высокоэластичном состоянии, величины модулей упругости снижаются до 10^5 — 10^6 Па.

Эффективный коэффициент потерь колебательной энергии полимеров зависит от величины:

$$\omega\tau_1 = \frac{2\tau_1\pi}{T}, \quad (7)$$

где τ_1 — время релаксации; T — период колебаний.

Величина эффективного коэффициента потерь полимера напрямую зависит от его температуры. По этой причине его значение будет возрастать с уменьшением температуры окружающей среды. При низких температурах полимерный материал ведет себя так же, как и при высоких частотах колебаний. С ростом температуры или с уменьшением частоты ωT_1 убывает, потери колебательной энергии сначала увеличиваются, затем, после перехода через максимум (при $\omega T_1=1$), уменьшаются.

При высоких внешних температурах или при низких частотах модуль упругости и эффективный коэффициент потерь достаточно малы.

Проведение экспериментальных исследований динамических характеристик виброгасящих материалов имеет большое значение при проектировании комплексных систем защиты машинистов плавучих средств [8–9]. Так, при отсутствии или недостаточной эффективности работы систем нормализации микроклимата в рубке плавучего средства возможно ухудшение демпфирующих свойств материалов и эффективности виброгашения покрытия (настила, коврика), находящегося под воздействием температур в условиях либо нагревающего, либо охлаждающего микроклимата⁹ [10].

Автоматизация инженерной методики расчета эффективности виброизоляции средствами Excel. Для оперативного изменения и подбора основных параметров вибродемпфирующего покрытия была разработана программа управления в Microsoft Excel (рис. 8, 9). На основе базы данных динамических характеристик вибродемпфирующих материалов программа автоматически определяет суммарный коэффициент потерь колебательной энергии всех слоёв настила, а также снижение уровня звукового давления.

⁹Масленский В. В. Улучшение условий труда операторов технологических и мобильных машин в условиях нагревающего микроклимата: автореферат дис. ... канд. техн. наук. Ростов-на-Дону, 2021. 20 с.

Исходные данные:							Коэффициент потерь колебательной энергии η	Модуль упругости E·10 ⁻⁸ , Па	Коэф. Пуассона μ	Толщина слоя, мм	Температура
Выбор платформы		Сталь		0,0001	2000	0,28	1,5	20			
Выбор вибродемпфирующего покрытия	1 слой	ВЭП 20		0,3	0,14	0,07	4				
	2 слой	Нет слоя		0	0	0	0				
	3 слой	Нет слоя		0	0	0	0				
	4 слой	Нет слоя		0	0	0	0				
Суммарный коэффициент потерь колебательной				0,000468233							
Снижение уровня звукового давления, дБ				6,704621434							

Рис. 8. Интерфейс программы автоматизированного расчёта эффективности виброизоляции в MS Excel

Исходные данные:							Коэффициент потерь колебательной энергии η	Модуль упругости E·10 ⁻⁸ , Па	Коэф. Пуассона μ	Толщина слоя, мм	Температура
Выбор платформы		Сталь		0,0001	2000	0,28	2	20			
Выбор вибродемпфирующего покрытия	1 слой	Резина 8797		0,2	0,1	0,4	3				
	2 слой	Латунь		0,3	1150	0,35	0,5				
	3 слой	Нет слоя		0	0	0	0				
	4 слой	Нет слоя		0	0	0	0				
				0,002939517							
				14,68275916							

Рис. 9. Использование базы данных вибродемпфирующих материалов при проектировании виброзащиты в MS Excel

На начальном этапе подготовки к расчёту оператору необходимо иметь следующие данные: количество слоёв настила (максимальное количество — 4), толщина каждого слоя, температура среды. Далее, подбирая материал каждого слоя, проектировщик виброзащиты добивается максимального снижения уровня звукового давления при заданных параметрах.

Обсуждение и заключение. Авторами выполнена автоматизация расчетов эффективности виброизоляции в Excel. Расчетный модуль указанной выше программы обеспечивается данными аналитической базы динамических характеристик и свойств вибродемпфирующих материалов, которая легко пополняется. Это позволяет осуществлять расчет и обоснованный подбор многослойных конструкций с учетом температуры внешней среды, а также динамических характеристик вибродемпфирующих материалов в зависимости от спектра шума и вибрации. Предлагаемая авторами методика расчёта и выбора вибродемпфирующего материала для систем виброзащиты машиниста может использоваться не только на стадии проектирования новых плавучих средств, но и в период эксплуатации существующих конструкций.

Список литературы

1. Егельская, Е. В. Влияние виброакустических характеристик силовых установок на уровни шума в кабинах плавучих кранов / Е. В. Егельская, А. В. Короткий // Вестник Донского государственного технического университета. — 2012. — Т. 16, № 1–2 (62). — С. 33–37.
2. Щербакова, О. В. Исследование требований санитарных норм, предъявляемых к вибрации и шуму на речном транспорте / О. В. Щербакова, М. К. Романченко // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. — 2010. — № 1. — С. 70–73.
3. Смирнов, В. А. Сравнительный анализ динамических характеристик эластичных пластмасс и резиновых вибродемпфирующих материалов / В. А. Смирнов, М. Ю. Смоляков // Строительные материалы. — 2018. — № 6. — С. 36–40.
4. Кирпичников, В. Ю. Высокоэффективные средства низкочастотного вибродемпфирования с упругим элементом из полимерной пленки / В. Ю. Кирпичников, А. И. Святковский, Ю. Ф. Шлемов // Судостроение. — 2020. — № 1 (848). — С. 44–47.
5. Защита РЭА от механических воздействий путем вибродемпфирования несущих конструкций и сопутствующие этому негативные факторы / П. Н. Володин, С. А. Бростилов, А. О. Бекбаулиев, Н. К. Юрков // Робототехника и системный анализ : сб. статей. Т. 1. — Пенза : Пензенский государственный технологический университет, 2015. — С. 86–89.
6. Лесняк, А. Н. К вопросу об эффективности применения вибродемпфирующих покрытий / А. Н. Лесняк, А. А. Пшеницын, А. Ю. Спиридонов // Судостроение. — 2015. — № 3 (820). — С. 39–41.
7. Скрипченко, Д. С. Методика проведения испытаний по определению динамического модуля упругости, динамического модуля сдвига и коэффициента потерь звукоизоляционных материалов / Д. С. Скрипченко, С. Н. Овсянников // Строительные материалы. — 2017. — № 6. — С. 55–58.
8. Yaitskov, I. A. Theoretical research of noise and vibration spectra in cabins of locomotive and diesel shunting locomotive / I. A. Yaitskov, A. N. Chukarin, T. A. Finotchenko // International Journal of Applied Engineering Research. — 2017. — Vol. 12, No. 21. — P. 10724–10730.
9. Основные аспекты оценки виброакустических факторов / Н. Х. Абдрахманов, А. В. Федосов, А. Н. Хамитова [и др.] // Безопасность техногенных и природных систем. — 2021. — № 3. — С. 13–22.
10. Elements of microclimate normalization system in the cabin of TORUM grain mandy combine/ В. Meskhi, Yu. Bulygin, E. Shchekina, V. Maslensky // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. — 2019. — Vol. 403. — Article 012089. [0.1088/1755-1315/403/1/012089](https://doi.org/10.1088/1755-1315/403/1/012089)

Поступила в редакцию 25.12.2022

Поступила после рецензирования 23.01.2023

Принята к публикации 26.01.2023

Об авторах:

Будовский Александр Владимирович, студент кафедры «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), [ORCID](https://orcid.org/0009-0001-9111-1111), k55355396@gmail.com

Булугин Юрий Игоревич, доктор технических наук, профессор кафедры «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), [ORCID](https://orcid.org/0009-0001-9111-1111), bulyur_rostov@mail.ru

Павликов Александр Владимирович, ассистент кафедры «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), [ORCID](https://orcid.org/0009-0001-9111-1111), sanya.pavlikov@mail.ru

Трюхан Александр Вадимович, аспирант кафедры «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), [ORCID](https://orcid.org/0009-0001-9111-1111), truykhan.alexandr@mail.ru

Заявленный вклад соавторов

Ю. И. Бульгин — формирование основной концепции, целей и задач исследования, доработка текста, корректировка выводов. А. В. Павликов — сбор и анализ результатов исследований. А. В. Будовский — проведение расчетов, подготовка текста. А. В. Трюхан — доработка текста, формирование выводов.

Конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.