

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора технических наук Мущанова Владимира
Филипповича

на диссертацию Лобовского Михаила Олеговича на тему:
«Совершенствование методов расчета устойчивости сквозных двухветвевых
элементов стальных конструкций»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 2.1.1. Строительные конструкции, здания и сооружения

На отзыв представлены автореферат и диссертация, состоящая из введения, пяти глав, выводов, списка использованной литературы, приложения и акта внедрения. Общий объем диссертации — 114 страниц, в том числе 70 страниц основного текста, 19 полных страниц с рисунками и таблицами, 16 страниц списка использованной литературы, 9 страниц приложения и акта внедрения.

Актуальность темы

Решетчатые (сквозные) двухветвевые элементы строительных металлоконструкций нашли свое широкое применение, как конструктивные центрально-, внецентренно сжатые, сжато-изогнутые элементы плоских и пространственных стержневых систем самого разнообразного вида (стойки, раскосы, подкосы, элементы связей и т.д.). Однако наиболее часто данный конструктив применяется в качестве колонн рам промышленных зданий и сооружений. Давно известно, что существующие методы их расчета на общую (в плоскости решетки) устойчивость имеют ряд допущений, которые не только ведут к неоправданным запасам несущей способности, но и не позволяют учитывать целый ряд значимых факторов, таких как фактическое нагружение по длине элемента, наличие различных эксцентриситетов приложения сжимающей продольной силы на концах элемента влияние начальных несовершенств, дефектов и повреждений, оказывающих существенное влияние на соответствие конструкции требованиям эксплуатации.

Отсутствие корректного учета выше перечисленных факторов в методиках расчета устойчивости внецентренно-сжатых и сжато-изогнутых элементов сквозного сечения, регламентируемых современными нормативными документами, ведет к наличию определенных противоречий и пробелов. Так, согласно СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции», проверка устойчивости сжато изогнутых и внецентренно-сжатых элементов сквозного сечения выполняется с разделением на общую и местную (ветвей между узлами решетки) в плоскости и из плоскости действия изгибающего момента. При этом, зачастую выполнение требований общей устойчивости двухветвевых элементов сквозного сечения, выделенного из конструкции по расчетной длине, обеспечение

устойчивости ветвей не гарантируется, поскольку последняя выполняется при наличии в ветвях усилий, явно превышающих значения, допускаемых по условиям устойчивости ветви. Кроме того, еще раз следует отметить отсутствие в актуальных нормах проектирования четких указаний по учету влияния параметров характерных дефектов и повреждений на несущую способность элементов сквозного сечения из условия устойчивости, что, в свою очередь, также, требует проведения исследований и разработки соответствующих рекомендаций.

Таким образом, тема дальнейшего совершенствования методов расчета на устойчивость конструкций зданий и сооружений и их элементов (в частности, внецентренно-сжатых двухветвевых элементов стальных конструкций сквозного сечения) является *актуальной* и требует дальнейших исследований и разработок в области обеспечения несущей способности систем данного типа.

Структура и содержание работы

Во введении изложена общая характеристика работы, представлено обоснование актуальности темы, сформулированы цель, научная гипотеза и задачи исследования, представлены объект, предмет и область исследования, сформулированы научная новизна, теоретическая и практическая значимость исследования, а также методология и методы исследования.

В первой главе представлены основные виды существующих решетчатых конструкций с последующим выделением в качестве основного объекта исследования сквозных двухветвевых элементов стальных конструкций. Проведен анализ их напряженно-деформированных и предельных состояний, экспериментальных и теоретических исследований центрально и внецентренно сжатых решетчатых и сплошностенчатых элементов стальных конструкций.

В завершении раздела, по результатам проведенного обзора литературы и критического анализа текущего состояния вопроса сформулированы цель и задачи исследования.

Во второй главе (являющейся ключевой в разработке основных теоретических положений работы!) развит метод проверки общей устойчивости сквозных элементов стальных конструкций с учетом обеспечения устойчивости ветвей, ранее предложенный Белым Г.И. Основные моменты, связанные с дальнейшим развитием метода, связаны с учетом различных значений концевых эксцентриситетов стержня, сжатого продольной силой в сочетании с поперечным изгибом, а также условий опорных закреплений стержня (шарнирного или жесткого, когда элемент выполняет функции колонны

поперечной рамы, имеющей жесткое защемление в фундаменте и шарнирно-неподвижное закрепление в уровне ригеля).

В третьей главе представлено развитие обратного численно-аналитического метода, также, разработанного ранее Г.И. Белым, и адаптированного автором исследования к проверке устойчивости ветвей решетчатых элементов стальных конструкций по их фактическому загрузению, а точнее посредством выполнения деформационного расчета при фактически действующей переменной продольной силе с использованием унифицированной диаграммы работы стали. В рамках главы рассмотрено влияние устойчивости ветви из плоскости соединительной решетки на общую устойчивость сквозного элемента с варьированием условий его закрепления.

Стоит отметить ценное для практики эксплуатируемых конструкций установление значительного влияния (в пределах 6...54%) учета различия в величинах эксцентриситета приложения продольной силы на концах решетчатого элемента, шарнирно закрепленного на концах, по сравнению с традиционным подходом, имеющим место в нормативных документах, когда эксцентриситеты равны и определяются по максимальному моменту.

Не менее важным для практики проектирования является предлагаемый автором подход к оценке устойчивости колонн сквозного сечения из плоскости действия изгибающего момента, позволяющий уточнить напряженное состояние наиболее нагруженной ветви на основе учета фактического распределения воздействия горизонтальных нагрузок на рассматриваемую ветвь. Это позволяет более детально и обоснованно осуществлять выбор расчетного сечения и назначение, связанного с этим, расчетного сочетания усилий.

В четвертой главе с помощью усовершенствованного аналитического метода выполнена расчетная оценка влияния различных дефектов и повреждений на общую устойчивость решетчатых элементов стальных конструкций при наличии разнообразных дефектов и повреждений (учет дефектов и повреждений осуществлялся путем введения в расчет дополнительного коэффициента $\varphi_{ed,d}$ - коэффициента устойчивости ветви с учетом влияния дефектов и повреждений).

Естественно, подобное развитие аналитического метода является еще одним положительным аспектом работы, направленным, прежде всего, на уточнение несущей способности элементов эксплуатируемых конструкций. При этом, следует отметить выполненную автором оценку для наиболее часто встречающихся дефектов и повреждений, а именно: в виде смещение узлов решетки относительно проектного положения (расцентровки узлов решетки), повреждений (в том числе коррозионных), искривления отдельных ветвей, отсутствия отдельных элементов решетки, как с одной, так и с обеих сторон

колонны, общего искривления решетчатой колонны в плоскости параллельной решетке.

В пятой главе представлены экспериментальные исследования пространственной устойчивости сквозных (решетчатых) элементов металлических конструкций с различными дефектами и повреждениями (расцентровка узлов решетки, отсутствие отдельных элементов решетки), ориентированные на верификацию полученных в главах 2...4 теоретических результатов по предлагаемым методам проверки общей устойчивости.

В выводах по каждой главе и работе в целом изложены основные результаты проведенного исследования.

В приложении к работе изложены дополнительная информация, характеризующая отдельные этапы проведения теоретических и экспериментальных исследований, а также акт внедрения, подтверждающий внедрение результатов исследований в практику проектирования.

Корректность изложения научного материала, наглядная иллюстрация полученных результатов в виде таблиц, графиков и структурных схем позволяют объективно оценить содержание, выводы и значимость проведенных научных исследований.

Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

Степень обоснованности и достоверность научных положений, выводов и рекомендации

Апробация основных результатов исследования на научно-практических конференциях и публикация их в научных журналах позволяет сделать вывод об обоснованности полученных автором результатов, выводов и рекомендаций, которые представлены в диссертационной работе. Успешное применение этих результатов в образовательной и практической деятельности подтверждает их значимость и возможность практического использования.

Достоверность полученных автором результатов исследований обеспечивается корректной постановкой задач исследования, классической обработкой и объективной интерпретацией результатов, подтверждается результатами теоретических и экспериментальных исследований, а также внедрением результатов в практику проектирования «ООО Инжинирговая компания Город-А» при проверке устойчивости стальных двухветвевых колонн при обследовании технического состояния строительных конструкций крановой эстакады мостового крана грузоподъемностью 100 т (шифр 1979-2-22-ТО1) для подготовки проектной документации по объекту «Реконструкция и техническое перевооружение стенда Ц-110, обеспечивающего испытания перспективных систем (шифр «М2-К6»), этап 2».

Новизна научных положений, выводов и рекомендации

Основные научные результаты, полученные автором:

1. Осуществлено дальнейшее развитие аналитического метода расчета общей устойчивости сквозных элементов стальных конструкций, отличающегося от ранее разработанного возможностью учета для двухветвевых решетчатого элемента различных значений изгибающих моментов на его концах при общем случае загрузки и учете развития пластических деформаций.
2. Выполнена адаптация аналитического метода расчета общей устойчивости сквозных элементов стальных конструкций к возможности учета характерных дефектов и повреждений, на основе которой получено аналитическое решение задачи устойчивости решётчатого элемента с обеспечением устойчивости наиболее нагруженной ветви между узлами решетки.
3. Доказана возможность применения и выполнено обобщение обратного численно-аналитического метода на расчет устойчивости ветвей решетчатых элементов стальных конструкций за пределом упругости с учетом неравномерного распределения продольной силы в элементе.

Список опубликованных научных работ свидетельствует о полноте публикации результатов исследования в открытой печати и непосредственно в профессиональных научных изданиях. Основные положения, результаты и выводы по материалам диссертационной работы представлены в 4 научных работах, из них 3 опубликованы в изданиях, входящих в перечень ведущих рецензируемых научных журналов, утвержденный ВАК РФ.

Теоретическая и практическая значимость работы

Теоретическая и практическая значимость полученных результатов заключатся в следующем:

- получено численно-аналитическое решение задачи общей устойчивости сквозных двухветвевых элементов стальных конструкций при фактическом нагружении, учитывающим неравномерность по длине элемента и различные эксцентриситеты приложения продольной силы, с учетом обеспечения устойчивости ветвей, позволяющее учесть влияние дефектов и повреждений на несущую способность;
- адаптированный обратный численно-аналитический метод расчета устойчивости ветвей из плоскости решетки при действии переменной продольной силы, дает возможность получить новые достоверные данные о несущей способности элементов из условия устойчивости;
- результаты исследований дают возможность их применения в практике проектирования новых сквозных двухветвевых элементов стальных конструкций для:

- уточненной оценки их несущей способности из условия устойчивости при фактическом нагружении с учетом обеспечения устойчивости ветвей;
- расчетной оценки влияния дефектов и повреждений на общую устойчивость и несущую способность элементов;
- разработки проектов усиления эксплуатируемых стальных конструкций зданий и сооружений конструкций.

Вопросы и замечания по диссертационной работе

1. Название работы не совсем удачное: начинается со слова «совершенствование», которое не рекомендуется ВАК РФ к использованию в названии, и далее «методов расчета устойчивости». Согласно общепринятой терминологии в теории устойчивости есть три метода (статический, динамический, энергетический). На совершенствование какого из них (или каких) претендует автор и в чем это выражается?
2. При рассмотрении особенностей напряженно-деформированного состояния элементов сквозных двухветвевых колонн автор вполне обоснованно указывает, что эти особенности во многом обусловлены вариантом прикрепления элементов решетки к ветвям. Однако при этом рассматриваются лишь идеализированные варианты жесткого или шарнирного прикрепления, хотя в настоящее время множеством исследований подтверждено, что большая часть узлов может классифицироваться как полужесткие (см. например, Еврокод 1.8). На мой взгляд, учет этого фактора позволил бы существенно уточнить особенности работы и предельных состояний рассматриваемых элементов конструкции.
3. Автор прекрасно знаком с предысторией рассматриваемой научно-технической задачи. Вместе с тем нельзя не отметить некоторую перегруженность проанализированных источников работами, увидевшими свет более 40 лет тому назад (107 работ из 155, что составляет практически 70% из рассмотренных). При этом количество проанализированных современных исследований (вышедших после 2020 г.) составляет всего 21 или 13,5%. То же самое относится и к анализу зарубежных публикаций, из которых количество современных составляет всего 7 или 4,5%.
4. Вывод №4 в подразделе 1.4, в котором утверждается, что «Существующие методы расчета не позволяют учитывать влияние дефектов и повреждений на общую устойчивость решетчатых конструкций» на мой взгляд излишне категоричен. Соглашаясь с утверждением автора по отношению к нормируемым методам такого учета, отраженным в актуальной нормативной базе, следовало бы хотя бы упомянуть «Рекомендации по учету влияния дефектов и повреждений на эксплуатационную пригодность стальных конструкций производственных зданий» (М., ЦНИИпроектстальконструкция им.Мельникова, 1987, 46 с.), проанализировать ряд научных публикаций, например, диссертации Мункуевой Е.М, Кацеф Э.Б. и др., посвященных этому вопросу.

5. В рамках проведенного в пределах 2-й главы исследования автором учитывается упруго-пластическая работа стали путем введения дополнительного относительного эксцентриситета m_{yf}^0 . Учитывая, что в большинстве случаев процесс потери устойчивости развивается по схеме «достижение в локальной зоне уровня напряжений, превышающего предел текучести стали - выключение локального участка из работы - потеря местной устойчивости - потеря общей устойчивости», хотелось бы уточнить:

а) насколько значимым является учет этого коэффициента при определении коэффициента для проверки общей устойчивости с учетом обеспечения устойчивости ветви φ_{ed} , а соответственно, и величины критической нагрузки?

б) оценивалась ли в ходе проведения теоретических (аналитическим и обратным численно-аналитическим методами) и экспериментальных исследований зона развития пластических деформаций, предшествующая потере устойчивости?

6. В рамках выполненного автором обобщения обратного численно-аналитического метода на расчет устойчивости фактически загруженных ветвей за пределом упругости, судя из рис. 3.4, можно сделать вывод, что автором предпринималась оценка остаточной несущей способности элементов сквозного сечения в закритической стадии работы. В связи с этим хотелось бы уточнить: в каких пределах автор оценивает остаточную несущую способность элементов сквозного сечения в закритической стадии работы после потери устойчивости (например, Н.С. Стрелецкий оценивал ее не более 5% от начальной несущей способности)? Ответ на этот вопрос был бы весьма важен, например, при оценке склонности стержневых систем к развитию прогрессирующего обрушения.

7. К сожалению, единственный случай верификации результатов исследований, выполненных с применением аналитического и обратного численно-аналитического методов, с помощью конечно-элементного анализа представлен неудачно. Приведенные на рис. 4.4 и 4.5 результаты анализа расчетной схемы для случая отсутствия элементов решетки с одной стороны стержня приведены не в полном объеме (без указания степени дискретизации схемы, принятой диаграммы деформирования материала, принятом подходе к учету геометрической и физической нелинейности и т.д.), хотя при этом приведены весьма важны результаты исследований в части влияния на повреждения на общую устойчивость составного элемента, форм потери устойчивости и т.д. Также, не приведено сведений о рекомендациях по определению $\varphi_{ув,д}$ – коэффициента устойчивости ветви с учетом влияния дефектов и повреждений.

8. Насколько обосновано применение в экспериментальных исследованиях и дальнейшее сопоставление результатов (в особенности по формам потери устойчивости!) материала модели в виде алюминиевого сплава АД31Т1, у которого в отличие от диаграммы деформирования стали, использованной при проведении теоретических исследований в разделах 2...4, отсутствует выраженная площадка текучести и используется условный предел текучести $\sigma_{0,2}$?

9. По какой причине в эксперименте не рассматривался наиболее часто встречающийся в практике случай с расчетной длиной стержня из плоскости решетки, равной геометрической длине образца? Также, в описании плана и методики проведения эксперимента не приведены сведения о моделировании условий закрепления верхнего и нижнего концов испытуемых образцов.

*Заключение о соответствии диссертации критериям,
установленным Положением о порядке присуждения ученых
степеней*

Диссертация «Совершенствование методов расчета устойчивости сквозных двухветвевых элементов стальных конструкций» представляет собой последовательно изложенную, логически завершенную научно-исследовательскую работу, посвященную решению актуальной научно-технической задачи в области проектирования и эксплуатации строительных конструкций, зданий и сооружений. Научные результаты, полученные диссертантом, обладают высокой степенью научной новизны, имеют существенное значение для строительной науки и практики проектирования. В частности, для уточнения несущей способности сквозных двухветвевых стальных стержней из условия устойчивости были усовершенствованы аналитический и обратный численно-аналитический методы, позволившие учесть ряд особенностей формирования их уточненных расчетных схем, наиболее полно соответствующих реальным условиям проектирования и эксплуатации. Полученные результаты исследования позволили сформулировать зависимости для уточненной оценки устойчивости сжато-изогнутых и внецентренно сжатых стальных двухветвевых элементов сквозного сечения в плоскости и из плоскости изгиба, которые могут послужить основой для дальнейшего совершенствования нормативной базы по проектированию металлических конструкций. Выводы и рекомендации, приведенные в работе, в достаточной степени обоснованы, а высказанные замечания не снижают их научной новизны и практической значимости.

Диссертационная работа на тему «Совершенствование методов расчета устойчивости сквозных двухветвевых элементов стальных конструкций» является законченной научно-квалификационной работой, отвечает критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней (постановление Правительства РФ №842 от 24.09.2013 г. с изменениями и дополнениями) для диссертаций, представленных на соискание ученой степени кандидата технических наук, и её автор, Лобовский Михаил Олегович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.1.1. Строительные конструкции, здания и сооружения.

Настоящим я, Мушанов Владимир Филиппович, даю согласие на автоматизированную обработку персональных данных с указанием фамилии, имени, отчества.

Официальный оппонент:

доктор технических наук по специальности 2.1.1 (05.23.01) «Строительные конструкции, здания и сооружения», директор управления научно-исследовательской деятельности и инноваций, профессор кафедры теоретической и прикладной механики «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры - филиал ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», заслуженный строитель ДНР



подпись

**Мушанов
Владимир
Филиппович**

Телефон: +7 (949) 357 78 09

«10» ноября
2025 г.

E-mail: mvf@donnasa.ru

Сведения об организации:

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры - филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»

286123, Донецкая Народная Республика, г.о. Макеевка, г. Макеевка, р-н Червоногвардейский, ул. Державина, д. 2

Тел.: +7-856-343-7033

E-mail: mailbox@donnasa.ru

Ученый секретарь Ученого совета «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры - филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»

к.т.н., доц.



М.Ю. Гутарова