

Отзыв

официального оппонента доктора технических наук, профессора

Шейна Александра Ивановича

на диссертацию Гербера Юрия Андреевича

**«Надежность линейно деформируемых стержневых систем с
динамическими гасителями колебаний»,**

**представленную на соискание ученой степени кандидата технических
наук по специальности 2.1.9. Строительная механика.**

Актуальность темы диссертационных исследований.

Динамические гасители колебаний (ДГК) являются хорошо известным решением проблемы борьбы с нежелательными вибрациями для строительных конструкций зданий и сооружений, и применяются в инженерной практике. Теория динамического гашения колебаний хорошо развита, однако вопросы оценки надежности для систем с ДГК освещены недостаточно. Особенности расчета и настройки гасителя при учете вероятностных свойств нагрузки говорится в работах Б.Г. Коренева, Л.М. Резникова и других специалистов, однако одновременный учет вероятностных свойств самой защищаемой системы, гасителя, внешнего воздействия и количественная оценка надежности не производились.

Рассматриваемая работа посвящена проблеме оценки надежности системы «защищаемый объект – ДГК» при динамических воздействиях с учетом стохастической природы параметров защищаемого объекта, гасителя и внешнего воздействия, причем акцент сделан именно на *количественной* оценке надежности, полученной на основе вероятностных расчетов. Также в работе предлагаются варианты повышения надежности систем с ДГК, в том числе посредством регулирования динамического напряженно-деформированного состояния (НДС) системы за счет подбора параметров гасителей. Исследований, выполненных в данном направлении немного, что

указывает на ее актуальность как в теоретическом, так и в практическом плане.

Общая характеристика работы.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и двух приложений; ее общий объем составляет 181 страницу, в том числе 175 стр. основного текста со списком литературы из 203 источников, 83 иллюстрации, 15 таблиц и 2 приложений.

Работа структурирована и логически последовательна.

Во введении диссертации акцентируется внимание на возрастающей роли решения проблемы обеспечения надежности строительных конструкций, в том числе с ДГК, как систем очень чувствительных к случайным отклонениям фактически реализуемых параметров от своих расчетных значений. Обоснована актуальность темы исследования, выполнен анализ степени ее разработанности, определены цель и задачи диссертационной работы, обозначены предмет и объект исследования, приведен список применявшихся методов научного исследования, сформулирована научная новизна, обозначена теоретическая и практическая значимость работы, приводятся данные по апробации полученных результатов, а также о количестве публикаций по теме работы.

В первой главе обозначены основные этапы развития теории надежности строительных конструкций, а также выполнен анализ ее современного состояния. Описаны достижения и современное состояние теории динамического гашения колебаний, приведены примеры реального применения ДГК на практике.

В подробном литературном обзоре показано, что работы, посвященные исследованию надежности систем с гасителями колебаний малочисленны. Рассмотрены основные методы и алгоритмы решения задач вероятностных расчетов и задач теории надежности (прямая, обратная, оптимизационная), приведены основные расчетные зависимости и формулы. Отражены принципы формирования и ранжирования системы критериев безотказности необ-

ходимые для понижения размерности решаемой задачи, в рамках которой выделяются наиболее важные для системы параметры.

Главы со второй по четвертую отличаются оригинальностью решения, и содержат новые научные результаты.

Во второй главе приведены основные положения, методики и алгоритмы расчета надежности для систем с конечным числом степеней свободы и динамическими гасителями колебаний при гармонических воздействиях. Сформулированы критерии безотказности для систем с ДГК, которые необходимо учитывать при расчете надежности.

На примере функции динамического коэффициента (ДК) для системы с одной степенью свободы проиллюстрировано качественное и количественное изменение плотности распределения ДК по мере приближения частоты внешнего воздействия к собственной частоте системы, при учете и без учета демпфирования. Даны рекомендации по применению существующих методов определения вероятностных характеристик, используемых в расчетах надежности систем с ДГК.

На примерах модельных задач реализован алгоритм определения надежности для систем с ДГК по различным критериям безотказности показано положительное влияние ДГК на надежность системы. Для больших многопараметрических систем предложен алгоритм упрощенного подбора параметров гасителя с учетом вероятностных свойств защищаемой системы, нагрузки и самого ДГК, удовлетворяющих требуемый уровень надежности. Алгоритм основан на идее приведения гармонически нагруженной системы с конечным числом степеней свободы к обобщенной одномассовой модели с учетом различных условий эквивалентности с последующим определением ее вероятностных характеристик. Полученные табличные численные и графические результаты показывают корректность предложенного подхода.

При решении задач динамики не учитывалось рассеяние энергии в системе, состоящей из защищаемой конструкции и ДГК. Однако, автор отмечает, что учет демпфирования в системе «защищаемая конструкция – гаситель»

скажется на показателях надежности. Также справедливо отмечается, что учет демпфирования в гасителе, в частности по модели вязкого или частотно-независимого сопротивления, дает возможность существенно уменьшить колебания системы, что в свою очередь положительно скажется на оценках надежности.

В третьей главе предложен метод определения параметров ДГК для системы, защищенной от вибраций группой одномассовых ДГК, используемых в качестве регуляторов динамического напряженно-деформированного состояния системы. Задача поставлена и решена как задача теории регулирования, где регуляторами являются гасители колебаний, параметрами регулирования – динамические перемещения системы в местах и по направлению установки гасителей, а условиями регулирования принимаются в виде равенства значений регулируемых параметров требуемым значениям. Уравнения динамического состояния системы (в случае установившихся колебаний гармонического типа) записаны в двух вариантах: в амплитудах сил инерции с матрицей динамической податливости и в амплитудах перемещений с матрицей динамической жесткости. Для каждого варианта записи уравнений получены выражения взаимосвязи массы и жесткости каждого гасителя с учетом свойств системы и других гасителей. При подборе параметров гасителя, с использованием полученных формул, динамические перемещения в местах крепления гасителей будут равны требуемым. По сути автору удалось получить аналитическое решение обратной задачи теории регулирования. С использованием предлагаемого метода рассмотрен ряд задач регулирования динамического НДС стержневых систем (балок, ферм, рам), необходимо отметить, что общеизвестная формула подбора параметров «идеального» гасителя колебаний является частным случаем приведенного автором решения. Полученные количественные и качественные результаты позволяют сделать вывод о корректности предлагаемого метода.

Показано существенное положительное влияние группы одномассовых ДГК, с параметрами, подобранными по предложенному методу, на надежность системы.

Сформулированы возможные постановки задачи оптимизации по надежности параметров ДГК при регулировании динамического НДС. Предложены алгоритмы определения оптимальных параметров группы ДГК по критерию надежности в случае нового строительства с ДГК и для уже существующих конструкций, где гаситель для борьбы с вибрациями добавляется дополнительно. Приведено решение задачи поиска оптимальных варьируемых параметров (места установки ДГК и параметра регулирования) в детерминированной постановке.

В четвертой главе приведено решение ряда задач, имеющих значение с практической точки зрения.

Показано влияние стохастической изменчивости параметров системы, гасителя и внешнего воздействия на надежность системы с конечным числом степеней свободы защищенной от вибраций ДГК. Наибольшее влияние оказывает изменение параметров внешнего воздействия (амплитуды и частоты), массы и жесткости гасителя, изменение собственных характеристик системы оказывают наименьшее влияние.

Предложен алгоритм определения надежности и долговечности по критерию усталостной прочности материала для стержневых линейно деформируемых систем с ДГК при длительных гармонических воздействиях. Предложены варианты аппроксимаций кривых усталости материала при ненулевом среднем напряжении в области большого количества циклов. На приведенных примерах (балка и ферма) проиллюстрирована возможность определения вероятности отказа соответствующей определенному количеству циклов и наоборот.

Проиллюстрировано влияние ДГК на надежность систем со сгущенным спектром собственных частот. Показано, что с увеличением массы гасителя диапазон эффективного гашения колебаний увеличивается, однако приме-

ние гасителя в таких системах не всегда может быть рациональным с точки зрения надежности.

Протестированы возможности программного комплекса Ansys для решения задач вероятностных расчетов и определения надежности строительных конструкций, в том числе с ДГК. Описаны преимущества данного ПК и недостатки, на которые необходимо обращать внимание при расчете надежности.

Заключение содержит основные выводы по диссертационной работе, которые соответствуют сформулированным цели и задачам.

В приложениях, представлены материалы расчетов, а также документы, подтверждающие внедрение результатов диссертационного исследования.

Достоверность и новизна исследования, полученных результатов, выводов и рекомендаций.

Достоверность полученных в диссертационной работе результатов подтверждается корректной постановкой решаемых задач в рамках, используемых теории динамического гашения колебаний, теории надежности строительных конструкций, а также теорий регулирования и оптимального проектирования. Применением верифицированных расчетных комплексов, совпадением результатов численных и аналитических решений, полученных разными методами, а также согласованностью с результатами других авторов, представленных в литературе.

Научная новизна заключается в разработке метода определения жесткостных и инерционных характеристик динамических гасителей колебаний, обеспечивающих выполнение требований, предъявляемых к перемещениям в местах крепления гасителей, через которые осуществляется регулирование динамического НДС системы с группой ДГК. Решение получено в аналитическом виде, удобном для практического использования.

Показаны особенности трансформации плотности вероятности динамического коэффициента для модельных систем с одной степенью свободы с

учетом и без учета демпфирования в зависимости от частоты внешнего воздействия, оценено влияние уточненного решения на надежность системы.

Осуществлено ранжирование случайных расчетных параметров защищаемой системы, гасителя и внешних воздействий по значимости их влияния на надежность системы.

Дано решение задачи определения надежности и долговечности стержневых систем с конечным числом степеней свободы и одномассовыми динамическими гасителями колебаний при длительных гармонических воздействиях по критерию усталостной прочности материала и другим значимым условиям безотказности. Выявлен характер зависимости вероятности отказа от частоты внешнего воздействия или количества циклов нагружения.

Теоретическая и практическая значимость работы.

Теоретическая значимость работы заключается в развитии теории динамического гашения колебаний. Разработаны методики и алгоритмы расчета надежности и долговечности по различным условиям работоспособности. Показано влияние сильной нелинейности параметров АЧХ на показатели надежности гармонически нагруженных систем. Разработан метод определения расчетных, в том числе оптимальных, параметров ДГК для систем, защищенных несколькими одномассовыми ДГК, посредством которых осуществляется регулирование динамического НДС системы. Дана оценка чувствительности надежности к случайным отклонениям расчетных параметров для системы с ДГК.

Практическая значимость полученных результатов заключается в возможности использования предложенного метода, методик и алгоритмов для определения надежности, и долговечности при расчете и конструировании зданий и сооружений, защищаемых от гармонических воздействий динамическими гасителями колебаний.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций. Обоснованность полученных результатов обеспечивается строгостью применяемых методов, совпадением результатов, полученных разными ме-

тодами, а также с согласованностью с результатами полученными другими авторами, представленными в литературе.

Замечания и вопросы.

1. Из диссертации не ясно: каковы границы применимости предлагаемого варианта обобщенной модели с одной степенью свободы?
2. Чем обоснован выбор в качестве регулируемого параметра значение динамических перемещений в месте установки гасителей? Не показательнее было бы использовать значения внутренних усилий?
3. Не приведен пример оптимизации по надежности, хотя алгоритм решения расписан.
4. Стр. 30 выводы по главе 1, п. 2 и п. 4 противоречат друг другу. В п.4 говорится о незначительном количестве основных критериев безотказности, и, что их ранжирование позволяет уменьшить объем вычислений без потери качества полученных решений. В п.2 – о том, что метод Монте-Карло требует больших вычислительных ресурсов. Учитывая высказывание на стр. 33 о том, что к системе с одной степенью свободы можно привести любую систему с конечным числом степеней свободы, используя различные методы и приемы, а также современное состояние развития вычислительной техники – вряд ли использование МСИ приведет к проблемам с использованием вычислительных ресурсов и их количеством.
5. Не совсем понятны графики динамического коэффициента (рис. 2.6.б-в). Тем более непонятны аналогии, показанные на рис. 2.6.г.
6. Алгоритм на рис. 3.17 не приводит к определению оптимальных параметров регулирования для системы, так как расчет будет окончен при первом наборе параметров регулирования удовлетворяющим оценке качества отрегулированной системы. В работе нет обоснования оптимальности полученных таким образом параметров. Возможно стоило расписать блок алгоритма «Оценка качества отрегулированной системы».
7. Утверждение (стр. 118) о том, что «производные коэффициента динамичности по геометрическим, жесткостным и инерционным параметрам

защищаемой конструкции (балки) на несколько порядков меньше, чем по m_d , c_d , ω_F (пример – на рисунке 4.3, г для $\partial \mu_{1,2}/\partial m$), вероятно относится не ко всей окрестности математического ожидания заданной рабочей частоты. Это справедливо для интервала $(0; 0,8\bar{\omega}_{min}^0)$, но для интервала $(0,8\bar{\omega}_{min}^0; \bar{\omega}_{min}^0)$ вычисленные производные – одного порядка.

8. Часть решений носит излишне академический характер (решения выполняются для гармонического нагружения при установившихся колебаниях; не используются демпфирующие устройства (амортизаторы), т.е. устройства рассеивания; рассматриваются только балки и плоские рамы – т.е. нет исследований работы пространственных конструкций).

Соответствие автореферата основному содержанию диссертации

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертационной работы. Отражает основные результаты и выводы.

Заключение.

Несмотря на замечания, Гербер Ю.А. проявил себя зрелым специалистом и показал хорошее понимание материала в областях динамического гашения колебаний, надежности строительных конструкции и теории регулирования. Диссертационное исследование является законченным научно-квалификационной работой, выполненной на высоком научном уровне на актуальную тему, содержащей новые научные результаты.

Основные положения диссертационной работы опубликованы в 13 печатных работах, из которых 4 статьи в ведущих научных рецензируемых изданиях, включенных в перечень ВАК Минобрнауки России, и 3 статьи в изданиях, индексируемых международной базой данных Scopus.

Диссертация на тему: «Надежность линейно деформируемых стержневых систем с динамическими гасителями колебаний» соответствует критериям, установленным в п. 9 «Положению о присуждении ученых степеней», утвержденному Постановлением Правительства Российской Федерации

№ 842 от 24.09.2013 г., а её автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.1.9. Строительная механика.

Официальный оппонент,

доктор технических наук (специальность
05.23.17 – Строительная механика), профессор,
зав. кафедрой «Механика»

ФГБОУ ВО «Пензенский государственный
университет архитектуры и строительства»

Тел. 8412497404,

E-mail: shein-ai@yandex.ru


06.02.2023

А.И. Шеин

Подпись Шеина Александра Ивановича заверяю

Начальник отдела кадров Е.А. Кошелева



Сведения об организации: *ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства»*

Почтовый адрес: 440028, Пензенская область, г. Пенза, улица Германа Титова, д. 28.

Тел./ факс: (8412) 497277; (8412) 487476

E-mail: office@pguas.ru