

Аналитическая статья

УДК 331.432.4

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ АМОРТИЗАТОРОВ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ ВИБРАЦИИ

✉ Белодедова Анна Александровна.

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,

Санкт-Петербург, Россия

✉ belodedova.aa@edu.spbstu.ru

Аннотация. Анализируются способы защиты от вибрации, подробно изучается виброзащита путем применения амортизаторов. Виброблезнь является одним из ведущих профессиональных заболеваний, поэтому необходимо прилагать все усилия для её предотвращения. В статье уделяется внимание источникам вибрации, воздействию вибрации на организм человека, методам виброзащиты, описан наиболее эффективный метод защиты от вибрации. Также в статье подробно освещаются такие методы виброзащиты, как применение амортизаторов. Цель данного исследования – проведение анализа применения амортизаторов для защиты от вибрации, выявление их достоинств и недостатков. Рассматриваемая тема будет интересна специалистам, занимающимся снижением вибрации на рабочем месте. В дальнейшем эта статья может быть использована как вспомогательный материал улучшения средств защиты от вибрации.

Ключевые слова: вибрация, амортизаторы, виброблезнь, виброзащита, виброизоляция

Для цитирования: Белодедова А.А. Анализ применения амортизаторов для защиты от вибрации // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2023. № 2 (46). С. 67–73.

Analytical article

ANALYSIS OF THE USE OF SHOCK ABSORBERS TO PROTECT AGAINST VIBRATION

✉ Belodedova Anna A.

Peter the Great Saint-Petersburg polytechnic university, Saint-Petersburg, Russia

✉ belodedova.aa@edu.spbstu.ru

Abstract. The article analyzes the methods of protection against vibration, examines in detail the vibration protection using shock absorbers. Vibration disease is one of the leading occupational diseases, so it is necessary to make every effort to prevent it. The article pays attention to the sources of vibration, the effect of vibration on the human body, methods of vibration protection, describes the most effective method of protection against vibration. The article also covers in detail such methods of vibration protection as the use of shock absorbers. The purpose of this study was to analyze the use of shock absorbers to protect against vibration, to identify their advantages and disadvantages. The topic under consideration will be of interest to specialists engaged in reducing vibration in the workplace. In the future, this article can be used as an auxiliary material for improving vibration protection.

Keywords: vibration, shock absorbers, vibration disease, vibration protection, vibration isolation

For citation: Belodedova A.A. Analysis of the use of shock absorbers to protect against vibration // Prirodnye i tekhnogennye riski (fiziko-matematicheskie i prikladnye aspekty) = Natural and man-made risks (physico-mathematical and applied aspects). 2023. № 2 (46). P. 67–73.

Введение

Большинство работ на предприятиях выполняется с помощью машин, станков и ручного инструмента. Такое оборудование упрощает работу сотрудникам, но также влияет на их здоровье. В основном эти инструменты и машины провоцируют вибрацию, длительное действие которой негативно влияет на самочувствие работника. При продолжительном воздействии вибрации на человека может возникнуть вибрационная болезнь, которая находится на втором месте среди профессиональных заболеваний. Виброблезнь опасна тем, что она приводит к слабости в кистях рук, онемению пальцев рук, обморокам, судорогам и инвалидности. Основная проблема данной работы – большое количество сотрудников с виброблезнью. Его можно уменьшить путём обеспечения сотрудникам комфортных условий работы, защиты от вибрации.

Существует несколько методов виброзащиты. В первую очередь необходимо пытаться уменьшить вибрацию у источника её возникновения и на пути её распространения [1]. Если этого недостаточно, тогда работника обеспечивают средствами индивидуальной защиты (специальная обувь на микропоре, рукавицы, виброзащитные костюмы). В первом случае этого уменьшения можно достичь путём использования виброизоляции или вибропоглощения. Среди способов виброизоляции самым распространённым является установка машин на упругие опоры, то есть амортизация.

После анализа публикаций были выбраны статьи, авторы которых исследовали методы защиты от вибрации. Поиск осуществлялся по таким ключевым словам, как: «vibration», «vibration reduction», «vibration disease», «shock absorbers», «dampers», «pneumatic hammer disease». Общие тенденции в анализируемых работах – это предотвращение вибрации с помощью современных технологий, разработка систем защиты от вибрации, её влияние на человека.

Прежде чем перейти к методам виброзащиты, необходимо понимать, что источниками вибрации являются габаритные машины, ручной инструмент, вентиляционные установки, электромоторы, перфораторы, механическое оборудование. Причинами вибраций служат неуравновешенные вращающиеся массы и ударное взаимодействие соединяемых деталей, ослабление фундаментальных болтов [2, 3]. Также вибрация делится на две категории: общую и локальную, которые, в свою очередь, тоже имеют подкатегории. Наиболее опасная вибрация – локальная, так как она больше всего взаимодействует с частями тела человека.

На человека вибрация воздействует как функционально, так и физически. Так, при длительном воздействии работник чувствует повышенную утомляемость, нарушение координации движений, а физиологические нарушения – головная боль, раздражение, онемение пальцев рук, судороги, бессонница, обмороки, нарушение опорно-двигательного аппарата и сердечно-сосудистой системы [2]. Вибрация порождает шум, соответственно, возможные нарушения увеличиваются вдвое, поэтому необходимо обращать внимание не только на способы защиты от вибрации, но и от шума. Например, работников нужно обеспечить средствами индивидуальной защиты от шума, такие как беруши, наушники, шлемы. Кроме этого, продолжительное влияние вибрации и выполнение работы в напряженных позах может привести к виброблезни. Например, около 61 % работающих в литейных цехах имеют вибрационное заболевание [4].

Стоит обратить внимание на работы, описывающие методы защиты от вибрации [5, 6]. Существует несколько методов виброзащиты: усовершенствование в конструкциях машин и оборудования, использование амортизаторов, балансировка вращающихся частей машины, установка машин на фундаменты, которые должны быть ниже уровня пола [2]. Например, для ручного инструмента используется гаситель вибрации, прикреплённый к нему. Определенная жесткость пружины и дополнительная масса для поглотителя вибрации будут изменяться до тех пор, пока поглотитель вибрации не будет пригоден для использования на ручном инструменте. Также ручной инструмент может быть покрыт виброгасящим материалом, таким как пластмасса, поролон [7]. Помимо этого существуют разработки различных конструкций виброизоляции для рукоятки пневматического молотка. В одной из статей анализируется конструкция с применением упругой пружины, которая

уменьшает воздействие вибрации молотка [8]. Некоторые работы описывают различные виды амортизаторов, которые заглушают действие вибрации. Одна из них – применение амортизаторов туннельного типа из полиуретана, они могут работать при конечных деформациях и имеют высокие рассеивающие свойства [9]. В другой статье рассматривается схема пассивного управления, основанная на применении настроенного демпфера массы, чтобы минимизировать нежелательные влияния зазоров в планарных механизмах. Благодаря применению таких подходящих поглотителей, нежелательные эффекты зазорных соединений могут быть уменьшены [10]. Также описываются гасители вибрации (механическое устройство, которое демонстрирует вибрационную характеристику), которые уменьшают вибрацию в системе, к которой они присоединены, путем отвода энергии динамической деформации [11, 12].

Наиболее эффективным является метод с использованием KDamper. Вместо увеличения дополнительной массы, виброизоляция способность KDamper может быть повышена путем увеличения значения элемента отрицательной жесткости. Основой концепции поглощения вибрации на основе жесткости является тот факт, что во всем диапазоне частот существует адекватный уровень упругих сил, способных противодействовать силам инерции и внешнего возбуждения, тогда как силы демпфирования и силы инерции дополнительных масс остаются минимальными во всем частотном диапазоне, включая собственные частоты [13].

Таким образом, анализируя все статьи, можно сделать вывод, что виброзащита остаётся актуальной проблемой, так как с каждым годом изобретаются новые методы защиты от вибрации.

Цель данной статьи – провести анализ применения амортизаторов для защиты от вибрации, выявить их достоинства и недостатки.

В статье были использованы такие термины, как шум, вибрация, вибрационная болезнь, амортизатор, гаситель вибрации, средства индивидуальной защиты, виброизоляция и вибропоглощение.

Методы исследования

В основе написания данной статьи лежат такие эмпирические методы операции, как изучение научной литературы, связанной с вибрацией и методами защиты от неё, а особенно методы с применением амортизаторов. Кроме этого, был использован теоретический метод операции – сравнение – для определения наиболее эффективного способа защиты. Изучение учебных пособий и статей по вибрации и способам уменьшения её воздействия на человека способствовало достижению поставленной цели.

Как было упомянуто ранее, первым использовался метод изучения литературы. С помощью него происходило погружение в исследование для более точного достижения цели. Далее, использовался метод анализа, который разложил исследуемые пособия на части, имеющие одинаковую тематику. Можно выделить такие части, как причины возникновения вибрации, использование амортизаторов и других приспособлений для защиты от вибрации. Выявив строение и состав, следующим этапом идёт сравнение методов защиты с использованием амортизаторов, которое определит наиболее эффективный способ защиты. Заключительным методом является синтез, с помощью которого достоинства и недостатки амортизаторов будут соединены в единую таблицу, позволяющую определить действенность применения амортизаторов для снижения воздействия вибрации на человека.

Результаты исследования и их обсуждение

Применение амортизаторов является одним из способов виброизоляции. Суть их применения состоит в установлении дополнительного приспособления на пути распространения волн механических колебаний, которое, в свою очередь, отражает или поглощает некоторую часть энергии этих волн. Отражение заключается в работе амортизатора в качестве линейного фильтра нижних частот, а поглощение называется демпфированием, которое обуславливается рассеянием энергии в результате трения

в материале амортизатора [14]. Вид амортизации выбирают в зависимости от её частоты. Например, резиновая амортизация используется на частотах от 12 Гц, пробковая – от 20 Гц, металлорезиновая – не меньше 6 Гц, пружинная – при любой частоте, так как её диапазон зависит от жесткости пружины. Кроме этого, необходимо учитывать, что при определенной температуре резина может затвердеть, что приведёт к уменьшению упругости [2, 15].

Каждый амортизатор должен соответствовать следующим характеристикам:

- максимальная степень ослабления внешних динамических нагрузок;
- работоспособность в заданных условиях эксплуатации;
- экономичность в изготовлении и эксплуатации;
- минимальные габариты и масса.

Эффективность же виброизоляции характеризуется коэффициентом передачи μ . Это значение является критерием оценки виброизоляции и всегда должно быть меньше 1,0. Значение снижения силы, передаваемой по вибрации, можно определить из соотношения:

$$\mu = \frac{F_1}{F_0},$$

где F_1 – передаваемая сила от источника к приемнику вибрации; F_0 – возмущающая сила, создаваемая источником вибрации [16, 17].

Пружинные амортизаторы являются универсальным видом защиты от вибрации. Они имеют ряд преимуществ: могут применяться для изоляции как низких, так и высоких частот; дольше сохраняют постоянство упругих свойств во времени; хорошо противостоят высокой температуре; относительно малогабаритны. Однако они могут пропускать колебания высоких частот, так как материал пружин имеет малые внутренние потери [18]. Помимо этого используются пружинные амортизаторы с демпфированием. Если в металлорезиновых амортизаторах резиновый массив работает и как упругий элемент, и как демпфирующий, то в пружинном амортизаторе эти функции разделены вследствие того, что пружина не обладает внутренним трением. При использовании воздушного демпфера трение, возникающее при переходе воздуха через отверстие, обеспечивает необходимое поглощение вибрации.

Резиновые амортизаторы очень чувствительны к температуре. Например, при $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ они начинают затвердевать, упругость уменьшается, жесткость увеличивается, а частота собственных колебаний растёт. Высокая частота колебаний может быть опасна тем, что при её равенстве с частотой вынужденных колебаний существует большая вероятность возникновения резонанса, который приводит к резкому увеличению амплитуды колебаний. При ещё более низкой температуре резина становится непригодной для виброизоляции. Решить эту проблему можно заменой обычных марок резины на силиконовые, этот способ позволяет расширить температурный диапазон [14].

Металлорезиновые амортизаторы представляют собой комбинацию металлических пружин и резинового амортизатора. При эксплуатации амортизаторы находятся под воздействием как постоянных, так и переменных нагрузок [19].

Проанализировав свойства амортизаторов, была составлена таблица, указывающая на их преимущества и недостатки.

Таблица

Оценка применения амортизаторов

Достоинства	Недостатки
Максимальная степень ослабления внешних динамических нагрузок	Эффективны только в определенном диапазоне температуры
Экономичность в изготовлении и эксплуатации	Высокая частота собственных колебаний
Минимальные габариты и масса	Недостаточное внутреннее демпфирование
Некоторые виды амортизаторов могут применяться для защиты как от низких, так и от высоких частот	Старение материала в резиновых амортизаторах

Таким образом, можно сделать вывод, что применение амортизации имеет как достоинства, так и недостатки. Необходимо выбирать такие амортизаторы, которые наиболее подходят под определённый тип работы с учётом всех плюсов и минусов.

Однако исследователи не останавливаются на достигнутом и создают всё более эффективные амортизаторы. Так, основываясь на недостатках применения амортизаторов, были созданы пневматические виброизоляторы, обладающие наиболее низкими частотами собственных колебаний (около 2–4 Гц). Они широко используются в системах амортизации в автомобильном транспорте, в строительстве, в нефтегазовой и других отраслях [20].

Заключение

В ходе данного исследования были рассмотрены учебные пособия, которые раскрывают тему применения средств защиты от вибрации, были отобраны те статьи и учебники, которые относились к тематике использования амортизаторов для вибрационной защиты. Кроме этого, был проведен анализ и описание их применения, и выявлены преимущества их использования и недостатки.

Опираясь на приведённые ранее результаты, наиболее эффективными являются пневматические амортизаторы, но так как они изучены не так подробно, как все остальные, наиболее популярными в применении считаются пружинные амортизаторы. Конечно, этот вид имеет свои недостатки, такие как возможность пропускания колебаний высоких частот, но также пружина сохраняет упругость и не нуждается в применении только в определённом температурном диапазоне в отличие от резиновых амортизаторов.

Соблюдение нормированных показателей вибрации может предотвратить негативное воздействие этого фактора на человека. Хочется отметить, что каждому человеку, отвечающему за охрану труда на производстве, необходимо руководствоваться таким документом, как ГОСТ 12.1.029–80 «Средства и методы защиты от вибрации и шума». Кроме этого, вследствие предотвращения проявления физиологических нарушений, таких как головная боль, онемение пальцев рук, судорог, нарушение функций сердечно-сосудистой системы и опорно-двигательного аппарата, следует проводить ежемесячные проверки оборудования, опрашивать людей, которые работают с вибрирующим инструментом.

Таким образом, применяя подходящие амортизаторы, можно значительно уменьшить воздействие вибрации на человека. Это поможет создать комфортные условия работы, что снизит возникновение профессиональных болезней, таких как виброболезнь. В дальнейшем это исследование может быть использовано как вспомогательный материал для создания или улучшения средств защиты от вибрации.

Список источников

1. Gvozdikova S.I., Shvartsburg L.E. Experimental studies of steady-state sources of vibrations of machinery production process equipment to substantiate choice of vibration protection methods // *Lecture notes in mechanical engineering*. 2020. P. 141–149.
2. Дикорев Д.В., Пономарев В.А., Андрианов А.А. Производственная вибрация и производственный шум. Влияние их на человека: сб. трудов конф. // *Наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения*. Воронеж, 2018. С. 552–556.
3. Ahirrao N.S., Bhosle S.P., Nehete D.V. Dynamics and vibration measurements in engines // *Procedia Manufacturing*. 2018. № 20. P. 434–439.
4. Лазаренков А.М., Хорева С.А., Мельниченко В.В. Анализ профессиональной заболеваемости работающих в литейном производстве // *Литьё и металлургия*. 2011. № 2 (60). С. 186–191.
5. LRLC-shunted piezoelectric vibration absorber / M. Berardengo [et al.] // *Journal of Sound and Vibration*. 2020. № 474. Ст. № 115268.
6. Optimum design of a nonlinear vibration absorber coupled to a resonant oscillator: a case study / H.F. Abundis-Fong [et al.] // *Shock and Vibration*. 2018. Ст. № 2107607.

7. Vibration absorber modeling for handheld machine tool / M.A. Abdullah [et al.]: AIP Conference Proceedings. 2015. № 1660. Ст. № 070038.
8. Glushkov S., Pudovkin Y. Handle oscillations of a pneumatic hammer with zero-hardness of a basic elastic element // Advances in intelligent systems and computing. 2020. № 1115 AISC. P. 756–767.
9. Nikitin E.A., Belkin A.E. Analysis of vibration isolation of a cargo mounted on polyurethane shock absorbers: materials science and engineering // IOP Conference Series. 2020. № 747 (1). Ст. № 012058.
10. Amiri A., Dardel M., Daniali H.M. Effects of passive vibration absorbers on the mechanisms having clearance joints // Multibody System Dynamics. 2019. № 47 (4). P. 363–395.
11. Experimental characterization of a tuned vibration absorber / T. Aksoy [et al.] // Conference Proceedings of the Society for Experimental Mechanics Series. 2016. № 5. P. 171–179.
12. Aksoy T., Özgen G.O., Acar B. Design of a tuned vibration absorber for a slender hollow cylindrical structure // Mechanics based design of structures and machines. 2019.
13. A stiffness-based vibration absorption concept / I.A. Antoniadis [et al.] // Journal of vibration and control. 2018. № 24 (3). P. 588–606.
14. Лысенко А.В., Юрков Н.К., Кочегаров И.И. Амортизация как средство усиления виброустойчивости // Инновационные, информационные и коммуникационные технологии. 2017. № 1. С. 567–572.
15. Колосов Ю.В., Барановский В.В. Защита от вибраций и шума на производстве. СПб.: СПбГУ ИТМО, 2011.
16. Кирсанов В.В. Воздействие вибрации на человека, технические устройства и защита от вибрации // Науч.-практ. и учеб.-метод. журн. 2015. № 9. С. 10–14.
17. Гулынецев А.А., Криволапов И.П. Способы защиты от вибрации и перспективные направления ее снижения // Наука и Образование. 2019. № 2.
18. Шатило С.Н., Дорошко С.В., Карпенко В.В. Исследование производственных вибраций: учеб.-метод. пособие. Гомель: БелГУТ, 2012.
19. Никишов С.Ю., Лепеш Г.В. Сокращение объема ресурсных испытаний резинометаллических амортизаторов по результатам предварительных численных исследований // Техничко-технологические проблемы сервиса. 2013. № 4 (26). С. 7–10.
20. Эффективные средства защиты от вибраций и ударов / А.А. Перчун [и др.] // Решетневские чтения. 2012. Т. 1. № 16.

References

1. Gvozdikova S.I., Shvartsburg L.E. Experimental studies of steady-state sources of vibrations of machinery production process equipment to substantiate choice of vibration protection methods // Lecture notes in mechanical engineering. 2020. P. 141–149.
2. Dikorev D.V., Ponomarev V.A., Andrianov A.A. Proizvodstvennaya vibraciya i proizvodstvennyj шум. Vliyanie ih na cheloveka: sb. trudov konf. // Nauka i obrazovanie na sovremennoy etape razvitiya: opyt, problemy i puti ih resheniya. Voronezh, 2018. S. 552–556.
3. Ahirrao N.S., Bhosle S.P., Nehete D.V. Dynamics and vibration measurements in engines // Procedia Manufacturing. 2018. № 20. P. 434–439.
4. Lazarenkov A.M., Horeva S.A., Mel'nichenko V.V. Analiz professional'noj zabolevaemosti rabotayushchih v litejnom proizvodstve // Lit'yo i metallurgiya. 2011. № 2 (60). S. 186–191.
5. LRLC-shunted piezoelectric vibration absorber / M. Berardengo [et al.] // Journal of Sound and Vibration. 2020. № 474. St. № 115268.
6. Optimum design of a nonlinear vibration absorber coupled to a resonant oscillator: a case study / H.F. Abundis-Fong [et al.] // Shock and Vibration. 2018. St. № 2107607.
7. Vibration absorber modeling for handheld machine tool / M.A. Abdullah [et al.]: AIP Conference Proceedings. 2015. № 1660. St. № 070038.

8. Glushkov S., Pudovkin Y. Handle oscillations of a pneumatic hammer with zero-hardness of a basic elastic element // *Advances in intelligent systems and computing*. 2020. № 1115 AISC. P. 756–767.
9. Nikitin E.A., Belkin A.E. Analysis of vibration isolation of a cargo mounted on polyurethane shock absorbers: materials science and engineering // *IOP Conference Series*. 2020. № 747 (1). St. № 012058.
10. Amiri A., Dardel M., Daniali H.M. Effects of passive vibration absorbers on the mechanisms having clearance joints // *Multibody System Dynamics*. 2019. № 47 (4). P. 363–395.
11. Experimental characterization of a tuned vibration absorber / T. Aksoy [et al.] // *Conference Proceedings of the Society for Experimental Mechanics Series*. 2016. № 5. P. 171–179.
12. Aksoy T., Özgen G.O., Acar B. Design of a tuned vibration absorber for a slender hollow cylindrical structure // *Mechanics based design of structures and machines*. 2019.
13. A stiffness-based vibration absorption concept / I.A. Antoniadis [et al.] // *Journal of vibration and control*. 2018. № 24 (3). P. 588–606.
14. Lysenko A.V., Yurkov N.K., Kochegarov I.I. Amortizaciya kak sredstvo usileniya vibroustojchivosti // *Innovacionnye, informacionnye i kommunikacionnye tekhnologii*. 2017. № 1. S. 567–572.
15. Kolosov Yu.V., Baranovskij V.V. Zashchita ot vibracij i shuma na proizvodstve. SPb.: SPbGU ITMO, 2011.
16. Kirsanov V.V. Vozdejstvie vibracii na cheloveka, tekhnicheskie ustrojstva i zashchita ot vibracii // *Nauch.-prakt. i ucheb.-metod. zhurn.* 2015. № 9. S.10–14.
17. Gulyncev A.A., Krivolapov I.P. Sposoby zashchity ot vibracii i perspektivnye napravleniya ee snizheniya // *Nauka i Obrazovanie*. 2019. № 2.
18. Shatilo S.N., Doroshko S.V., Karpenko V.V. Issledovanie proizvodstvennyh vibracij: ucheb.-metod. posobie. Gomel' : BelGUT, 2012.
19. Nikishov S.Yu., Lepesh G.V. Sokrashchenie ob"ema resursnyh ispytanij rezinometallicheskih amortizatorov po rezul'tatam predvaritel'nyh chislennyh issledovanij // *Tekhniko-tekhnologicheskie problemy servisa*. 2013. № 4 (26). S. 7–10.
20. Effektivnye sredstva zashchity ot vibracij i udarov / A.A. Perchun [i dr.] // *Reshetnevskie chteniya*. 2012. T. 1. № 16.

Информация о статье:

Поступила в редакцию: 19.04.2023

Принята к публикации: 13.05.2023

The information about article:

Article was received by the editorial office: 19.04.2023

Accepted for publication: 13.05.2023

Информация об авторах:

Белодедова Анна Александровна, студент Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., д. 29), e-mail: belodedova.aa@edu.spbstu.ru

Information about the authors:

Belodedova Anna A., student of Peter the Great Saint-Petersburg polytechnic university (195251, Saint-Petersburg, Polytechnicheskaya str., 29), e-mail: belodedova.aa@edu.spbstu.ru