

7. Vecchio, F. J. The modified compression-field theory for reinforced concrete elements subjected to shear / F. J. Vecchio, M. P. Collins // ACI Journal Proceedings. – 1986. – Vol. 83, iss. 2. – P. 219–231.

8. Lu, S. A Novel Feature Selection Approach Based on Tree Models for Evaluating the Punching Shear Capacity of Steel Fiber-Reinforced Concrete Flat Slabs / S. Lu, M. Koopialipour, P. G. Asteris, M. Bahri and D.J. Armaghani // Materials. – 2020.

9. ResearchGate [Electronic resource] : Article Evaluating Punching Shear Strength of Slabs without Shear Reinforcement Using Artificial Neural Networks – Mode of access: https://www.researchgate.net/publication/289061608_Evaluating_punching_shear_strength_of_slabs_without_shear_reinforcement_using_artificial_neural_networks. – Date of access: 10.09.2022.

10. Crystals [Electronic resource] : Article Interpretable Machine Learning Models for Punching Shear Strength Estimation of FRP Reinforced Concrete Slabs. – Mode of access: <https://doi.org/10.3390/cryst12020259>. – Date of access: 10.09.2022.

11. Osnovy proektirovaniya stroitel'nyh konstrukcij = Asnovy praektavannya buda-unichyh kanstrukcyj : TKP EN 1990-2011. – Vved. 15.11.2012. – Minsk : CEN/TS 250 «Konstrukcionnye Evrokody» : Ministerstvo arhitektury i stroitel'stva Respubliki Belarus', 2011. – 70 s.

12. Universitet iskusstvennogo intellekta [Elektronnyj resurs] : Chto takoe nejronnye seti, chto oni mogut, i kak napisat' nejronnuyu set' na Python? – Rezhim dostupa: <https://neural-university.ru/neural-networks-basics>. – Data dostupa: 10.09.2022.

УДК 624.014

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ И НЕОБХОДИМЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ В ОБЛАСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

В. В. Надольский

*К. т. н., доцент, доцент кафедры технологии строительного производства
УО «Брестский государственный технический университет»,*

Брест, Беларусь, e-mail : Nadolski@mail.by

Реферат

Постоянные теоретические и экспериментальные исследования стимулируют развитие методов проектирования, что, в свою очередь, вызывает необходимость обновлять нормы проектирования с учётом потребностей и текущей ситуации реального сектора. В отечественной и мировой практике проектирования стальных конструкций можно выделить ряд актуальных направлений совершенствования нормативных документов, которые являются востребованными на сегодняшний день. В данной статье представлен анализ и обоснование перспективных направлений совершенствования нормативных документов в области стальных конструкций. Решение перечисленных приоритетных направлений и регламентация технических указаний в нормативных документах позволит улучшить качество проектных работ, снизить субъективизм принятия проектных решений,

тем самым повысив надёжность решений, в ряде случаев без снижения надёжности получить более экономичные и современные конструктивные решения. Подводя итог, можно выделить, ряд приоритетных направлений, которые невозможно будет обойти стороной при обновлении нормативных документов: регламентация указаний, связанных с выполнением структурного анализа; регламентация правил проектирования стальных конструкций на основе экспериментальных данных; регламентация правил проектирования стальных конструкций на основе численных моделей сопротивления; регламентация правил проектирования стальных конструкций с учётом особого воздействия; регламентация правил оценки соответствия существующих конструкций современным требованиям и дальнейшее прогнозирование проектного срока эксплуатации; регламентация правил анализа и обеспечения надёжности стальных конструкций, в том числе социально-экономическая оптимизация рисков наступлений предельных состояний.

Ключевые слова: структурный анализ, экспериментальные данные, численные модели сопротивления, особое воздействие, существующие конструкции.

PROSPECTIVE AND NECESSARY DIRECTIONS OF DEVELOPMENT OF STANDARDS IN THE FIELD OF DESIGN OF STEEL STRUCTURES

V. Nadolski

Abstract

Constant theoretical and experimental research stimulate the development of design methods, which in turn causes the need to update design standards taking into account the needs and current situation of the real sector. In the domestic and world practice of designing steel structures, it is possible to identify a number of relevant areas for improving design standards that are in demand today. This article presents an analysis and justification of promising areas for improving design standards in the field of steel structures. The solution of the listed priority areas and the regulation of technical instructions in regulatory documents will improve the quality of design work, reduce the subjectivity of making design decisions, thereby increasing the reliability of solutions, in some cases, without reducing reliability, to obtain more economical and modern design solutions. Summing up, it is possible to identify a number of priority areas that cannot be bypassed when updating standards: regulation of rules related to the implementation of structural analysis; regulation of the rules for the design of steel structures based on experimental data; regulation of the rules for the design of steel structures based on numerical resistance models; regulation of the rules for the design of steel structures taking into account accidental actions; regulation of the rules for assessing the compliance of existing structures with modern requirements and further forecasting of the design life; regulation of the rules for the analysis and reliability of steel structures, including socio-economic optimization of the risks.

Keywords: structural analysis, experimental data, numerical models of resistance, accidental action, existing structures.

Введение

Постоянные теоретические и экспериментальные исследования совершенствуют существующие и вносят новые подходы к проектированию строительных конструкций, в ряде случаев открывают возможности для применения новых эффективных и современных конструктивных решений. Все это вызывает необходимость обновлять и актуализировать нормы проектирования с учётом потребностей и текущей ситуации реального сектора. В отечественной и мировой практике проектирования стальных конструкций можно выделить ряд актуальных направлений совершенствования нормативных документов, которые являются востребованными в теоретическом и практическом плане на сегодняшний день. Далее пойдёт речь о наиболее актуальных направлениях совершенствования нормативных документов по проектированию стальных конструкций.

Анализ и обоснование перспективных направлений совершенствования нормативных документов в области стальных конструкций

Одно из первых направлений, на которое стоит обратить внимание, это развитие конкретных указаний по выполнению *структурного анализа* (статический, динамический анализ), т.е. по определению эффектов воздействий с учётом несовершенств, эффектов второго рода и т.д. Вычисление эффектов воздействий является одним из самых сложных и неосвещённых в нормативных документах по проектированию строительных конструкций. Сложность заключается в большом разнообразии конструктивных схем и сопряжённым с этим субъективизме в создании расчётных схем и выборе метода анализа. В отдельных случаях создание расчётной схемы и её анализ больше похоже на творческий процесс, чем на строго регламентированный. Стоит отметить, что неопределённости определения усилий являются одними из наименее изученных в области конструкционной надёжности. Снижение неопределённости и повышение надёжности возможно только за счёт более подробных указаний в нормативных документах и за счёт повышения квалификации инженеров посредством обучающих курсов, специализированной литературы. Нормативные документы СП 5.04.01 [1] СП 16.13330 [2], базирующиеся на положениях СНиП, как правило, дают только общие указания по статическому расчёту, в отдельных случаях ориентированные на приближенные методы оценки эффектов воздействий 30-40 летней давности. При этом автор не снижает их полезность для понимания и поверочных расчётов и в современных условиях, однако развитие вычислительной техники позволяет использовать намного более точные модели определения эффектов воздействий. Нормативные документы ТКП EN 1993-1-1 [3], ТКП EN 1993-1-8 [4], базирующиеся на положениях Еврокод, продвинулись в этом вопросе намного дальше – внесены указания по определению и учёту жёсткости узловых сопряжений, изменению геометрии в процессе приложения нагрузок (так называемые эффекты второго порядка как частный случай геометрической нелинейности), прямым методам проверки устойчивости элементов конструкций. За последние десятилетия уточнены и гармонизированы указания учёта эффектов второго порядка, несовершенств и взаимосвязанные с ними проверки устойчивости элементов, которые следует включить в последние редакции нормативных документов. Пилотно можно выделить несколько видов структурного анализа в зависимости от необходимых проверок, которые влияют на сложность расчёта (см. таблицу 1), которые необходимо регламентировать в нормативных документах [5, 6].

Таблица 1 – Виды структурного анализа

Расчётный случай	Р-Δ и Р-δ	Несов.	Анализ	Устойчи- вость
<p>Если глобальными и локальными эффектами второго порядка можно пренебречь, и изгибно-крутильная форма потери устойчивости невозможна или исключается конструктивными мерами, то:</p> <ul style="list-style-type: none"> — внутренние силы и моменты могут быть определены на основе глобального анализа первого порядка; — несовершенства не нужно включать в глобальный анализ; — проверка сопротивления поперечного сечения должна проводиться; — проверка устойчивости отдельных элементов может быть опущена. 	$\alpha_{cr,sw} \geq 10$ $\alpha_{cr,ns} \geq 25$	—	Первого порядка	—
<p>Если глобальными и локальными эффектами второго порядка можно пренебречь, но возможна изгибно-крутильная форма потери устойчивости, то:</p> <ul style="list-style-type: none"> — внутренние силы и моменты могут быть определены на основе глобального анализа первого порядка; — несовершенства не нужно включать в глобальный анализ; — проверка сопротивления поперечного сечения должна проводиться; — требуется проверка устойчивости отдельных элементов из плоскости. 	$\alpha_{cr,sw} \geq 10$ $\alpha_{cr,ns} \geq 25$	—	Первого порядка	Из плоскости, расчётные длины для локальных форм потери устойчивости
<p>Если глобальными эффектами второго порядка можно пренебречь, но локальными эффектами второго порядка нельзя пренебрегать, то:</p> <ul style="list-style-type: none"> — внутренние силы и моменты могут быть определены на основе глобального анализа первого порядка; — локальными несовершенствами можно пренебречь в глобальном анализе, но необходимо учитывать глобальные несовершенства; — проверка сопротивления поперечного сечения должна проводиться; — проверка сопротивления устойчивости отдельных элементов в плоскости и из плоскости требуется с учётом соответствующих расчётных длин для локальных форм потери устойчивости и соответствующих диаграмм изгибающих моментов. 	$\alpha_{cr,sw} \geq 10$ $\alpha_{cr,ns} < 25$	Глобальные несовершенства	Первого порядка	В плоскости и из плоскости, расчётные длины для локальных форм потери устойчивости

<p>Если нельзя пренебрегать локальными и глобальными эффектами второго порядка, то:</p> <ul style="list-style-type: none"> — внутренние силы и моменты должны определяться на основе глобального анализа второго порядка; – глобальные несовершенства должны быть включены в глобальный анализ, <i>а локальные несовершенства могут быть проигнорированы в глобальном анализе;</i> — при проверке сопротивления поперечного сечения следует использовать частичный коэффициент γ_{M1} вместо γ_{M0}; — требуется проверка сопротивления устойчивости отдельных элементов в плоскости и из плоскости и должна основываться на внутренних силах и моментах второго порядка, однако распределение внутренних сил и моментов между концами элементов может быть определено на основе теории первого порядка; — может использоваться расчётная длина в плоскости для локальной формы потери устойчивости. 	$\alpha_{cr,sw} < 10$ $\alpha_{cr,ns} < 25$	Глобальные несовершенства	Второго порядка	В плоскости и из плоскости, расчётные длины для локальных форм потери устойчивости
<p>Если нельзя пренебрегать локальными и глобальными эффектами второго порядка, <i>а локальные несовершенства должны быть учтены в глобальном анализе</i> то:</p> <ul style="list-style-type: none"> — внутренние силы и моменты должны определяться на основе глобального анализа второго порядка; — в глобальный анализ включены все эффекты второго порядка в плоскости, а также глобальные и локальные несовершенства; — при проверке сопротивления поперечного сечения следует использовать частичный коэффициент γ_{M1} вместо γ_{M0}; — проверка устойчивости отдельных элементов в плоскости может быть опущена; — требуется проверка устойчивости отдельных элементов из плоскости. 	$\alpha_{cr,sw} < 10$ $\alpha_{cr,ns} < 25, N_{cr} / N_{Ed} < 4$	Глобальные и локальные несовершенства	Второго порядка	Из плоскости, расчётные длины для локальных форм потери устойчивости
<p>Если в глобальном анализе учтены все эффекты второго порядка в плоскости и из плоскости, включая эффекты кручения, и учтены глобальные, локальные несовершенства в плоскости и из плоскости:</p> <ul style="list-style-type: none"> — внутренние силы и моменты должны определяться на основе глобального анализа второго порядка; — при проверке сопротивления поперечного сечения следует использовать частичный коэффициент γ_{M1} вместо γ_{M0}; — проверка устойчивости отдельных элементов может быть опущена. 	$\alpha_{cr,sw} < 10$	Глобальные и локальные несовершенства, включая кручение.	Второго порядка	—

<p>Если при глобальном анализе нельзя пренебрегать локальными и/или глобальными эффектами второго порядка, альтернативно можно использовать "Метод эквивалентной колонны" для проверки устойчивости отдельных элементов:</p> <ul style="list-style-type: none"> — внутренние силы и моменты могут быть определены на основе глобального анализа первого порядка; — несовершенства не нужно включать в глобальный анализ; — проверка сопротивления поперечного сечения должна проводиться; — проверка устойчивости отдельных элементов может быть выполнена с учётом соответствующих расчётных длин каждого отдельного элемента; — последствия пренебрежения эффектами второго порядка при определении внутренних сил и моментов следует учитывать при проектировании узлов и соединённых элементов, включая проверку устойчивости отдельных элементов из плоскости. 	$\alpha_{cr,sw} < 10$ $\alpha_{cr,ns} < 25$		Первого порядка	В плоскости и из плоскости, расчётная длина с учетом глобальных форм потери устойчивости
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------	--	-----------------	------------------------------------------------------------------------------------------

<p>Примечание:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Глобальными эффектами второго порядка можно пренебречь, если $\alpha_{cr,sw} = F_{cr,sw} / F_{Ed} \geq 10$, где $F_{cr,sw}$ — критическая сила потери устойчивости в упругой стадии по глобальной форме. 2. Локальными эффектами второго порядка можно пренебречь, если $\alpha_{cr,ns} = F_{cr,ns} / F_{Ed} \geq 25$, где $F_{cr,ns}$ — критическая сила потери устойчивости в упругой стадии по локальной изгибной форме. Крутильная, изгибно-крутильная формы не рассматриваются. 3. Изгибно-крутильная форма потери устойчивости невозможна или исключается конструктивными мерами: для определённых типов сечений, например, замкнутых сечений (прямоугольные, круглые трубы) и эквивалентных сварных коробчатых сечений; когда на элементы с одно- или двусимметричными сечениями действуют только изгибающие моменты относительно слабой оси; в случае достаточного раскрепления сжатого пояса или ограничения предельной гибкости по изгибно-крутильной форме. 4. Локальные несовершенства необходимо учитывать в глобальном анализе, если выполняются следующие условия: по меньшей мере одно соединение, воспринимающее момент в одном конце элемента; $N_{cr} / N_{Ed} < 4$, где N_{cr} — критическая осевая сила, определённая для потери устойчивости в плоскости, вычисленная для элемента в предположении шарнирного опирания по концам.

Следующим важным направлением, которое приобретает все большую практическую значимость является **проектирование стальных конструкций на основе экспериментальных данных** [7, 8]. Методы проектирования на основе расчёта (формульные проверки) применимы только для конструкций, свойства материалов и геометрические параметры которых находятся в области, для которой накоплен достаточный опыт и доступны экспериментальные данные. В противоположных случаях более объективным и экономичным методом проектирования следует считать проектирование на основе экспериментальных данных. Испытания необходимы: при отсутствии адекватных расчётных моделей; при использовании большого количества однотипных элементов конструкций; для подтверждения допущений, принятых в расчётах (СН 2.01.01 [9]).

Одно из передовых направлений, которое меняет общее представление о определении несущей способности строительных конструкций и открывает со-

вершено новый этап развития методов проектирования является **проектирование стальных конструкций на основе численных моделей сопротивления** [10-13]. Использование численных моделей сопротивления, компьютерных расчётов, получает все большее распространение в мировой практике проектирования строительных конструкций. В условиях современного быстрого совершенствования технологий все шире и интенсивнее используют новые оригинальные конструктивные формы, для которых существующие расчётные модели не регламентированы в нормах проектирования или неприменимы, в ряде случаев существующие методики ограничены, консервативны или полностью отсутствуют. Для преодоления таких трудностей всё большее распространение получают численные методы расчёта с помощью компьютерных программ. Многие расчёты сложных конструктивных решений выполняют только с использованием численных методов, однако, их реализация вызывает большие дискуссии из-за отсутствия единых подходов к разработке, интерпретации численных моделей и обеспечению надёжности строительных конструкций, спроектированных с использованием данного метода.

Проектирование стальных конструкций на основе численных моделей сопротивления можно применять:

1) при отсутствии расчётных моделей сопротивления, например, для новых конструктивных решений, для которых недостаточно накоплено экспериментальных данных, выполнено мало исследований и, соответственно, отсутствуют нормативно закреплённые модели сопротивления. Примером таких решений могут служить балки со стеклянной стенкой и металлическими поясами, привлекающие своей эстетичностью.

2) при «ограниченных» расчётных моделях сопротивления, например, для относительно новых конструктивных решений, для которых подтверждена эффективность, выполнено довольно много исследований, и такие решения с каждым днём получают более широкое распространение, однако, расчётные методики плохо отражены в нормативных документах или имеют существенные ограничения по конструктивным исполнениям или видам проверок. Примерами таких конструктивных решений могут служить перфорированные и гофрированные элементы, эффективность которых подтверждена большим количеством исследований и даже практикой применения, однако, в большинстве случаев эти решения применяются отдельными производителями с ограниченным набором конструктивных решений. Основная причина сдерживания их распространения – ограниченность моделей сопротивления. Например, для гофрированных балок есть отдельные методики расчёта с трапециевидным видом гофр, для перфорированных или только с круглым, или только с шестиугольным видом отверстий.

3) при отсутствии адекватных расчётных моделей сопротивления, например, для в целом хорошо изученных и повсеместно распространённых конструктивных решений, однако, для которых отдельные модели сопротивления очень сложны или консервативны. Примерами таких решений могут служить тонкостенные элементы при проверках с учётом потери местной устойчивости. Анализ моделей сопротивления показывает, что они очень консервативны, что обусловлено в большей мере большим количеством параметров, влияющих на поведение элемента, и, соответственно, сложностью разработки точных моделей сопротивления.

4) при использовании большого количества однотипных элементов конструкций. Как правило, большинство нормативно закреплённых моделей имеют не большой консерватизм в оценивании значений сопротивлений, поэтому для большого количества однотипных элементов даже небольшое снижение консерватизма модели может сопровождаться существенным экономическим эффектом без снижения надёжности.

5) при подтверждении допущений, принятых в расчётах, т.е. при использовании компьютерных численных моделей сопротивления в качестве альтернативного инструмента оценки существующих методик расчёта, который позволяет более универсально учесть всю специфику проектируемого элемента.

б) для сокращения объёма дорогостоящих экспериментальных испытаний посредством так называемых численных экспериментов. Численное моделирование часто используют в связи с отсутствием возможности осуществления натурального эксперимента (частичное замещения реальных экспериментов) или для тщательного изучения влияний различных параметров. Эта область применения дополняет и расширяет вышеотмеченные направления совершенствования нормативных документов в области проектирования на основе экспериментальных данных.

При этом ряд действующих нормативных документов допускают использование численных моделей сопротивления СН 2.01.01 [9]; ТКП EN 1993-1-1 [3]; ТКП EN 1993-1-8 [4]; СП 5.04.01 [1]. Однако отмеченные документы не содержат конкретных указаний по процедуре анализа и интерпретации численных моделей сопротивления, что на практике вызывает много сложностей. Как видно развитие метода проектирования стальных конструкций на основе численных моделей сопротивления и его внедрение в нормы проектирования позволит обеспечить применение в практике строительства современных конструктивных решений, для которых модели сопротивления ограничены, экономически не эффективны или отсутствуют. Это поддержит экономический и технический прогресс развития строительной отрасли, снизит расход материала для стальных конструкций, в том числе для серийных конструктивных решений, благодаря применению более универсальных численных компьютерных моделей сопротивления, снижающих консерватизм упрощённых расчётных зависимостей.

Из важных концептуальных направлений совершенствования нормативных документов следует выделить **проектирование стальных конструкций с учётом особого воздействия** [14, 15]. На сегодняшний день проблема восприятия особого воздействия и обеспечения, оценки живучести зданий является малоисследованной. Существует множество примеров аварий, после которых здание имело серьёзные повреждения, которым сопутствовали большие человеческие жертвы. Нужно отметить, что причиной аварий не была целенаправленная террористическая деятельность или военные действия, а обычные случаи, возможные при эксплуатации здания. Основной причиной вышеизложенного является отсутствие единой и «чёткой» методики и концепции для обеспечения восприятия особого воздействия и живучести конструкции по национальным нормам. С введением системы Еврокода ситуация изменилась в лучшую сторону, так в рамках ТКП EN 1991-1-7 [16] изложены стратегии при расчёте особых воздействий. Следует отметить, что европейским комитетом планируется разработка

самостоятельного нормативного документа “Robustness” (живучесть) со своими правилами и положениями, не являющимся частью ТКП EN 1991-1-7 [16]. Это ещё раз подчёркивает, что вопрос живучести является достаточно обширным и требующим дополнительной и тщательной проработки. Как показал обзор [14, 15] стратегий локализации последствий разрушения, требования стандарта являются очень неконкретными в ряде случаев, что приводит к их субъективному толкованию. Ещё больше практическая реализация осложняется тем, что данные требования являются довольно новыми для проектировщиков постсоветского пространства, а также отсутствием разъяснительной литературы.

Также немаловажным направлением является **оценка технического состояния существующих конструкций, оценка соответствия этих конструкций современным требованиям и дальнейшее прогнозирование проектного срока эксплуатации**. В этом направлении одними из неохваченных вопросов остаются определение целевых индексов надёжности и частных коэффициентов с учётом срока эксплуатации и планируемого дальнейшего срока эксплуатации. Оценка технического состояния существующих зданий часто указывает на недостаточную надёжность и необходимость их усиления или замены. Эта ситуация может быть решена путём применения передовых методов оценки надёжности, которые смягчают консерватизм упрощённых методов, используемых в инженерной практике. Применение передовых методов оценки существующих конструкций может способствовать достижению целей в области устойчивого развития. В октябре 2015 года Организация Объединённых Наций приняла резолюцию 70/1 “Преобразование нашего мира: Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года”, чтобы сбалансировать три аспекта устойчивого развития: экономический, социальный и экологический. Передовые методы оценки существующих конструкций, в частности, могут способствовать достижению цели № 12 “Обеспечение устойчивых моделей потребления и производства”. Соответствующие цели, представленные в резолюции, включают (а) достижение устойчивого управления и эффективного использования природных ресурсов к 2030 году и (b) существенное сокращение отходов путем предотвращения, сокращения, переработки и повторного использования.

Оценка существующих стальных конструкций может быть улучшена путём определения соответствующего целевого уровня надёжности и методов проверки. Целевой уровень надёжности может быть определён на основе вероятностной оптимизации с учётом аспектов устойчивого развития, включая затраты, ожидаемые последствия замены и возможные затраты, связанные с отказом. Что касается методов проверки, наиболее эффективные методы проверки основаны на передовых вероятностных подходах, учитывающих фактические условия нагружения и свойства конструкции и связанные с ними последствия отказа.

Немаловажную роль в области нормирования занимают вопросы **современных методов анализа и обеспечения надёжности стальных конструкций**, а также последующие социально-экономические оптимизации рисков наступлений предельных состояний. В это направление можно отнести регламентацию вероятностных моделей базисных переменных на основе систематических обновлений статистических характеристик, регламентацию целевых значений индексов надёжности с учётом времени и последствий отказа, непараметрическое статистическое моделирование надёжности конструктивных систем и т.д.

По мимо концептуальных направлений развития нормативных документов можно выделить ряд более мелких, но не менее значимых с практической точки зрения, вопросов, которым следует уделить внимание в ближайшие годы развития нормативных документов:

- классификация сечений по длине элемента в зависимости от соотношения силовых факторов;
- проверки устойчивости частей сечения и формы сечения с учётом стадии нагружения;
- расчёт элементов, подверженных действию продольной силы и изгибающего момента;
- расчёт на кручение и совместное действие силовых факторов;
- расчёт на устойчивость элементов с несимметричными сечениями;
- расчёт перфорированных, гофрированных, переменной жёсткости (в том числе ступенчатые колонны) и элементов с большими отверстиями;
- регламентация предельных деформаций для промышленных зданий

Заключение

В статье представлен обзор направлений развития нормативных документов в области проектирования стальных конструкций, которым следует уделить внимание в ближайшие годы. Решение перечисленных приоритетных направлений и регламентация технических указаний в нормативных документах позволит улучшить качество проектных работ, снизить субъективизм принятия проектных решений, тем самым повысив надёжность решений, в ряде случаев без снижения надёжности получить более экономичные и современные конструктивные решения. Подводя итог, можно выделить ряд приоритетных направлений, которые невозможно будет обойти стороной при обновлении нормативных документов:

- регламентация указаний, связанных с определением эффектов воздействий;
- регламентация правил проектирования стальных конструкций на основе экспериментальных данных;
- регламентация правил проектирования стальных конструкций на основе численных моделей сопротивления;
- регламентация правил проектирования стальных конструкций с учетом особого воздействия;
- регламентация правил оценки соответствия существующих конструкций современным требованиям и дальнейшее прогнозирование проектного срока эксплуатации;
- регламентация правил анализа и обеспечения надежности стальных конструкций, в том числе социально-экономическая оптимизация рисков наступлений предельных состояний.

В качестве сопутствующих задач при разработке строительных норм и строительных правил необходимо обеспечить единообразие терминов и определений, за основополагающий документ необходимо принять СН «Основы проектирования строительных конструкций» [9], устанавливающие требования к обеспечению надежности строительных конструкций.

Список цитированных источников

1. СП 5.04.01-2021. Стальные конструкции. – Введ. 2021-06-10. – Минск : Минстройархитектуры, 2021.

2. СП 16.13330.2017. Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81*(с Поправками, с Изменениями N 1, 2). М.: Стандартинформ, 2017.
3. ТКП EN 1993-1-1-2009 Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций. Часть 1-1. Общие правила и правила для зданий. – М: МАиС, 2014. – 88 с.
4. ТКП EN 1993-1-8-2009 Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций. Часть 1-8. Расчет соединений. – М: МАиС, 2014. – 93 с.
5. Мартынов, Ю. С. Особенности статического расчета по ТКП EN 1993-1-1 / Ю. С. Мартынов, В. В. Надольский // Строительная наука и техника. – 2011. – № 4(37). – С. 50–53.
6. Надольский В.В. Проверка устойчивости стальных элементов согласно ТКП EN 1993-1-1 / В. В. Надольский, Ф. А. Верёвка // Теория и практика исследований, проектирования и САПР в строительстве: сборник статей Международной научно-технической конференции; 27 марта 2020 года / БрГТУ; редкол.: Н. Н. Шалобыта [и др.]. – Брест: БрГТУ, 2020. – С. 133–140.
7. Мартынов Ю.С. Стеновые панели на основе кассетных профилей. Часть 1. Теоретические исследования/ Ю.С. Мартынов, В. В. Надольский Веревка Ф.А. // Строительство и реконструкция. – 2019. – №4 (84) – С.26-37.
8. Надольский В.В. Стеновые панели на основе кассетных профилей. Часть 2. Экспериментальные исследования/ Ю.С. Мартынов, В. В. Надольский, Веревка Ф.А. // Строительство и реконструкция. – 2019. – № 5(85) – С.35-47.
9. СН 2.01.01-2019. Основы проектирования строительных конструкций – Введ. 08.09.20. – Минск : Минстройархитектуры, 2020. – 83 с.
10. Надольский В. В. Оценка несущей способности стальной балки методом конечных элементов при совместном действии локальных и сдвиговых усилий / В. В. Надольский, В.И. Подымако // Строительство и реконструкция. – 2022. – №2 (100) – С.26-43.
11. Nadolski V. Pilot numerical analysis of resistance of steel beams under combined shear and patch loading. / V. Nadolski, J. Marková, V. Podymako, M. Sykora // Proceedings of conference Modelling in Mechanics 2022, Ostrava, 26-27 May 2022. Ostrava: VSB - Technical University of Ostrava, Faculty of Civil Engineering, Fakulta stavební, 2021, ISBN 978-80-248-4560-9 (Print), ISBN 978-80-248-4561-6 (Online), p. 21 (celý článek CD-ROM, 8 p.).
12. Sykora M. Pilot comparison of semi-probabilistic methods applied to RC structures with multiple failure modes / M. Sykora, V. Nadolski, L. Novak, D. Novak, D. Diamantidis // Proceedings of fib International Congress 2022 Oslo, 12–16 June 2022, Oslo. 10 p, <https://doi.org/10.1002/suco.202270040>.
13. Надольский В. В. Оценка несущей способности балок с гофрированной стенкой методом конечных элементов при действии локальной нагрузки / В. В. Надольский, А.И. Вихляев // Вестник МГСУ. – 2022. – Т. 17. – Вып. 6. – С. 693–706. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.6.693-706.
14. Надольский, В.В. Проблемы реализации стратегии локализации разрушения в следствии особого воздействия применительно к стальным конструкциям / Надольский В. В., Тур А. В., Конашков А. О. // Теория и практика исследований и проектирования в строительстве с применением систем автоматизированного проектирования (САП): сборник статей II Международной научно-технической конференции. – Брест: Издательство БрГТУ, 2018. – С.99-109.

15. Надольский В.В. Восприятие особого воздействия в зданиях со стальным каркасом и перекрытием из сборных железобетонных многопустотных плит / В. В. Надольский, А.О. Конашков // Перспективные направления инновационного развития строительства и подготовки инженерных кадров: сборник научных статей XXI Международного научно-методического семинара / БрГТУ; редкол.: Н.Н. Шалобыта [и др.]. – Брест: БрГТУ, 2018. – Ч. 1 – С. 217-22.

16. ТКП EN 1991-1-7-2009 Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 1-7. Общие воздействия. Особые воздействия. – М: МАиС, 2010. - 47с.

References

1. SP 5.04.01-2021. Stal'nye konstrukcii. – Vved. 2021-06-10. – Minsk : Minstrojar-hitektury, 2021.

2. SP 16.13330.2017. Stal'nye konstrukcii. Aktualizirovannaja redakcija SNiP II-23-81*(s Popravkami, s Izmenenijami N 1, 2). M.: Standartinform, 2017.

3. ТКП EN 1993-1-1-2009 Еврокод 3. Proektirovanie stal'nyh konstrukcij. Chast' 1-1. Obshhie pravila i pravila dlja zdaniy. – M: МАиС, 2014. – 88 s.

4. ТКП EN 1993-1-8-2009 Еврокод 3. Proektirovanie stal'nyh konstrukcij. Chast' 1-8. Raschet soedinenij. – M: МАиС, 2014. – 93 s.

5. Martynov, Ju. S. Osobennosti staticheskogo rascheta po ТКП EN 1993-1-1 / Ju. S. Mar-tynov, V. V. Nadol'skij // Stroitel'naja nauka i tehnika. – 2011. – № 4(37). – S. 50–53.

6. Nadol'skij V.V. Proverka ustojchivosti stal'nyh jelementov soglasno ТКП EN 1993-1-1 / V. V. Nadol'skij, F. A. Verjovka // Teorija i praktika issledovanij, proektirovanija i SAPR v stroitel'stve: sbornik statej Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii; 27 marta 2020 goda / BrGTU; redkol.: N. N. Shalobyta [i dr.]. – Brest: BrGTU, 2020. – S. 133–140.

7. Martynov Ju.S. Stenovye paneli na osnove kassetnyh profilej. Chast' 1. Teoreticheskie issledovanija/ Ju.S. Martynov, V. V. Nadol'skij Verevka F.A. // Stroitel'stvo i rekonstrukcija. – 2019. – №4 (84) – S.26-37.

8. Nadol'skij V.V., Stenovye paneli na osnove kassetnyh profilej. Chast' 2. Jeksperimental'nye issledovanija/ Ju.S. Martynov, V. V. Nadol'skij Verevka F.A. // Stroitel'stvo i rekonstrukcija. – 2019. – № 5(85) – S.35-47.

9. SN 2.01.01-2019. Osnovy proektirovanija stroitel'nyh konstrukcij – Vved. 08.09.20. – Minsk : Minstrojarhitektury, 2020. – 83 s.

10. Nadol'skij V. V. Ocenka nesushhej sposobnosti stal'noj balki metodom konechnykh jelementov pri sovместном dejstvii lokal'nyh i sdvigovykh usilij /V. V. Nadol'skij, V.I. Podymako // Stroitel'stvo i rekonstrukcija. – 2022. – №2 (100) – S.26-43.

11. Nadolski V. Pilot numerical analysis of resistance of steel beams under combined shear and patch loading. / V. Nadolski, J. Marková, V. Podymako, M. Sykora // Proceedings of conference Modelling in Mechanics 2022, Ostrava, 26-27 May 2022. Ostrava: VSB - Technical University of Ostrava, Faculty of Civil Engineering, Fakulta stavební, 2021, ISBN 978-80-248-4560-9 (Print), ISBN 978-80-248-4561-6 (Online), p. 21 (celý článek CD-ROM, 8 p.).

12. Sykora M. Pilot comparison of semi-probabilistic methods applied to RC structures with multiple failure modes / M. Sykora, V. Nadolski, L. Novak, D. Novak, D. Diamantidis // Pro-ceedings of fib International Congress 2022 Oslo, 12–16 June 2022, Oslo. 10 p.

13. Nadol'skij V. V. Ocenka nesushhej sposobnosti balok s gofrirovannoj stenкой meto-dom konechnyh jelementov pri dejstvii lokal'noj nagruzki. /V. V. Nadol'skij, A.I. Vihljaev // Vestnik MGSU. – 2022. – T. 17. – Vyp. 6. – S. 693–706.

14. Nadol'skij, V.V. Problemy realizacii strategii lokalizacii razrusheniya v sledstvii osobogo vozdejstvija primenitel'no k stal'nym konstrukcijam. Nadol'skij V. V., Tur A. V., Konashkov A. O. //, Teorija i praktika issledovanij i proektirovanija v stroitel'stve s primeneniem sistem avtomatizirovannogo proektirovanija (SAP): sbornik statej II Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoi konferencii. – Brest: Izdatel'stvo BrGTU, 2018. – S.99-109.

15. Nadol'skij V.V. Vosprijatie osobogo vozdejstvija v zdaniyah so stal'nym kar-kasom i perekrytiem iz sbornyh zhelezobetonnyh mnogopustotnyh plit / V.V. Nadol'skij, A.O. Konashkov // Perspektivnye napravlenija innovacionnogo razvitija stroitel'-stva i podgotovki inzhenernyh kadrov: sbornik nauchnyh statej XXI Mezhdunarodno-go nauchno-metodicheskogo seminaru / BrGTU; redkol.: N.N. Sha-lobyta [i dr.]. – Brest: BrGTU, 2018. –Ch. 1 – S. 217-22.

16. ТКР EN 1991-1-7-2009 Evrokod 1. Vozdejstvija na konstrukcii. Chast' 1-7. Obshhie vozdejstvija. Osobyje vozdejstvija. – M: MAiS, 2010. - 47с.

УДК 691:536.2

УЧЕТ ОСОБЕННОСТЕЙ ПОРИСТОЙ СТРУКТУРЫ ПРИ РАСЧЕТЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ВЛАЖНЫХ ГАЗОСИЛИКАТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В. И. Никитин¹, Б. Бацкель-Бжозовска², С. К. Никитин³

*¹ Доктор технических наук, профессор, профессор кафедры прикладной механики
УО «Брестский государственный технический университет»,
Брест, Беларусь, e-mail : nik_ol40@mail.ru*

*² Кандидат технических наук, Строительный факультет «Белостокский политехнический
институт», Белосток, Польша, e-mail : b.backiel@pb.edu.pl*

*³ Студент, Факультет электронно-информационных систем УО «Брестский государствен-
ный технический университет», Брест, Беларусь,
e-mail : sniki@protonmail.com*

Реферат

Поровое пространство газосиликатных материалов независимо от плотности, представлено крупными порами, образовавшимися в результате газообразования и мелкими капиллярными порами. При впитывании жидкой влаги заполняются только капиллярные поры. Крупные поры содержат паровоздушную смесь. Учитывая такое дву模альное распределение пор по размерам, предлагается двух-этапный метод расчета теплопроводности материала. Вначале следует рассма-тривать неоднородную трехкомпонентную систему, состоящую из твердого ске-лета, в мелкопористой части которого находится газ и жидкая влага. Затем учи-тывается бинарная система, первой компонентой которой является упомянутая трехкомпонентная система, а второй — изолированные включения газа в круп-ных порах. Теплопроводности трехкомпонентной и бинарной системы опреде-лялись с помощью зависимостей, построенных с помощью теории обобщенной