

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора технических наук доцента Галишниковой Веры Владимировны на диссертацию Косых Павла Андреевича «Развитие методики расчета легких стальных тонкостенных профилей с произвольной формой перфорации на осевое сжатие», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.01 – «Строительные конструкции, здания и сооружения»

### **Актуальность избранной темы**

Легкие стальные тонкостенные конструкции (ЛСТК) в последние годы все шире применяются в практике строительства. Практически все типы зданий сейчас могут возводиться с использованием каркасов из ЛСТК. Эти конструкции, безусловно, имеют такие серьезные конкурентные преимущества как быстровозводимость и комплексная экономия ресурсов. Однако их применение сдерживается из-за ряда объективных факторов. Основной проблемой является недостаточная изученность поведения таких конструкций, и, как следствие, отсутствие разработанных инженерных методик их расчета. Особое значение для расчета тонкостенных профилей имеет учет возможной потери устойчивости (общей и местной), учет особенностей их работы на стесненное кручение и учет нелинейности поведения. Кроме того, в последнее время производителями таких профилей ведется поиск их оптимальных форм, что привело к большому разнообразию видов выпускаемой продукции при отсутствии достаточной экспериментальной базы и нормативно-технического обеспечения.

В связи с изложенным выше, тема диссертационного исследования, нацеленная на создание инженерной методики определения несущей способности тонкостенных профилей со сложной перфорацией, без сомнения является **актуальной** и практически значимой.

В соответствии с поставленной задачей обоснованным является выбор **объекта** исследования - тонкостенных металлических профилей с перфорацией, усиленной отгибами. **Предметом** исследования является несущая способность таких профилей при осевом сжатии и ее зависимость от размерных параметров, конфигурации вырезов и формы начальных геометрических несовершенств. **Методология** исследования основана на сочетании натуральных и вычислительных экспериментов с применением методов математического моделирования, вероятностных и эмпирических методов.

### **Оценка содержания диссертации, ее завершенность.**

Диссертация представляет собой цельную, завершенную научно-квалификационную работу, изложенную в логической последовательности. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы, включающего 89 наименований, два приложения.

Основной текст диссертации изложен на 171 странице и включает 102 рисунка и 37 таблиц.

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы основные цели и задачи исследования, оценена научная и практическая значимость работы, обоснована достоверность полученных результатов и их новизна.

**В первой главе** дано краткое описание особенностей применения легких стальных тонкостенных конструкций, рассмотрены работы по исследованию местной потери устойчивости и закритической работы тонкостенных конструкций, основные положения теории изгибно-крутильных деформаций тонкостенных стержней открытого профиля. Проведен анализ возможных путей повышения эксплуатационных характеристик профилей ЛСТК, в частности, использования перфорированных профилей с отверстиями на стенке, сопоставимыми с ее размером, усиленными отгибами. Автор делает обоснованное заключение об отсутствии инженерных методов расчета конструкций, выполненных из таких профилей.

**Во второй главе** описаны и проанализированы результаты натурных и вычислительных экспериментов, по исследованию характера работы сплошного С-образного профиля при сжатии. В натурных экспериментах исследован вид истощения несущей способности при наличии измеренных начальных несовершенств, особенности включения в работу опор. Определена экспериментальная кривая работа материала. Полученные результаты использованы для отработки методики создания конечно-элементной модели в расчетном комплексе ANSYS. На созданной конечно-элементной модели выполнен ряд численных экспериментов, результаты которых сравнивались с результатами натурных экспериментов и с расчетами по инженерным методикам, предлагаемым СП и Еврокодом. Продемонстрировано адекватное отображение качественной картины деформирования профиля при достаточно хорошем согласовании численных результатов. Исследовано влияние распределения начальных геометрических несовершенств на несущую способность сплошного профиля.

**В третьей главе** на основе конечно-элементного моделирования разработана методика расчета несущей способности профилей со сложной перфорацией. В методике учитываются геометрическая и физическая нелинейности работы сечения и материала, а также начальные несовершенства, вносимые детерминированно, по критическим направлениям, выявляемым расчетом на устойчивость. Получены уравнения для определения эквивалентных характеристик сечения, а также эмпирические зависимости для учета распределения напряжений в сечении. Выполнены численные исследования характеристик профиля "АТЛАНТ" и анализ его эффективности.

*В четвертой главе* приведены результаты натурных испытаний перфорированных профилей системы "АТЛАНТ" на сжатие и выполнено их сравнение с результатами численных экспериментов. В конечно-элементных моделях учитывались начальные несовершенства геометрической формы и опорных устройств. Продемонстрировано приемлемое согласование результатов.

*В заключении* диссертационной работы сформулированы общие выводы по полученным результатам.

*В приложениях* к работе приведены подробные таблицы с результатами экспериментов и дополнительные фотографии процесса экспериментов.

*Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.* Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, в достаточной степени аргументированы, логически последовательны и обоснованы. Научные результаты получены на основе выполненных натурных экспериментов, применения компьютерного моделирования и применения методик, приведенных в нормативных документах Российской Федерации и Европейского Союза. Выводы и рекомендации автора подтверждены достаточным количеством экспериментальных данных и анализом полученных результатов.

*Научная новизна* диссертационного исследования состоит на наш взгляд в следующих основных результатах:

- установлена зависимость несущей способности тонкостенных профилей с нестандартной перфорацией при осевом сжатии от размерных параметров, конфигурации вырезов и формы начальных геометрических несовершенств, что позволяет более точно предсказать предельно допустимую нагрузку;
- построен алгоритм определения «эквивалентных» геометрических характеристик профиля разных типоразмеров с непостоянной по длине формой поперечного сечения для вычисления критической силы потери устойчивости перфорированных профилей;
- разработан алгоритм определения «эффективных» характеристик тонкостенных профилей со сложной перфорацией, обеспечивающий возможность учета сложных форм местной потери устойчивости;
- получены аналитические зависимости, позволяющие выполнять расчет несущей способности перфорированных профилей сложной геометрии;

*Достоверность полученных результатов* подтверждается достаточным объемом экспериментальных данных, как полученных автором самостоятельно, так и доступных в открытых источниках. Предлагаемая методика в частных случаях, для которых доступны справочные данные. Хорошо согласуется с действующими методиками расчета.

### **Теоретическая и практическая значимость результатов исследования**

Работа имеет выраженный практический характер, однако ее результаты также имеют и существенную теоретическую ценность.

**Теоретическая значимость** работы заключается в том, что в ней разработан теоретический подход и методика создания конечно-элементных моделей тонкостенных металлических профилей со сложной геометрией, учитывающая начальные несовершенства в геометрии профиля и опорных устройств, геометрическую и физическую нелинейность и реальную диаграмму деформирования материала. При помощи построенных вычислительных моделей возможно выполнение детальных исследований особенностей напряженно-деформированного состояния тонкостенных профилей сложной геометрии, что имеет как научное, так и практическое значение.

**Практическая ценность** работы заключается в том, что полученные в ней результаты позволяют обеспечить более точное определение напряженно-деформированного состояния тонкостенных конструкций, оценить влияние местной потери устойчивости. Разработанная инженерная методика расчета легких стальных тонкостенных конструкций с произвольной формой перфорации в практике профильных научно-исследовательских и проектно-конструкторских организаций ориентирована на повышение точности проводимых расчетов и обеспечении требуемого уровня безопасности строительных конструкций, зданий, сооружений и комплексов.

**Личный вклад автора** состоит в разработке методики построения вычислительных моделей тонкостенных профилей, получении на основе компьютерного моделирования основных эквивалентных характеристик сечений таких профилей, разработке инженерной методики определения несущей способности профилей, а также в проведении ряда натурных экспериментов и аналитическом сравнении результатов натурных и вычислительных экспериментов.

**Основные результаты диссертации** с достаточной полнотой изложены в восьми печатных работах, четыре из которых опубликованы в журналах, входящих в действующий перечень российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук, утвержденный Высшей аттестационной комиссией Министерства образования и науки Российской Федерации.

Диссертационное исследование, на наш взгляд, выполнено на хорошем уровне, а его направленность свидетельствует о высокой научной и профессиональной квалификации автора.

Содержание диссертации полностью отвечает поставленной цели и полно отражает решение сформулированных автором задач. В диссертации логично

описан ход исследования (в соответствии с обозначенной целью, задачами и методологической схемой исследования). Изложение содержания последовательное, автор хорошо владеет соответствующей профессиональной терминологией.

Автореферат в должной мере отражает содержание диссертации.

**В качестве замечаний по диссертации можно привести:**

1. Автор продемонстрировал в своей работе очень хорошее владение вычислительным комплексом ANSYS. Однако, его применение сводится к получению характеристик профиля, используемых в инженерных методиках расчета несущей способности. Было бы полезно рассмотреть возможность использования полученных характеристик при расчете полных каркасов зданий, выполненных из тонкостенных профилей, в ПК ANSYS.

2. Не рассматривается вопрос об использовании эквивалентных характеристик сечения при сложном напряженном состоянии стержня.

Высказанные замечания не снижают общей высокой оценки диссертационной работы и важности полученных в ней научных результатов, и могут служить рекомендациями к дальнейшим исследованиям.

**Соответствие диссертации и автореферата требованиям ГОСТ Р 7.0.11-2011.** Диссертация и автореферат соответствует требованиям ГОСТ Р 7.0.11-2011 «Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления». М.: Стандартинформ. -2012.

**Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным «Положением о присуждении учёных степеней» по пунктам 10, 11 и 14.** Диссертация Косых Павла Андреевича «Развитие методики расчета легких стальных тонкостенных профилей с произвольной формой перфорации на осевое сжатие», представленная на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.23.01 – Строительные конструкции, соответствует критериям, установленным «Положением о присуждении учёных степеней», в том числе:

- по пункту 10 - диссертация написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, которые свидетельствуют о личном вкладе автора в науку. Диссертация содержит рекомендации по использованию научных выводов, а предложенные автором решения аргументированы и оценены по сравнению с другими известными решениями;

- по пункту 11 - основные научные результаты диссертации опубликованы автором в 8 работах в научных изданиях, входящих в действующий перечень российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых

степеней доктора и кандидата наук, утвержденный Высшей аттестационной комиссией Министерства образования и науки Российской Федерации.

- по пункту 14 - в диссертации соискатель надлежащим образом ссылается на авторов и источники заимствования материалов и отдельных результатов.

**Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным «Положением о присуждении учёных степеней» по пункту 9.**

Диссертация Косых Павла Андреевича «Развитие методики расчета легких стальных тонкостенных профилей с произвольной формой перфорации на осевое сжатие», представленная на соискание учёной степени кандидата технических наук, является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны положения, вносящие вклад в развитие строительной отрасли, способствуя повышению безопасности строительных объектов за счет качественного анализа работы легких стальных тонкостенных конструкций.

Диссертация соответствует требованиям п. 9 Положения «О порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 г., предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям, а ее автор Косых Павел Андреевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.01 – Строительные конструкции.

Официальный оппонент,  
доктор технических наук, доцент,  
профессор департамента строительства  
Федерального государственного автономного  
образовательного учреждения высшего  
образования «Российский университет дружбы  
народов» (РУДН)

Научная специальность:  
05.23.17 – Строительная  
механика

Галишникова  
Вера Владимировна



«19» ноября 2018 г.

117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д.6,  
тел.: +7 (495) 955-08-05, +7 915 379 2468  
E-mail: galishnikova-vv@rudn.ru

Подпись Галишниковой Веры Владимировны заверяю.  
Ученый секретарь Ученого совета Федерального государственного автономного  
образовательного учреждения высшего образования "Российский университет  
дружбы народов" (РУДН)

д.ф.-м.н., профессор



В.М. Савчин

## **ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**

**кандидата технических наук, заведующего сектором высотных зданий и сооружений лаборатории металлических конструкций ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство»**

**КОНИНА ДЕНИСА ВЛАДИМИРОВИЧА**

**на диссертационную работу**

**КОСЫХ ПАВЛА АНДРЕЕВИЧА**

**«Развитие методики расчета легких стальных тонкостенных профилей с произвольной формой перфорации на осевое сжатие», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.01 — «Строительные конструкции, здания и сооружения»**

### **Актуальность темы**

В настоящее время одной из востребованных технологий в строительной сфере является технология ЛСТК. Она основывается на использовании в качестве несущего каркаса стальных холодноформованных профилей незначительной толщины (порядка 1–3 мм). Основным достоинством технологии является легкость конструктивных элементов, что совместно с высокой технологичностью монтажа и производства значительно упрощает строительно-монтажные работы. Технология нашла широкое применение в условиях тесной городской застройки, строительства на слабых грунтах, в проектах надстройки существующих зданий.

Несмотря на весомые преимущества, технология обладает рядом недостатков, ограничивающих ее область применения. В силу незначительной толщины по сравнению с характерными размерами поперечного сечения профили подвержены местной потере устойчивости, существенно определяющей их напряженно-деформированное состояние. В следствие высокой теплопроводности стали, профили служат мостиками холода, значительно снижая теплосопротивление, а также температуру на внутренней поверхности ограждающих конструкций. Одним из решений стало появление новых конструктивных исполнений, отличающихся наличием вырезов и дополнительных элементов жесткости. Причиной сложности реализации на практике данных решений является отсутствие в нормативных документах положений, регламентирующих прочностные расчеты таких профилей. Поэтому тема диссертационной работы — развитие методики расчета легких стальных тонкостенных профилей с произвольной формой перфорации на осевое сжатие — несомненно является актуальной.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, основных результатов, списка литературы, включающего 89 наименований, двух приложений. Основная часть работы изложена на 137 страницах машинописного текста. Работа содержит 102 рисунка. Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы основные цели работы и изложены основные положения, выносимые на защиту. В последующих главах приводится обзор состояния исследований в данной научной области, описываются подходы, используемые в работе, приводятся результаты численных исследований и их сопоставление с экспериментальными данными. В заключении изложены наиболее важные результаты и выводы диссертационной работы.

### **Научная ценность и новизна**

Работа диссертанта посвящена исследованию напряженно-деформированного состояния легких стальных тонкостенных профилей с произвольной формой перфорации на осевое сжатие. Разработаны подходы создания конечно-элементных моделей тонкостенных профилей, результаты расчета по которым согласуются с нормативными документами. Исследовано закритическое поведение стенки/полок сложной конфигурации, характеризующейся наличием вырезов и промежуточных элементов жесткости. Получены зависимости для определения напряжений в стадии следующей за потерей местной устойчивости. Проанализировано влияние конфигурации вырезов, размеров поперечного сечения, распределения начальных геометрических несовершенств на предельную несущую способность исследуемых профилей. С целью верификации проведены натурные эксперименты, показавшие результаты идентичные результатам компьютерного моделирования. Выполнено сравнение с испытаниями сторонних авторов.

Среди полученных результатов наиболее важными являются:

1. Установлена зависимость несущей способности тонкостенных профилей с нестандартной перфорацией при осевом сжатии от размерных параметров, конфигурации вырезов и формы начальных геометрических несовершенств;
2. Построен алгоритм определения «эквивалентных» геометрических характеристик профиля разных типоразмеров с непостоянной по длине формой поперечного сечения для вычисления критической силы потери устойчивости;



3. Разработан алгоритм определения «эффективных» характеристик тонкостенных профилей со сложной перфорацией, обеспечивающий возможность учета сложных форм местной потери устойчивости;
4. Получены аналитические зависимости, позволяющие выполнять расчет несущей способности перфорированных профилей сложной геометрии;

**Практическая ценность** работы состоит в том, что полученные результаты открывают возможности для широкого применения разнообразных конструктивных исполнений тонкостенных профилей, имеющих индивидуальные особенности и достоинства.

**Достоверность выводов и результатов** диссертации не вызывают сомнений. В работе используются общепринятые теоретические подходы, основные выводы находятся в соответствии с известными теориями, экспериментальными данными и публикациями других авторов.

В процессе рассмотрения текста диссертации и автореферата **отмечены следующие недостатки по работе:**

1. В Главе 1 в части, посвященной актуальности темы исследования, не отмечена возможность строительства в труднодоступных районах в том числе способами, при которых конструкции формируются на месте из полос стали. Данное обстоятельство существенно расширяет и удешевляет возможности строительства в условиях указанных районов.
2. В Главе 2 описана диаграмма с уклоном площадки текучести и без учета участка упругопластических свойств стали (при переходе от упругости к пластичности). Кроме того, не поясняется имеет ли принятая диаграмма работа стали ограничение по деформациям, так как в задачах внецентренного сжатия особенно с малыми эксцентриситетами разрушение элемента при численном моделировании может не наступить ввиду бесконечной его деформации. Каким образом представленная диаграмма на рисунке 2.3 соотносится с корректными диаграммами на стр. 61, которые были получены по результатам испытаний?
3. В Главе 2 и последующих главах изучению стали, из которой изготовлены испытываемые конструкции, не уделено достаточно внимания. Сталь в зонах повышенных деформаций (в местахгиба) теряют площадку текучести за счет явления наклепа.
4. Раздел 3.7. Почему сравнение идет с С-профилем, который очевидно менее выгоден с точки зрения теплотехники и более «устойчив»?

Почему не ведется сравнение с прямым «конкурентом» профиля Атлант – термопрофилем?

5. Глава 4. Следовало бы дополнительно пояснить какие измерительные приборы использовались соискателем в самостоятельно проведенных экспериментах.
6. В Главе «Основные результаты и выводы» следовало бы сформулировать соответствующие положения для действующих сводов правил по проектированию конструкций из тонкостенных гнутых профилей (СП 260.1325800.2016). Например, по определению несущей способности или «эквивалентных» геометрических для стержней произвольной формы не только по сечению, но и по длине (вырезы). Ввиду большого разнообразия возможных форм поперечных сечений, вырезов в стенках профилей можно было предложить в свод правил внести алгоритм определения соответствующих параметров или правила испытаний и численного моделирования.

Сделанные замечания не носят принципиального характера и не снижают ценности диссертационной работы.

### **Итоговое заключение**

В целом диссертационная работа Косых П. А. представляет собой законченное исследование. В ней получен ряд новых важных результатов, способствующих более точному определению напряженно-деформированного состояния легких тонкостенных конструкций.

Диссертация свидетельствует о высокой квалификации автора. Положительным качеством представленной диссертации является то, что часть работы сочетает в себе сопоставление численных результатов исследования с экспериментальными данными. Научные положения и выводы диссертации обоснованы и подтверждены соответствующими исследованиями. Анализ публикаций автора показывает, что основные результаты диссертации достаточно полно опубликованы в научных журналах, в том числе рекомендованных ВАК, докладывались на многих российских и международных конференциях. Диссертация написана хорошим языком и аккуратно оформлена. Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Рассмотренная диссертация обладает научной ценностью в области прочностных расчетов, отвечает специальности 05.23.01 — строительные конструкции, здания и сооружения (технические науки) и имеет практическое значение для сферы проектирования. Считаю, что диссертационная работа

полностью удовлетворяет требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Косых Павел Андреевич, заслуживает присвоения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.01 — Строительные конструкции, здания и сооружения.

**Официальный оппонент**

**Конин Денис Владимирович**, кандидат технических наук.

Научная специальность: 05.23.01 — «Строительные конструкции, здания и сооружения».

Заведующий сектором высотных зданий и сооружений лаборатории металлических конструкций ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство»

Адрес: 109428, г. Москва, ул. 2-я Институтская, д. 6

Тел.: +7 (926) 853-99-73

Электронная почта: [konden@inbox.ru](mailto:konden@inbox.ru)

  
\_\_\_\_\_ Конин Д. В.

« 29 » \_\_\_\_\_ июля 2018 года

Подпись \_\_\_\_\_ Д. В. Конина удостоверено.  
Исполнитель по персоналу \_\_\_\_\_ С. Н. Мелосежовская

