

Утверждаю:

Заместитель генерального директора
по научной работе

АО «НИЦ «Строительство»,
доктор техн. наук, профессор

Звездов Андрей Иванович

«21» нояб. 2018 г.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Зебилилы Мохаммеда Диин-Халиса

на тему: «Расчет и оценка эффективности систем виброизоляции с линейными и нелинейными характеристиками», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.17 - «Строительная механика»

Актуальность темы диссертационной работы

Виброактивное оборудование - один из основных источников, возбуждающих колебания элементов строительных конструкций, которые в свою очередь могут провоцировать появления повреждений в конструкциях и, в частности, появление и развитие трещин, дискомфорт людей, находящихся в помещениях, нарушать работу технологического оборудования и т.п.

Один из наиболее эффективных способов борьбы с вибрациями - виброизоляция. Системам виброизоляции и их расчету, в основном в рабочих режимах и оценке эффективности, посвящено много работ.

Оценка эффективности систем виброизоляции, и это указано в нормативных документах, обязательно должна учитывать характер колебаний в переходных режимах (пуска и остановки), в которых уровни колебаний значительны в зоне при прохождении через резонанс. Работ, посвященных расчету систем виброизоляции в переходных режимах значительно меньше. Во многих случаях эти колебания могут провоцировать нарушение работы системы, нарушать связи с трубопроводами и т.д. Эффективный способ снижения уровня колебаний в этих случаях, включение в систему дополнительных элементов - связей, демпферов и т.п. Системы, в этих случаях становятся нелинейными. Расчет существенно усложняется. Методы расчета

таких систем в литературе практически отсутствует. Разработке методов расчета таких систем и их анализу посвящена настоящая работа и это несомненно свидетельствует об её актуальности.

Оценка содержания диссертации и ее завершенности

Диссертационная работа Зебилилы М. Д. Х. изложена на 117 страницах (в том числе рисунков - 32, таблиц - 6) и состоит из введения, пяти глав основного содержания и заключения. В состав диссертационной работы также входят: титульный лист, содержание, библиографический список, состоящий из 83 наименования отечественных и зарубежных литературных источников, а также 1 приложение.

В первой главе произведен обзор и анализ работ по методам расчета и конструкциям систем виброизоляции. Рассмотрены методы расчета нелинейных систем - традиционный метод нормальных форм и принятый в работе метод, основанный на передаточных и импульсных переходных функциях. Дан обзор работ по теме. Рассмотрен также ряд конструктивных решений систем виброзащиты. Дан обзор работ систем с переменной жесткостью и демпфером вязкого трения.

Во второй главе диссертант приводит расчетные формулы и зависимости для линейных динамических систем с одной и двумя степенями свободы при периодических и импульсных воздействиях. При выводе формул автор использует метод, основанный на применении передаточных и импульсных переходных функций.

По сравнению с традиционным методом «нормальных форм» отпадают несколько вычислений, что упрощает расчет.

Рассмотрены варианты схем виброзащиты при действии гармонической и импульсной нагрузок, которые являются расчетными для одномассовой и двухмассовой систем. Вторая схема может быть расчетной для двухзвенной виброизоляции и системы с динамическим гасителем, причем в качестве гасителя могут рассматриваться обе массы. Решения записывались с помощью интеграла Дюамеля.

Для простоты вычисления интегралов импульсные переходные функции разделяют на части, зависящие исключительно от t (момент времени, для которого определяется перемещение), и τ (переменная интегрирования по времени).

В этой главе также рассмотрен расчет массивных виброизолированных систем при произвольном смещении основания: в соответствии с конструктивной схемой - уравнение вертикальных колебаний и систему уравнений горизонтально-вращательных колебаний. Расчет произведен также используя передаточные и импульсные переходные функции этих систем.

В конце главы дано решение уравнения горизонтальных колебаний линейных систем с 3-мя степенями свободы при кинематическом возбуждении.

Третья глава посвящена выводу расчетных зависимостей для нелинейных систем с дополнительными элементами, используя, в том числе, формулы полученные во второй главе.

Даны решения нелинейных уравнений движения, применительно к расчету систем виброзащиты с одной и двумя степенями свободы с дополнительными элементами (связью, и демпфером вязкого трения). Дополнительные связи включаются при повышенных уровнях перемещений вблизи резонансных зон, переходных режимах (при пуске и остановке). Полученные решения могут быть использованы при расчете на периодические и импульсные нагрузки.

Для нелинейных систем решение записывается в виде двух решений: линейной системы – от внешней и фиктивной нагрузок. Последнее зависит от вида физической нелинейности. Решения записываются в виде обобщенных функций (интеграла Дюамеля), гладкой функцией, в которых импульсная переходная функция гарантирует устойчивость и сходимость полученных решений при произвольной нагрузке и характере физической нелинейности. В конце третьей главы, рассмотрена система с тремя степенями свободы при кинематических воздействиях.

В четвертой главе приведены результаты примеров расчета, анализ и оценка эффективности линейных и нелинейных систем виброизоляции.

Автор проанализировал 4 типа виброизоляции: для грохота (ГИСТ 72) при рабочих и переходных режимах, как систему с одной степенью свободы, с линейной жесткостью, с ограничителем перемещений; как систему с двумя степенями свободы, с дополнительной массой и с ограничителем перемещений нижней массы.

Во втором примере, автор рассчитал и оценил эффективность виброизоляции машин ударного действия при импульсных нагрузках (молот М4138). Рассмотрено

также 4 вида виброизоляции.

В третьем примере дан расчет плоских колебаний массивных виброизолированных тел при произвольном смещении основания. Были построены графики горизонтального перемещения центра масс и угла поворота относительно оси U .

Глава 4 содержит также расчет систем с демпфером вязкого трения. Были приняты 2 условных коэффициента, которые определили нелинейность.

В пятой главе автор построил амплитудно-частотные характеристики систем с нелинейным гасителем. В работе, для расчета нелинейных систем использовался метод специального выбора линейных порождающих систем, предложенный профессором Черновым Ю.Т. Такой подход позволяет уменьшить трудоемкость построения амплитудно-частотных характеристик нелинейных систем. В работе амплитудно-частотные характеристики строились для оценки эффективности нелинейных гасителей при разных частотах внешнего воздействия. В качестве расчетных примеров в работе рассмотрены две системы с нелинейным гасителем как системы с тремя степенями свободы. В первом примере была рассчитана этажерка с установленным на ней оборудованием, и динамическим гасителем колебаний. Вторым расчетным примером – оборудование, установленное на постамент. На оборудовании установлен нелинейный динамический гаситель колебаний. В обоих примерах зависимость реакция-перемещение в связи, гасителя колебаний - кубическая. Построены амплитудно-частотные характеристики для обеих систем для различных вариантов: с нелинейным, линейным гасителем и без гасителя. Линейный гаситель настраивался на первую частоту собственных колебаний системы без гасителя. Дан сравнительный анализ вариантов. Определена эффективность применения нелинейных динамических гасителей колебаний на примерах расчета.

Достоверность положений, выводов и рекомендаций диссертации, их научная новизна, обоснованность и соответствие критериям, предъявляемым к диссертациям

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций достигнута в диссертационном исследовании путем использования строгих математических методов и проведения сравнения с эталонными примерами.

Основные положения диссертации апробированы на трех международных конференциях. Научные результаты достаточно полно изложены в 8 научных публикациях, из которых 4 работы опубликованы в журналах, включенных в перечень рецензируемых научных изданий, в которых опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук и 2 работы в издании, индексируемом в международной реферативной базе Scopus.

Значимость полученных результатов

Разработанные в работе подходы и алгоритмы расчета позволяют оценить и получить оптимальные параметры систем виброзащиты на практике, например, при расчете и проектировании виброизоляции виброактивного технологического оборудования в легкой и тяжелой промышленности. Полученные в диссертации формулы следует использовать при расчете и выборе эффективных систем виброизоляции.

Научная новизна работы

В диссертации разработаны методы и алгоритмы расчета нелинейных систем с дополнительными элементами (связь, демпфер вязкого трения); горизонтально-вращательных колебаний массивных тел при произвольных кинематических воздействиях, с использованием передаточных и импульсных переходных функций. Построены амплитудно-частотные характеристики систем с линейным и нелинейным динамическим гасителем.

Практическое значение работы

Полученные расчетные зависимости и алгоритмы расчета будут полезны при расчете и оценке эффективности виброизоляции оборудования, установленного на конструкциях, в частности, в тех случаях когда необходимо снизить уровни колебаний в переходных режимах.

Рекомендации по использованию результатов диссертационного исследования

Результаты работы могут быть использованы при решении практически важных задач расчета систем виброизоляции в переходных режимах как линейных и нелинейных систем, цель которых – снижать уровни колебаний в переходных режимах при прохождении через резонанс. Результаты, полученные в работе, могут

быть использованы при расчете нелинейных систем виброизоляции в переходных режимах и оценке влияния дополнительных элементов (блоков) на снижение уровней колебаний в эксплуатационных и переходных режимах, в частности:

- при расчете грохота с промежуточным блоком, что позволяет значительно снижать нагрузку на основание;

- при расчете машин ударного действия, также с дополнительными блоками, которые влияют на характер колебаний и на величину нагрузки на основание при импульсных воздействиях;

- при плоских колебаниях виброизолированных массивных тел при произвольном смещении основания.

Выявленные замечания по диссертации

1) Было бы интересно выполнить сравнение результатов расчета практических примеров с использованием предложенного в работе метода с результатами, полученными с помощью других методов.

2) В работе не приведено сравнение результатов анализа колебаний массивных виброизолированных объектов с использованием передаточных и импульсных переходных функций и аналогичных результатов, полученных с помощью МКЭ.

3) К проведенному исследованию стоило бы добавить сравнение расчетных результатов с экспериментальными данными.

4) Следовало бы пояснить, как моделируется частотно-независимое внутреннее трение в переходных режимах.

Несмотря на сделанные замечания, полагаем, что представленная диссертационная работа является законченной научно-квалификационной работой, в которой развит метод, основанный на использовании передаточных и импульсных переходных функций, построены удобные с вычислительной точки зрения алгоритмы, даны решения ряда новых и практически важных задач расчета систем виброизоляции в переходных режимах.

Заключение

Диссертационная работа на тему: «Расчет и оценка эффективности систем виброизоляции с линейными и нелинейными характеристиками», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.17 -

«Строительная механика», полностью соответствует критериям, установленным Положением о присуждении учёных степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. N 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Зебилина Мохаммед Диин-Халис, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.17 - «Строительная механика».

Отзыв на диссертацию и автореферат рассмотрены и одобрены на заседании лаборатории динамики сооружений ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство» (протокол № 3/18 от 13.11.2018 г.).

Директор ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко
АО «НИЦ «Строительство»
доктор техн. наук, профессор
Тел.: 8 (499) 171 26 50, 8 (495) 766 81 36
e-mail: vedyakov@gmail.com



Ведяков Иван Иванович

Заведующий лабораторией
динамики сооружений
ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко
АО «НИЦ «Строительство»
кандидат техн. наук

Арутюнян Марат Владимирович

Тел.: 8 (499) 170 15 45, 8 (926) 111 86 76
e-mail: 89261118676@mail.ru

Акционерное Общество «Научно-исследовательский центр «Строительство»
(АО «НИЦ «Строительство»)),
109428, г. Москва, 2-я Институтская ул., д.6, корп. 1
+7 (495) 602 00 70
e-mail: inf@cstroy.ru, www.cstroy.ru, info@cstroy.ru

Подписано  И. И. Ведякова и М. В. Арутюняна удостоверено.
И. специалист по персоналу  С. А. Михайлова