

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Мущанова Александра Владимировича на тему: «Действительная работа и формообразование стержневых структурных покрытий на нетиповом плане», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.01 – Строительные конструкции, здания и сооружения.

Актуальность избранной темы

Исследование вопросов устойчивости центрально-сжатых стержней с учётом несовершенств их геометрической формы и показателей фактического напряженно-деформированного состояния относится к одной из важнейших задач, возникающих в процессе эксплуатации не только структурных конструкций, но и многочисленных вариантов стержневых пространственных покрытий, в которых задействованы элементы, подвергающиеся центральному сжатию. Совершенствование методик подбора сечений по критерию устойчивости сжатых стержней, несомненно, отразится на конечной металлоемкости проектируемого покрытия. Поэтому, исследования, посвящённые уточнению как несущей способности сжатых стержней (и, как следствие, значений коэффициента приведения геометрической длины к расчетной), так и использованию полученных результатов при оптимизации структурных покрытий, являются актуальными научно-техническими задачами.

Научные и прикладные разработки, посвященные данной проблематике, раскрыты в достаточно глубокой мере. Однако, следует отметить, что соискатель подошел к вопросу исследования устойчивости с позиций конечно-элементного исследования, базирующегося на максимально точном учете конструктивного оформления узловых соединений элементов и их начальной геометрии. Кроме того, автором получены интересные, дополняющие имеющиеся в этой области результаты по оптимизации металлоемкости структурных покрытий на нетиповых прямоугольных планах, базирующиеся на данных уточненных значений несущей способности центрально-сжатых стержней. Результаты исследований им отражены в разработанной методике оптимизации начальных проектных решений, что привело к достаточно весомым показателям снижения металлоемкости покрытия в сравнении с вариантами, полученными на основе традиционных подходов к проектированию структур на квадратных или близких к ним планах.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов, рекомендаций и заключений, полученных в диссертации, подтверждается использованием корректных современных методов геометрического и компьютерного моделирования и применением современного оборудования при проведении натурных экспериментальных исследований. Кроме того, обоснованность результатов подтверждается широкой апробацией основных результатов исследований на научных и научно-практических конференциях и семинарах, в опубликованных работах, внедрением в образовательную и проектную деятельность.

Диссертация состоит из введения, пяти разделов, выводов, списка использованной литературы (149 наименований) и приложений. Общий объем работы составляет 185 страниц, в том числе 128 страниц основного текста, 33 полных страниц с рисунками и таблицами, 14 страниц списка использованной литературы, 57 страниц приложений.

Во **введении** обоснована актуальность темы исследований, сформулированы цель и задачи, представлены объект и предмет исследования, сформулированы научная новизна и практическая ценность результатов работы. Указана связь работы с НИР кафедры в части усовершенствования аналитических и численных методов расчета строительных конструкций и современных подходов к формообразованию и обеспечению надежности строительных металлоконструкций. Сформулированы методология и методы исследования.

В первом разделе выполнен анализ конструктивных решений структурных покрытий. Даны ссылки на известные зарубежные и отечественные решения формообразования ячеек и узловых соединений. Проведен критический анализ аналитических и численных методов исследования НДС структурных конструкций, результатов экспериментальных исследований.

Приведены и проанализированы методики расчета центрально-сжатых стержней в структурном покрытии по украинским нормам проектирования (ДБН), российским (СП) и европейским (Еврокод 3).

Подробно анализируются управляющие и варьируемые параметры, используемые при оптимизации структурных конструкций.

В итоге автором сформулированы цели и задачи исследования. Разработана структурно-логическая схема проведения теоретических и экспериментальных исследований.

Во втором разделе выполнено обоснование планируемых методов исследования. Показано, что для учета особенностей расчета систем со сложной конфигурацией в плане, несимметричными опорными закреплениями, неравномерно распределенными нагрузками и многими другими факторами, наиболее целесообразно применение метода конечных элементов.

Составлен план и методика проведения физического эксперимента по исследованию устойчивости отдельных центрально-сжатых стержней и фрагмента структурной плиты в виде ячейки, что позволяет максимально полно отразить действительную работу всех элементов и работу узлов.

Проработаны вопросы оптимизации геометрической формы структурного покрытия на нетиповом прямоугольном плане по критерию минимизации массы. В рамках предварительно выполненных исследований была выбрана расчетная схема и проведена оценка значимости отдельных проектных переменных. Показано, что наиболее предпочтительным является метод Нелдера-Мида.

В третьем разделе рассмотрены особенности конструктивных решений узловых соединений, влияющих на устойчивость центрально-сжатых стержней. Представлены результаты численных исследований потери устойчивости стержней в упругой и упруго-пластической стадиях.

Система исследований основана на моделировании устойчивости пространственного стержня без узлового соединения, с шарнирным закреплением коннектора и жестким закреплением, отражающим работу узла в составе структурного покрытия.

Анализ результатов численных исследований позволил внести коррективы в коэффициенты расчетной длины и продольного изгиба, уточнить значения критических напряжений.

Установлена обобщенная зависимость между значимыми факторами, которые влияют на уточненное расчетное значение критических напряжений. Составленные автором регрессионные зависимости «напряжение-гибкость» имеют хорошую сходимость результатов исследований с нормативной документацией, что позволяет использовать скорректированные значения коэффициентов при пользовании существующими нормами проектирования.

В четвертом разделе приведены результаты экспериментальных исследований.

Проведены испытания одиночного центрально-сжатого стержня, потеря устойчивости которого происходит в пределах упругой стадии работы материала, и ячейки структурного покрытия с узловыми соединениями в виде ти-

повых шаровых коннекторов, объединяющих стержни большой гибкости, теряющих устойчивость при упругой работе.

Эксперимент подтвердил корректность результатов выполненных численных исследований в части увеличения несущей способности центрально-сжатых стержней покрытия при их заземлении в шаровых коннекторах.

В пятом разделе разработан алгоритм оптимизации решетчатых конструкций, выполнена оценка влияния основных параметров проектирования на оптимизацию проектных решений. Автором предложена функция цели, предусматривающая минимальную массу конструкции при выполнении ограничений, связанных с требованиями обеспечения прочности, устойчивости, жесткости конструкции в пределах изменения варьируемых параметров.

Результаты полученных регрессионных зависимостей представлены в приложении Б (Зависимости варьируемых параметров покрытия при решении оптимизационной задачи на неподвижном и податливом контурах). Следует отметить значительный практический интерес приведенных зависимостей «удельная масса конструкции - соотношение сторон в плане» при различных нагрузках и зависимость «удельная масса конструкции - нагрузка» при различном соотношении сторон.

Построенная регрессионная модель и окончательные формулы к определению материалоемкости покрытия позволяют на стадии вариантного проектирования определить удельную массу конструкции и назначить оптимальные геометрические параметры проектируемого покрытия.

Каждый раздел завершают выводы, логически вытекающие из его содержания.

В **выводах** изложены основные результаты проведенного диссертационного исследования.

В диссертационной работе излагаемый материал имеет четкую логическую последовательность, хорошо систематизирован и структурирован. Рассматриваемая диссертационная работа является завершенным научным трудом, а автореферат в полной мере отражает основное содержание диссертации.

Достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций

Основная новизна диссертационной работы заключается в разработке новой методики проектирования большепролетных структурных покрытий

на нетиповых прямоугольных планах, базирующейся на использовании разработанного автором алгоритма оптимизации, позволяющего на предпроектной стадии работ, исходя из геометрических параметров и расчетных нагрузок на покрытие назначить оптимальную из условия металлоемкости форму покрытия. При этом геометрия формы покрытия (плоская или криволинейная) задается пользователем.

К числу наиболее существенных научных результатов диссертации следует отнести:

1. Результаты численных исследований потери устойчивости центрально-сжатых стержней в диапазоне гибкостей $\lambda = 50 \dots 140$, благодаря которым получены уточненные значения коэффициента приведения геометрической длины к расчетной и коэффициента продольного изгиба.

2. Полученную соискателем уточненную по отношению к идеализированной шарнирно-стержневой схеме зависимость для определения критических напряжений устойчивости в центрально-сжатых стержнях, учитывающую их частичное защемление в узловых вставках-коннекторах.

3. Результаты экспериментальных исследований устойчивости центрально-сжатых стержней как одиночных, так и в составе ячейки структурного покрытия, позволившие подтвердить адекватность проведенных численных исследований

4. Разработанный гибкий алгоритм оптимизации металлоемкости покрытий, позволяющий по желанию пользователя осуществлять поиск оптимальной конфигурации покрытия на нетиповом прямоугольном плане, как на основе действующих норм проектирования, так и с учетом уточненной несущей способности сжатых стержней, податливости опорных конструкций, варьированием геометрической формы покрытия.

Замечания

1. Несмотря на достаточно полный и качественный анализ ранее выполненных исследований, результаты которого изложены в 1-м разделе диссертации, соискателю следовало бы провести более глубокий анализ исследований устойчивости, представленный в европейских нормах проектирования (Еврокод 3), где указано подробное влияние возможных геометрических несовершенств на несущую способность сжатых стержней из условия устойчивости, что позволило бы в большей мере обосновать принятую в расчетной конечно-элементной схеме форму начального несовершенства.

2. Экспериментальные исследования потери устойчивости центрально-сжатых стержней проводились на модели одиночного стержня и одной ячейки структурного покрытия, что, на наш взгляд, недостаточно полно отображает влияние узловых соединений на процесс потери устойчивости при различных гибкостях. Принимая во внимание ранее выполненные в этом направлении экспериментальные исследования (например, работы Файбишенко В.К.), традиционно испытанию подлежит группа ячеек (не менее 4-х).

3. К сожалению, автор при решении задачи влияния жесткости узловых соединений на несущую способность центрально-сжатых стержней из условия устойчивости, как при проведении численных, так и экспериментальных исследований, ограничился лишь моделированием одного конструктивного решения – шаровой вставки-коннектора. Учитывая широкое разнообразие конструктивных решений этих узлов, следовало бы рассмотреть (хотя бы в рамках численного моделирования) другие варианты конструктивных решений, что позволило бы расширить и на эту область предлагаемые значения коэффициентов приведения геометрической длины к расчетной и коэффициентов продольного изгиба.

4. В алгоритме оптимизации в качестве варьируемых параметров задаются лишь нагрузка, высота покрытия и его геометрическая форма. При этом отсутствует традиционно включаемое в перечень варьируемых параметров соотношение размеров в плане ячейки структурного покрытия, что несомненно, позволило бы уточнить полученные конечные результаты и рекомендации по данному вопросу.

5. Выбор целевой функции в виде минимальной массы конструкции (при выполнении ряда ограничений) автором объясняется тем, что «... затраты, связанные с другими статьями стоимости строительства... имеют не устойчивые границы...». Желательно было бы подтвердить этот тезис примерами.

Общие выводы

Несмотря на указанные замечания, работа по актуальности, научной и практической значимости полученных результатов, отвечает требованиям п.2.2 Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Мущанов Александр Владимирович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.01 – строительные конструкции, здания и сооружения.

Настоящим я, Зверев Виталий Валентинович, даю согласие на автоматизированную обработку персональных данных с указанием фамилии, имени, отчества.

Официальный оппонент:

Доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой металлических
конструкций ФГБОУ ВО «Липецкий
государственный технический универси-
тет»




Зверев Виталий Валентинович

«__» _____ 2021 г.

Адрес: 398055 г. Липецк, ул. Московская, 30
E-mail: kaf-mk@stu.lipetsk.ru
Тел.: 8-910-742-87-14

Подпись доктора технических наук,
профессора, заведующего кафедрой
металлических конструкций
Зверева Виталия Валентиновича заверяю

Ученый секретарь ФГБОУ ВО «Липецкий
государственный технический университет»

 **Колобанов А.С.**