

**В диссертационный совет по защите  
докторских и кандидатских диссертаций  
Д 212.223.03 на базе ФГБОУ ВО  
«Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет»**

**Отзыв официального оппонента**

**на диссертационную работу Талантова Ивана Сергеевича**  
на тему «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»

**1. Актуальность избранной темы**

Актуальность работы не вызывает сомнений. Современная практика проведения расчетных исследований закритического поведения строительных конструкций зданий и сооружений, включая процессы прогрессирующего обрушения, требует наличия достоверных методов решения, позволяющих получить динамический отклик конструкции на вводимые возмущения и обладающих, в том числе, пониженной ресурсоемкостью вычислений.

Так в настоящее время для верифицированного моделирования процессов разрушения и обрушения зданий и сооружений применяются методы прямого интегрирования уравнений динамики во времени в комплексе с методом конечных элементов, весьма требовательные к временным затратам и ресурсам, и внедрение авторских разработок позволит в определенной мере их сократить.

**2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций**

Иван Сергеевич вполне корректно использует известные научные методы обоснования полученных результатов, выводов и рекомендаций. Авто-

ром изучены, проанализированы и оценены теоретические положения и разработки отечественных и иностранных авторов по оценке устойчивости зданий и сооружений к выходу из строя отдельных элементов конструкций, процессов обрушения и современные методики решения аналогичных задач. Список литературы содержит 124 источника, из которых 100 отечественных и 24 иностранных.

В основе алгоритма автор объединил два широко применяемых математических метода решения динамических задач строительной механики, метод разложения по формам и прямой метод интегрирования уравнений динамики во времени, с параметрами физической нелинейности и эмпирическими данными по сохранению части несущей способности вышедшими из строя элементами.

### **3. Оценка новизны и достоверности**

Диссертантом в качестве новых научных результатов выдвинуты следующие положения:

1. Обосновано использование мгновенного уменьшения упругой реакции системы в качестве инициирующего силового воздействия, выводящего систему из равновесия при выключении элемента. Указанное приращение упругой реакции равно по величине силе инерции, а соответствующее последней ускорение может быть применено в качестве одного из начальных условий в поиске постоянных интегрирования при решении уравнения движения.

2. Выявлен и описан эффект уменьшения размаха колебаний при последовательном выключении элементов в движущейся системе, что повышает стойкость систем к прогрессирующему обрушению даже без учета пластического ресурса материалов.

3. Выведены в общем виде аналитические решения, применимые для экспресс-анализа реакции физически нелинейных систем на внезапное выключение связи или элемента.

4. Разработан метод динамического расчета физически нелинейных стержневых систем с выключающимися элементами, представляющий собой комбинацию положений линейно-спектральной теории и прямого численного интегрирования. Метод позволяет для каждого этапа деформирования конструкции применять положения той теории расчета, достоинства которой раскрываются в наибольшей мере. На основании разработанного спектрально-численного метода составлена программа в среде MathCad, апробированная на примере расчета покрытия павильона №5а ОАО «ЛЕНЭКСПО» на прогрессирующее обрушение.

5. Обоснованы критерии ограничения спектра значимых частот на этапе линейно-спектрального расчета для снижения ресурсоемкости алгоритма. Разработана методика отбора главных динамических степеней свободы для этапа численного интегрирования уравнения движения систем с выключающимися элементами.

6. Разработан критерий оценки погрешности, проявляющейся в момент перехода от линейно-спектрального к численному расчету и способ ее снижения.

Результатом разработки стало появление новой расчетной методики сочетающей в себе преимущества методов разложения по собственным формам и прямого численного интегрирования.

Положения теории основывается на известных достижениях фундаментальных и прикладных дисциплин: математике и строительной механике. Предложено аналитическое решение оценки процесса выхода из строя отдельных конструктивных элементов, способных привести к обрушению сооружения в целом. Достоверность полученных результатов подтверждается серией проведенных верификационных исследований.

#### **4. Теоретическое и практическое значение работы**

Представленная в работе методика расширяет спектр подходов к моделированию шарнирно-стержневых систем с физической нелинейностью и

выключающимися связями в динамической постановке и может служить основой для дальнейших исследований, развития алгоритмов расчетов и программного обеспечения на смежные области конструктивного исполнения зданий и сооружений при анализе процессов обрушения. Автором также обозначены пути по оптимизации проводимых расчетных исследований.

Стоит отметить проведенную серию оценочных расчетов металлического покрытия павильона № 5а «ЛЕНЭКСПО» в г. Санкт-Петербурге на устойчивость к прогрессирующему обрушению.

## **5. Оценка содержания диссертации и степени ее законченности**

Диссертация имеет законченный вид, где рассмотрены как теоретические, так и практические вопросы моделирования устойчивости стержневых систем к прогрессирующему обрушению.

Во введении приводится обоснование актуальности работы. Первая глава посвящена вопросам теории устойчивости строительных конструкций к прогрессирующему обрушению и методы их защиты. Во второй главе представлено решение, в форме разложения по формам, неоднородного уравнения движения системы с выключающимися элементами, описан эффект изменения амплитуды колебаний, зависящей от параметров движения системы на момент удаления элемента. Третья глава посвящена учету физической нелинейности при аналитической и численной формах расчетов систем с выключающимися элементами, показано применение алгоритма для случаев упругих колебаний, а также колебаний при развитой пластичности. В четвертой главе формулируются основные положения предлагаемой методики, принятые допущения, пути оптимизации решения и учета диссипативных сил. Пятая глава посвящена практике применения методики и разработанного программного обеспечения для анализа устойчивости покрытия павильона № 5а «ЛЕНЭКСПО» к прогрессирующему обрушению, сопоставляются различные подходы к решению задачи.

По каждой главе и работе в целом оформлены четкие выводы. Сама диссертация написана грамотно и доходчиво. Автореферат в достаточной мере отражает содержание диссертации.

## **6. Общие замечания по диссертационной работе**

*Замечание 1.* Применение единого понижающего коэффициента жесткости при выходе элемента из строя может оказывать влияние на достоверность механизма прогрессирующего обрушения, позволяя при его низких значениях проводить только оценку сверху. Также не понятно, каким образом учитывается работа элементов при смене знака усилий, к примеру, со сжатия на растяжение, включается ли элемент в работу?

*Замечание 2.* Каким образом выбирается продолжительность стадии исследования поведения системы после удаления элемента в рамках используемого метода?

*Замечание 3.* В диссертации в запас прочности автор пренебрегает учетом эффекта запаздывания текучести при повышенных скоростях деформирования. Проводились ли авторские оценки влияния подобного эффекта на процесс обрушения рассматриваемых в диссертации систем, на возможность элементов воспринять прилагаемые усилия, пустив расчет по альтернативным схемам деформирования, какие скорости деформирования на начальных этапах нагружения были получены?

## **7. Заключение**

Указанные выше замечания не снижают научную и практическую значимость диссертации. Таким образом, диссертация Талантова Ивана Сергеевича на соискание ученой степени кандидата технических наук является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи имеющей существенное значение в области анализа поведения стержневых систем строительных конструкций в закритической стадии. Диссертация соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвер-

жденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г., а ее автор, Талантов Иван Сергеевич, заслуживает присуждения искомой ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.17 — «Строительная механика».

### Официальный оппонент

Павлов Андрей Сергеевич, кандидат технических наук по специальности 05.13.18 — «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ», научный сотрудник Научно-образовательного центра компьютерного моделирования уникальных зданий, сооружений и комплексов ФГБОУ ВО «НИУ Московский государственный строительный университет».

Адрес: 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26

Телефон: +7 (965) 143-06-52

Электронная почта: a.pvlv@yandex.ru

Подпись \_\_\_\_\_

29 2016 г.

2

3

ВНИКА  
507Е  
1

129337