

ОТЗЫВ

официального оппонента кандидата технических наук Цейтлина Бориса Вениаминовича на диссертацию Островской Надежды Владимировны «Метод расчета и оптимизации параметров пластических демпферов в системах сейсмоизоляции», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.17 –
Строительная механика

Структура диссертационной работы

Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, заключения, списка использованных источников из 140 наименований, включая 40 на английском языке и двух приложений. Основной текст работы изложен на 121 странице, включает 62 рисунка и 12 таблиц. Приложения включают справку о внедрении результатов работы и дипломы победителю конкурсов Правительства Санкт-Петербурга в области научно-педагогической деятельности.

Во введении сформулированы цели и задачи работы, выполнен анализ степени разработанности темы исследования, обоснованы ее актуальность и новизна, а также научная и практическая значимость полученных результатов.

В первой главе приведены аналитические обзоры публикаций, посвященных как конструкциям средств демпфирования в системах сейсмоизоляции, так и методам расчета характеристик пластических демпферов.

Во второй главе рассмотрены вопросы математического моделирования динамического поведения системы «сооружение–сейсмоизоляция» при кинематическом возбуждении. Рассматривается система с одной степенью свободы и нелинейной силовой характеристикой, отвечающей маятниковой системе сейсмоизоляции с учетом работы кинематических связей как параллелограммных механизмов. Поставлена задача определения оптимальных характеристик системы сейсмоизоляции, обеспечивающих минимальное значение абсолютного ускорения защищаемого объекта. Сформированы исходные

данные для нестационарных сейсмических воздействий и параметров силовых характеристик систем сейсмоизоляции. Для расчета указанных силовых характеристик использован метод конечных элементов. Приведены результаты динамических расчетов с использованием нелинейной и линеаризованной расчетных моделей. Результаты выполненных расчетов подтверждают вывод о корректности постановки задачи оптимизации параметров пластического демпфера, но указывают на необходимость разработки специальной методики для отыскания аналитических зависимостей его силовых характеристик. Другим следствием выполненных в главе 2 исследований является вывод о необходимости учета возможности возникновения малоциклового усталости.

В третьей главе сформулирована общая постановка задачи для нахождения параметрических уравнений силовой диаграммы для криволинейного стержневого элемента. В случае прямолинейного стержня построены явные аналитические зависимости для силовой характеристики демпфера при произвольном законе пластичности материала. Для стержневого элемента с очертанием оси, являющейся частью окружности, получены параметрические соотношения, связывающие силу, прогиб и продольное перемещение. Аналогичные зависимости найдены для стержня круглого сечения различной конфигурации. Построены упрощенные выражения силовых характеристик для упругопластической диаграммы с линейным упрочнением. Сформулированы рекомендации по учету статической неопределенности и определению силовой характеристики в условиях возникающего при сейсмических воздействиях циклического нагружения.

В четвертой главе предложена методика проектирования параметров ПД в системах сейсмоизоляции с учетом малоциклового усталости. Предлагаемая методика включает следующие этапы: решение динамической задачи и определение числа циклов нагружения; определение количества циклов, отвечающих различным уровням перемещений; переход от перемещений к максимальным деформациям; оценка пластического ресурса стержневых

элементов с использованием формулы Коффина-Менсона и правила Палмгрема-Майнера. Приведен пример расчета и оценки ресурса системы «сооружение–сейсмоизоляция», представляющей собой 9-этажное здание массой 6000 т и систему сейсмоизоляции из 30 маятниковых опор. В составе каждой из опор имеется пластический демпфер, состоящий из 20 прямолинейных стержней, усилие срабатывания которых должно быть равно 1 т. Результаты выполненных расчетов показали, что необходимый пластический ресурс можно обеспечить изменением геометрии и количества стержней. Так, уменьшение диаметра стержней с 60 до 50 мм приводит к уменьшению утрачиваемого пластического ресурса на 1–2 %. Однако, чтобы сохранить оптимальное значение усилия срабатывания, при уменьшении толщины стержней следует увеличить их количество.

В пятой главе на основе теории сейсмического риска сформулированы критерии оптимизации параметров демпфирования систем сейсмоизоляции при стохастической постановке задачи. Предложено три формы целевых функций, две из которых приводят к минимаксным задачам с ограничениями в виде неравенств. Рассмотрены вопросы синтеза сейсмических воздействий с использованием аппарата теории случайных процессов. Приведены алгоритмы поиска оптимальных параметров для различных форм целевой функции как для линейной, так и для нелинейной моделей демпфирования. Приведены примеры расчета. Указанные примеры подтверждают, что применение предложенных методов оптимизации может значительно повысить качество и надежность проектируемых систем сейсмоизоляции.

В шестой главе приведены результаты натуральных сейсмических испытаний макета здания с системой сейсмоизоляции маятникового типа на динамические воздействия, адекватные нагрузкам при землетрясении. Проведено сопоставление результатов теоретических исследований эффективности пластических демпферов с экспериментальными данными. Полученные результаты подтверждают эффективность использования опорно-маятниковой системы сейсмоизоляции ОАО КБСМ с пластическими демпферами в виде

стержневых упруго-пластических элементов. Удовлетворительное совпадение результатов расчета и эксперимента свидетельствуют о высокой достоверности разработанных расчетных методов.

В заключении к работе изложены основные выводы и результаты диссертационной работы, сделаны предложения о возможных направлениях продолжения исследования.

1. Актуальность темы диссертационного исследования Н.В. Островской определяется все более широким применением пластических демпферов в системах сейсмоизоляции. Рассеивание энергии в пластических демпферах осуществляется за счет гистерезисных петель силовых характеристик демпферов в процессе пластического деформирования. Поэтому важной задачей является расчет этих силовых характеристик, на основе которого можно выбрать оптимальные параметры пластических демпферов, а также установить количество циклов, которое способен выдержать демпфер. Оптимизация параметров пластических демпферов приводит к существенному снижению уровня вынужденных колебаний защищаемых сооружений и оборудования и, соответственно, к минимизации возникающего при землетрясении ущерба. Решение указанных вопросов способствует обеспечению надежности и безопасности защищаемых сооружений и расположенного внутри этих сооружений оборудования. Это касается и вновь проектируемых, и подвергающихся реконструкции сооружений. Кроме того, результаты выполненного исследования позволяют обоснованно оценить безопасность уже действующих сооружений, запроектированных с применением пластических демпферов в системах сейсмоизоляции. Это и определяет актуальность темы диссертационной работы.

2. Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, определяется правильным и выполненным на высоком научном уровне применением

ным сопоставлением полученных автором результатов и опубликованных результатов других авторов, а также апробированностью полученных автором научных результатов, выводов и рекомендаций. Все основные выводы и рекомендации диссертации обоснованы и подтверждены как результатами решения модельных задач, так и выполненным сопоставлением с результатами расчета с использованием апробированных комплексов конечно-элемент-ных программ и с экспериментальными результатами. Использованные при выполнении работы подходы соответствует нормативным документам РФ, регламентирующим расчеты строительных конструкций и оборудования на действие сейсмических нагрузок.

3. Научная новизна исследований, полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации не вызывает сомнений и заключается в следующем:

1. Выполнено исследование динамического поведения системы «сооружение–сейсмоизоляция», возбужденной нестационарными сейсмическими воздействиями, по нелинейным и линеаризованным расчетным схемам. Численный анализ позволил доказать, что оптимум параметров демпфирования существует, и сформулировать основные цели и задачи расчета и оптимизации демпферов.

2. Получены аналитические силовые характеристики пластически деформируемых элементов различной конфигурации и поперечных сечений в виде безразмерных зависимостей, которые позволяют находить оптимальные параметры пластических демпферов в приемлемые для практического проектирования сроки.

3. Предложен метод расчета пластического ресурса демпферных стержней в условиях циклического нагружения. Численный анализ показал, что необходимый пластический ресурс можно обеспечить варьированием геометрии и количества стержней.

4. Проведен анализ критериев для выбора оптимальных параметров демпфирования на основе теории сейсмического риска и предложен алгоритм оптимизации пластических демпферов. Численный анализ показал, что оптимизация позволяет уменьшить сейсмический риск в 1.5–1.8 раза.

5. Предложена методика экспериментальной проверки эффективности применения пластических, которая позволила подтвердить результаты теоретических исследований.

4. Личный вклад автора подтверждается тем фактом, что диссертант сформулировал цели и задачи исследований, проанализировал существующие динамические модели, описывающие поведение сейсмоизолированных объектов; разработал и научно обосновал метод аналитического расчета параметров силовых диаграмм пластически деформируемых стержневых элементов; построил аналитические выражения для силовых диаграмм элементов различной конфигурации и поперечных сечений; разработал метод расчета пластического ресурса пластически деформируемых элементов в условиях циклического нагружения; сформулировал критерии для выбора оптимальных параметров демпфирования на основе теории сейсмического риска; разработал алгоритм поиска оптимальных параметров для различных постановок задачи (функций цели); сопоставил результаты исследований с экспериментальными данными, полученными в ходе натурных сейсмических испытаний макета здания с системой изоляции маятникового типа.

5. Практическая значимость полученных автором результатов, выводов и рекомендаций сомнений не вызывает. Разработанные автором методики внедрены в расчетную практику. Использование результатов диссертационной работы позволяет выбрать оптимальные параметры пластических демпферов, обеспечивая при этом требуемый ресурс работы системы сейсмоизоляции. Решение указанных вопросов способствует созданию экономических и эффективных конструктивных решений систем сейсмоизоляции

для защиты подвергающихся сейсмическим воздействиям сооружений и оборудования и позволяет обеспечить требуемые надежность и безопасность эксплуатации защищаемых объектов. Разработанные подходы целесообразно использовать как при разработке проектов новых промышленных и гражданских сооружений, так и при разработке проектов реконструкции существующих сооружений.

6. Содержание диссертации и ее завершенность определяется тем обстоятельством, что исследования представлены в виде единого цикла, включающего анализ существующих динамических моделей, описывающих поведение сейсмоизолированных объектов; разработку и научное обоснование метода аналитического расчета параметров силовых диаграмм пластически деформируемых стержневых элементов; построение аналитических выражений для силовых диаграмм элементов различной конфигурации и поперечного сечения; разработку метода расчета пластического ресурса пластически деформируемых элементов в условиях циклического нагружения; формулировку критериев для выбора оптимальных параметров демпфирования на основе теории сейсмического риска; разработку алгоритма поиска оптимальных параметров для различных постановок задачи (функций цели); сопоставление результатов исследований с экспериментальными данными, полученными в ходе натурных сейсмических испытаний макета здания с системой изоляции маятникового типа.

По результатам выполненных научных исследований опубликовано 10 печатных работ, отражающих основное содержание диссертационной работы, в том числе 5 статей в рекомендуемых ВАК РФ научных журналах.

7. По содержанию работы следует сделать следующие замечания:

1. В ряде случаев, сокращая и редактируя содержание диссертации, автор упустил нужные комментарии и пояснения. Так, на стр. 33 указано, что при выборе расчетных воздействий были использованы как отечественные

синтезированные акселерограммы, так и зарубежные инструментальные записи. При этом были рассмотрены варианты воздействий, соответствующие интенсивности 7-9 баллов. Не вполне понятно, почему рассматривались воздействия, которые так сильно отличаются по интенсивности

2. На этой же странице (стр. 33) содержится текст: “Спектральный анализ был выполнен с помощью построения спектральных кривых - $a(\omega)$. Функция $a(\omega)$ определялась следующим образом: $a = \max|\ddot{u}(t) + \dot{x}(t)|$, где $u(t)$ - решение уравнения (2.4), в котором принято $\gamma = 0,01$ ”. Здесь явно пропущена часть текста, касающаяся построения абсолютного ускорения линейной системы с одной степенью свободы $a(t)$ и последующего построения спектра ответа ускорений $a(\omega)$.

3. В таблице 2.2 на стр. 43 приведены максимальные относительные перемещения и ускорения защищаемого объекта для случая линейного демпфирования. Во-первых, несколькими страницами ранее в качестве критерия были выбраны абсолютные ускорения. Во-вторых, снижение относительных перемещений и ускорений с ростом демпфирования – очевидный факт, который не обязательно обсуждать в диссертации.

4. При определении параметров силовой диаграммы пластического демпфера рассматривается плоский изгиб криволинейного стержневого элемента, и при этом предполагается, что угол ϑ между \bar{P} и ортом \bar{k} при нагружении не изменяется (см. стр. 47 – 48 и рис. 3.1). Следует учесть, что, как правило, сооружения должны быть рассчитаны на двухкомпонентное, или трехкомпонентное сейсмическое воздействие, и при этом акселерограммы по различным направлениям должны быть статистически независимы. Это будет способствовать нарушению расчетных предпосылок (плоский изгиб и неизменность угла ϑ) в процессе колебаний.

5. Рекомендации по формированию силовых диаграмм статически-неопределимых систем нуждаются в уточнении.

6. В главе 6 приведены результаты испытаний макета здания с системой сейсмоизоляции маятникового типа. В работе не пояснено, является ли указанный макет моделью реального здания. Если указанный эксперимент выполнен для проверки эффективности сейсмоизоляции реальной конструкции, то должны быть выполнены критерии подобия при моделировании динамических процессов. Для линейных систем эти критерии известны, известны и правила пересчета перемещений, усилий и частот (времен) с модельного объекта на натурный. Но в работе ничего не сказано о выполнении критериев подобия. Так как в ходе эксперимента возникают нелинейные колебания сейсмоизолированной системы, известные критерии подобия должны быть дополнены критериями подобия для элементов, образующих систему сейсмоизоляции.

Заключение

Сформулированные замечания не меняют общей положительной оценки работы. Диссертационная работа представляет собой законченную научно-квалификационную работу, базируется на достаточном числе исходных данных, примеров и расчетов, выполнена автором самостоятельно на высоком научном уровне, посвящена актуальным и важным для практики вопросам. Разработанные автором методики расчета нашли применение для построения силовых диаграмм и оценки пластического ресурса пластически деформируемых элементов в условиях циклического нагружения. Результаты диссертационной работы могут быть использованы при создании экономичных и эффективных конструктивных решений систем сейсмоизоляции для защиты подвергающихся сейсмическим воздействиям сооружений и оборудования. Основные положения диссертации опубликованы в научной печати и достаточно полно изложены в автореферате. Вышеизложенное дает основание полагать, что по объему выполненных научных исследований, содержанию работы, научной новизне и практической ценности полученных

результатов диссертационная работа отвечает требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», установленным Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым ВАК России к кандидатским диссертациям, а автор работы, Островская Надежда Владимировна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.17 – «Строительная механика».

Кандидат технических наук, доцент
ведущий научный
сотрудник лаборатории динамики
и сейсмостойкости сооружений

Цейтлин
Борис Вениаминович

АО «Всероссийский научно-исследовательский
институт гидротехники имени Б.Е. Веденеева»

E-mail: tseitlinbv@vniig.ru, tseitlinbv@mail.ru

Тел.: +7 904 3337015, (812) 4939377

Адрес: 195220, г. Санкт-Петербург, ул. Гжатская, д.21

1.
14.08.2016

Подпись Б.В. Цейтлина заверяю

Научный руководитель – первый
заместитель генерального директора
ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева

Б.Б. Глаговский