

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора технических наук, профессора Уздина Александра Моисеевича  
на диссертационную работу Талантова Ивана Сергеевича  
**«Спектрально–численный метод динамического расчета физически  
нелинейных стержневых систем с выключающимися элементами»**,  
представленную на соискание ученой степени кандидата технических  
наук по специальности 05.23.17 «Строительная механика»

### Актуальность темы диссертации

В рецензируемой работе рассматривается задача расчета сооружения на аварийные нагрузки для анализа возможности прогрессирующего обрушения конструкции. Автор предлагает новый спектрально-численный (по терминологии автора) метод расчета, облегчающий процедуру расчета и обеспечивающий точность результата. Это определяет актуальность темы исследований.

### Оценка содержания диссертации, ее завершенности в целом, замечания по оформлению диссертации.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 124 наименований, включая 24 иностранных источника, а также 2-х приложений. Общий объем диссертации составляет 162 страницы, в том числе 49 рисунка и 24 таблицы.

Обратимся к анализу глав диссертации.

Во введении обоснованы тема и задачи исследования, актуальность рассматриваемой проблемы, формулируются задачи исследования, дается краткая характеристика работы.

Первая глава диссертации посвящена описанию ситуации в области обеспечения живучести сооружений и оценке возможности их прогрессирующего обрушения. Глава написана хорошим языком, легко читается и создает картину, сложившуюся в предметной области.

Вторая глава посвящена выводу уравнения движения упругих систем с выключающимися элементами. В теории сейсмостойкости

подобные задачи хорошо известны. (Айзенберг Я.М. Сооружения с выключающимися связями для сейсмических районов. М.: Стройиздат.-1976.- 229 с. ; Гордеев Ю.В., Кузнецова И.О. Моделирование устройств специальной сейсмозащиты кусочно-линейными системами// Э-И. “Сейсмостойкое строительство”, Вып.4, 1996, с. 37-41; Уздин А.М., Ирзахметова И.О. Методика расчета кусочно-линейных систем на сейсмические воздействия. // Э-И. ВНИИТПИ. Сер. “Сейсмостойкое строительство”, Вып. 5-6., 1994, с.63-69 и др.). Однако из описания видно, что автор «выстрадал» приведенные уравнения и придумал им удобную для использования форму, что позволило ему достигнуть успехов в анализе полученных уравнений. В целом глава оставляет хорошее впечатление. К недостатку главы можно отнести отсутствие в уравнениях членов, учитывающих демпфирование в системе.

Третья глава посвящена анализу поведения систем при выключении связей в случае упругой нелинейности и пластических свойств элементов системы. Глава хорошо иллюстрирует методику автора и позволяет выявить некоторые свойства поведения строительных конструкций при выключении элементов.

Четвертая глава посвящена разработке смешанного метода динамического расчета сооружений при выключении связей. Расчет начинается в упругой стадии с использованием спектрального разложения уравнений движения. После входа системы в нелинейную стадию работы осуществляется переход к численному интегрированию уравнений движения. Если предыдущие главы в значительной степени можно считать методическими, приводящими в некоторый порядок методы исследований кусочно-линейных систем, то рассматриваемая глава в значительной степени научно-исследовательская и содержит новые подходы к интегрированию уравнений движения при обрыве связей. Хотя предлагаемый в работе подход представляется вполне естественным и логичным, он характеризуется новизной. Основные выводы главы основаны на опыте применения метода автором диссертации и носят эвристический характер. Они представляются достаточно логичными, хотя по

выводу 5 об учете диссипативных сил имеются возражения, рассмотренные в замечаниях по работе.

Пятая глава диссертации содержит подробный пример, иллюстрирующий особенности применения предлагаемого диссертантом метода расчета.

**Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.**

Автором сформулировано 9 основных результатов и выводов. Все выводы констатирующие и с этой точки зрения не вызывают возражений.

Первый вывод – констатирующий. Автор действительно рассмотрел вопрос оценки живучести зданий и сооружений и дал качественное описание состояния расчета их прогрессирующего обрушения.

Второй вывод это интерпретация воздействия на сооружения от разрыва связи, как приращение реакции исходной и поврежденной систем по направлению динамической степени свободы. Вывод не вызывает возражений.

Третий вывод касается эффекта уменьшения размаха колебаний в движущейся системе в случае, когда очередной отказ элемента происходит вблизи нижнего амплитудного положения массы. Вообще этот эффект в теории сейсмостойкости известен, однако четкая формулировка, приведенная в диссертации, позволяет характеризовать вывод, как имеющий научную новизну.

Четвертый вывод констатирует, что в работе получены уравнения движения системы с выключающейся связью при упругой нелинейности элементов системы. Такие уравнения действительно получены диссертантом.

Пятый вывод – частично констатирующий. Он констатирует факт разработки автором методики расчета, в которой на первой, упругой стадии используется метод разложения по формам колебаний, а затем – численное интегрирование уравнений движения. Содержательная часть вывода утверждает, что метод приводит к существенному повешению скорости счета, а также отсутствию накопления ошибки, присущей прямому численному интегрированию. Это не вызывает возражений.

Шестой вывод относится к выбору главных координат при численном интегрировании уравнений колебаний. Автор приводит разумные предложения по рассматриваемому вопросу и обосновывает их численными примерами. Следует отметить, что предложения носят эвристический характер и можно придумать примеры, когда они не будут работать. Однако для большинства сооружений они полезны и могут использоваться.

Седьмой вывод описывает подход автора к учету геометрической нелинейности. Диссертант корректирует матрицу жесткости системы в начале каждой итерации, что не вызывает вопросов.

Восьмой вывод утверждает, что диссертант разработал «критерий оценки погрешности сопряжения двух методов расчета в момент перехода от решения в форме разложения по собственным формам к прямому численному интегрированию.» Мне представляется, что формулировка должна быть скромнее. Автор рассмотрел причины потери точности и высказал некоторые эвристические соображения о том, как необходимую точность можно обеспечить.

Девятый вывод констатирует, что автор разработал программу расчета и апробировал ее на расчете ряда объектов. Сказанное не вызывает возражений.

**Достоверность и научная новизна полученных результатов** подтверждается использованием апробированных методов строительной механики, а также соответствием результатов работы данным других исследований, работающих в этой области, прежде всего в области сейсмостойкого строительства. Новым в работе является методика, алгоритм и программа расчета систем с выключающимися связями, учитывающая физическую и геометрическую нелинейность конструкции. Детальная проработка алгоритмической части позволила автору составить достаточно эффективную программу расчета и выявить ряд качественных закономерностей поведения конструкции при выключении связей.

#### **Ценность для науки и практики.**

Научно-практическая ценность работы состоит в следующем

- диссертант весьма подробно и доходчиво описал условия выключения связей и их учет при математическом моделировании колебаний системы при выключении связи; этот материал целесообразно использовать в дальнейших исследованиях как в области прогрессирующего разрушения, так и в области сейсмостойкого строительства;
- соискатель разработал эффективное программное обеспечение, позволяющее вести расчеты реальных зданий, прежде всего с металлическим каркасом.

**По работе необходимо высказать ряд замечаний.**

1) *В обзорной части и в начале автореферата допущена опечатка, вызывающая при первом прочтении вопросы к диссертанту*

*В работе и автореферате написано, что расчеты ведутся с применением одной из трех методик*

- нелинейной статической;
- нелинейной динамической;
- линейной динамической

*Для сохранения дальнейшего текста диссертанту следовало написать*

- нелинейной статической;
- линейной динамической;
- нелинейной динамической

2) *В обзорной части следовало бы больше внимания уделить системам с выключающимися связями в теории сейсмостойкости. Эти задачи очень похожи на рассмотренную в диссертации. Автор мог бы многое оттуда позаимствовать, что упростило бы работу и повысило ее ценность. Прежде всего, я бы рекомендовал работы Я.М.Айзенберга и И.О.Кузнецовой.*

3) *При выделении области значимых частот автор использует следующую формулировку (стр. 21 автореферата)*

*Частота колебаний по высшей учитываемой форме не должна превышать ускорение нулевого периода, при котором конструкция начинает реагировать на возмущение как твердое тело.*

Формулировка – неудачная. Частота не может превышать ускорение. В диссертации автор поясняет принятое решение достаточно четко, ссылаясь на монографию А.Н.Бирбраера и указывая на значение частоты 33 Гц. Но следует понимать, что это число весьма условное. В упомянутой монографии говорится, что «обычно» частота принимается 33 Гц. При разрыве связи возникает пакет частот в диапазоне 10-100 Гц. В зависимости от рассчитываемой конструкции производится обрезание частот. В примерах диссертанта, я полагаю, можно было бы ограничиться 20-25 Гц. В АЭС и ряде сложных объектов в цепочку выхода системы из строя может входить оборудование и тогда придется учитывать частоты 30-60 Гц и выше.

4) Помимо разрыва связей автор вводит в систему связи с потерей устойчивости. Если разорванная связь не восстанавливается после разрушения, то связь, потерявшая устойчивость может вновь включиться в работу. При этом она, как правило, меняет свои свойства (сечение теряет форму).

5) Автор рассматривает возможности последовательного выключения связей. В теории сейсмостойкости в настоящее время развивается подход проектирования повреждений, когда конструкция заведомо неравнопрочна, и порядок выключения определяет проектировщик, завершая проект сценарием повреждаемости. По-видимому, такой подход следует применять и при анализе прогрессирующего обрушения. Это, прежде всего, позволяет планировать восстановительные работы и существенно упрощает расчет.

#### **Публикация основных положений диссертации.**

Основные положения диссертации опубликованы в 7 печатных работах автора. Из 7 публикаций – 5 единоличные, 5 публикаций представлены в журналах списка ВАК.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Оценивая диссертационную работу Талантова Ивана Сергеевича в целом, можно утверждать, что она является законченной научно-квалификационной

работой, в которой содержится решение задачи, важной для развития строительной механики. В работе предложена методика и разработаны программы расчета сооружений на действие от выключения связей, что необходимо для оценки возможности прогрессирующего обрушения конструкции.

Результаты исследований представлены в научных публикациях и апробированы на конференциях различного уровня. Автореферат соответствует основным идеям и выводам диссертации.

Замечания по диссертации, высказанные выше, не влияют на общую положительную оценку выполненной работы.

Представленная диссертация и автореферат соответствует требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. №842».

Автор диссертации – Талантов Иван Сергеевич – заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.23.17 – «Строительная механика».

Официальный оппонент: доктор технических наук,  
профессор

Уздин Александр Моисеевич

ФГБОУ ВО «Петербургский государственный  
университет путей сообщения Императора Александра I»,  
профессор кафедры «Теоретическая механика»  
190031, г. Санкт-Петербург,  
Московский пр., 9  
Тел. 8 (812) 457-82-49, 457-89-25  
E-mail: dou@pgups.edu  
<http://www.pgups.ru>

