

<https://doi.org/10.21122/2227-1031-2019-18-2-113-120>

УДК 624.072.33.04 (083.75)

Некоторые замечания к проектированию стальных конструкций по европейским нормам

Докт. техн. наук, проф. Е. Ю. Давыдов¹⁾

¹⁾Белорусский национальный технический университет (Минск, Республика Беларусь)

© Белорусский национальный технический университет, 2019
Belarusian National Technical University, 2019

Реферат. На основании опыта применения и сделанного анализа приведены критические замечания по европейским нормам проектирования стальных конструкций, включая сварные и болтовые соединения. Замечания представлены в сопоставлении с аналогичными нормативными документами, действующими на территории Беларуси. Проанализированы европейские нормы, касающиеся нагрузок (определение расчетных значений нагрузок и составление расчетных сочетаний нагрузок). Особое внимание уделено анализу требований европейских норм к сталям и сварочным материалам и сопоставлению их с механическими характеристиками аналогичных материалов, используемых для изготовления стальных конструкций в республике. Отмечены принятые в европейских нормах правила, которые при сравнении с аналогичными правилами, используемыми в строительных нормах и правилах (СНиП), приводят к существенному увеличению материалоемкости стальных конструкций. Это прежде всего касается назначения частных коэффициентов по нагрузкам и классификации сечений по обеспечению местной устойчивости сжатых и частично сжатых элементов. В статье отмечены правила Еврокодов, не соответствующие требованиям государственных стандартов и технических условий, действующих на территории Республики Беларусь. Показана существенная ограниченность некоторых европейских правил, касающихся расчета центрально и внецентренно сжатых элементов, отмечено отсутствие правил по проверке общей устойчивости сквозных и ступенчатых колонн, которые имеют широкое распространение в проектах, реализуемых на территории республики. По результатам проведенного анализа сделаны выводы, согласно которым применение европейских норм по проектированию стальных конструкций на территории Республики Беларусь имеет существенные ограничения.

Ключевые слова: нагрузка, стальная конструкция, прочность, устойчивость, коэффициент

Для цитирования: Давыдов, Е. Ю. Некоторые замечания к проектированию стальных конструкций по европейским нормам / Е. Ю. Давыдов // *Наука и техника*. 2019. Т. 18, № 2. С. 113–120. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2019-18-2-113-120>

Some Comments on Designing of Steel Structures According to European Standards

Y. Y. Davydov¹⁾

¹⁾Belarusian National Technical University (Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. Critical comments on the European standards for designing steel structures including welded and bolted joints have been given on the basis of application experience and executed analysis. Comments are presented in comparison with similar regulatory documents which are in effect in Belarus. European standards concerning loads (determination of calculated load values and drawing up of design load combination) have been also analyzed. Particular attention has been paid to the analysis of European standard requirements to steel and welding materials and their comparison with mechanical characteristics of similar materials used for manufacture of steel structures in Belarus. The paper gives notice to the rules which are accepted in the European norms and the rules being compared with the similar rules used in Construction rules and regulations (SNiP) lead to a significant increase in material consumption of steel structures. First of all, it concerns assignment of partial load factors and classification of sections for ensuring local stability of compressed and partially compressed elements. The paper pays a special notice to the rules of Eurocodes that do not meet requirements of State standards and technical specifications operating in the Republic of Belarus. Significant limitations of some European rules regarding calculation of centrally and eccentrically loaded members are also noted.

Адрес для переписки

Давыдов Евгений Юрьевич
Белорусский национальный технический университет
просп. Независимости, 150,
220014, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.: +375 17 265-95-77
ftk75@bntu.by

Address for correspondence

Davydov Yevgeny Y.
Belarusian National Technical University
150 Nezavisimosty Ave.,
220014, Minsk, Republic of Belarus
Tel.: +375 17 265-95-77
ftk75@bntu.by

rically compressed elements, absence of rules for testing overall stability of through and step columns which are widely used while implementing projects Belarus have been described in the paper. Conclusions have been made on the basis of the analysis results and according to them application of European standards for designing steel structures has significant limitations on the territory of the Republic of Belarus.

Keywords: load, steel structure, strength, stability, coefficient

For citation: Davydov Y. Y. (2019) Some Comments on Designing of Steel Structures According to European Standards. *Science and Technique*. 18 (2), 113–120. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2019-18-2-113-120> (in Russian)

Введение

Нормы проектирования стальных конструкций не могут быть разработаны без учета значений изменчивости климатических и технологических нагрузок для данного региона, в отрыве от свойств используемых металлов, условий эксплуатации конструкций применяемых прокатных профилей и возможных отклонений при монтаже конструкций. Поэтому замена только метода расчета стальных конструкций, применяемого в Республике Беларусь, на метод, предусмотренный европейскими нормами, приводит к серьезным несоответствиям и нарушению как самих европейских норм, так и нормативного законодательства, действующего на территории Беларуси.

В настоящее время в Республике Беларусь используются два нормативных документа по проектированию стальных конструкций: СНиП II-23-81* [1] и европейские нормы ТКП EN 1990–2011 «Основы проектирования строительных конструкций» (или ТКП EN 1991-1-7–2009 «Воздействия на конструкции», или ТКП EN 1993-1-1–2009 «Проектирование стальных конструкций»). Европейские нормы включены в число действующих документов в 2009 г., и сейчас уже имеется опыт их использования в реальном проектировании. Соответственно появилась возможность произвести анализ основных положений европейских норм, отметить принципиальные отличия, сопоставить результаты расчетов, выполненных по [1] и Еврокодам, сделать выводы.

Цель проведенного анализа – обратить внимание специалистов, занимающихся проектированием стальных конструкций, на некоторые, не совсем обоснованные положения Еврокодов, на несоответствия отдельных положений европейских норм нормативным документам, действующим на территории Беларуси, на существенное увеличение материалоемкости стальных конструкций, запроектированных по европейским нормам.

Определение нагрузок

При анализе EN 1990 вызывает вопрос приведенное в Приложении А правило: «...в зависимости от назначения, формы и положения здания в сочетании воздействий учитывается не более двух переменных воздействий» (п. А1.2.1(1)). Данное правило прежде всего противоречит ГОСТ 27751–2014 «Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения», где нет ограничений по количеству учитываемых временных нагрузок и, кроме того, они не всегда соответствуют реальным условиям, где количество временных нагрузок, действующих одновременно, как правило, оказывается больше двух. Также, согласно EN 1990, ограничивается количество временных нагрузок при расчете покрытий. Из табл. А1.1 Приложения А EN 1990 следует, что коэффициенты сочетаний (ψ_0 , ψ_1 , ψ_2) для временных полезных не доминирующих нагрузок на покрытие равны нулю, т. е. если при расчете покрытий учитывается снеговая нагрузка как доминирующая и в этом случае учитываемая без коэффициента сочетаний, то в соответствии с п. 6.4.3.2 EN 1990 другие временные нагрузки на покрытие уже не могут быть учтены. Согласно приведенному правилу, в случае особых расчетных ситуаций уже не могут быть учтены все временные нагрузки на покрытие.

Следует обратить внимание на слабую дифференциацию и завышенные значения некоторых частных коэффициентов, используемых в европейских нормах. Например, в EN 1990 в табл. А.2(В) применительно ко всем постоянным нагрузкам рекомендуется одно и то же значение коэффициента, используемого для перехода от нормативной нагрузки к расчетной (γ_F), значение которого, согласно формуле (6.2в) EN 1990, определяется как произведение двух коэффициентов: $\gamma_F = \gamma_f \gamma_{sd}$, где γ_f – коэффициент, учитывающий возможность неблагоприятных отклонений значений воздействий от нормативного значения; γ_{sd} – коэффициент,

учитывающий неопределенности, касающиеся определения воздействий или усилий от воздействия. Однако, несмотря на обилие и разнообразие учитываемых факторов в EN 1990, значение этого коэффициента для всех постоянных нагрузок принято одинаковым и равным 1,35. Также подлежит сомнению принятое в EN 1990 одинаковое значение этого коэффициента для временных нагрузок, равное 1,5, т. е. для некоторых нагрузок по сравнению со СНиП 2.01.07–85* «Нагрузки и воздействия» [2] имеется существенное превышение, достигающее 36 %.

Что касается вычисления нормативных значений нагрузок от мостовых кранов, то здесь возникают затруднения, связанные с тем, что в технической документации на грузоподъемные краны отсутствуют характеристики, необходимые для их определения: эффект ускорения и перекоса; положение мгновенного центра вращения; коэффициент электромеханической связи и т. д. (EN 1991-6). В связи с динамическим характером крановой нагрузки в расчетах подкрановых конструкций применяются коэффициенты динамичности. В [2] используется один коэффициент динамичности для вертикальных нагрузок, равный 1,2 для кранов режима работы 8К, и 1,1 – для кранов режимов работы 7К и 6К, и один коэффициент для горизонтальных нагрузок, равный 1,1 для кранов режима работы 8К. В евро нормах используются три коэффициента динамичности для вертикальной (φ_1 , φ_2 , φ_4) и один для горизонтальной (φ_5) нагрузок. Для φ_1 , учитывающего динамику моста крана, в EN 1991-3 приведен только интервал $0,9 < \varphi_1 < 1,1$, но при этом отсутствуют какие-либо указания по определению точного значения этого коэффициента для конкретного крана. Коэффициент φ_2 , учитывающий динамику, возникающую в момент подъема груза, зависит от режима работы крана и скорости подъема груза. При равных условиях его значение на 20–25 % больше аналогичного коэффициента для вертикальных нагрузок, принятого по [2]. Коэффициент φ_4 учитывает динамику, возникающую при движении крана. Указанная динамика возникает, прежде всего, при прохождении краном стыков рельсов. По евро нормам φ_4 принимается равным 1, если стыков нет и соблюдены допуски на рельсовые пути (EN 1993-6). Если эти требования не соблюдены (это имеет место в большинстве

случаев), то значение φ_4 рекомендуется определять с помощью моделирования (при проектировании исследование на моделях, как правило, не предусматривается). Коэффициент φ_5 применяется к горизонтальным инерционным воздействиям. При этом формулировки, определяющие диапазоны для φ_5 , не конкретны: «силы изменяются плавно» – в этом случае $1,0 \leq \varphi_5 \leq 1,5$; «могут произойти резкие изменения» – $1,5 < \varphi_5 \leq 2,0$; «для приводов, имеющих значительный мертвый ход» – $\varphi_5 = 3,0$. Следует отметить, что вычислить точное значение φ_5 не представляется возможным, так как приведенные формулировки не имеют никакого числового сопровождения.

Требования к стальному прокату

Согласно п. 3.2.3(1)Р EN 1993-1-1, стали, используемые для изготовления стальных конструкций, должны иметь гарантии по ударной вязкости (KCV) при самой низкой температуре эксплуатации вне зависимости от толщины проката, условий работы и ответственности конструкций. Если сталь не соответствует этому требованию, то использовать европейские нормы для проектирования стальных конструкций не допускается (EN 1993-1-1, п. 2.2(2)). Здесь необходимо подчеркнуть, что в европейских нормах пункты, обозначенные буквой «Р», являются основными принципами этих норм, для которых не допускаются какие-либо альтернативные варианты. Показатель ударной вязкости принимается по ГОСТу или ТУ. В настоящее время в Беларуси фасонный и листовой прокат поставляется в основном по ГОСТ 27772–2015. По этому документу ударная вязкость для фасонного и листового проката из сталей С235 и С345К вообще не нормируется. Для стали С245 ударная вязкость нормируется, но только при температурах плюс 20 и 0 °С, для стали С255 – при температурах плюс 20; 0 и минус 20 °С. Для фасонного проката из сталей С345 и С355 KCV нормируется только при температуре минус 20 °С, а для листового проката из тех же сталей – при температурах минус 20 и минус 40 °С. Указанные стали являются наиболее применяемыми для изготовления стальных конструкций. При более низких температурах (минус 20 и минус 40 °С) фасонный прокат имеет нормированный пока-

затель по KCV только из стали С390. Нормируемый показатель по KCV при температурах минус 40 и минус 60 °С имеет только листовой прокат и лишь из сталей высокой прочности (С390 и более). Здесь уместно напомнить, что самая низкая температура, зарегистрированная на территории Беларуси, составляет минус 41 °С [3]. Также следует отметить, что весь стальной прокат толщиной менее 4 мм не имеет нормированных показателей по KCV. Стали класса прочности С355 и более не имеют этих показателей уже при толщинах менее 8 мм.

Если следовать европейским нормам исходя только из требований по ударной вязкости, то полностью исключаются из применения: стали С235 и С345К; фасонный прокат из сталей С245, С255, С345, С355 и С355-1 может применяться только в отапливаемых помещениях ($T \geq (-20) \text{ } ^\circ\text{C}$), при этом толщина проката для сталей С245, С255 и С345 должна быть не менее 4 мм и не менее 8 мм – для сталей С355 и С355-1; для конструкций, эксплуатируемых в неотапливаемых помещениях или на открытом воздухе ($T \geq (-40) \text{ } ^\circ\text{C}$), может применяться фасонный прокат только из стали С390 толщиной не менее 8 мм. Также на открытом воздухе может быть использован листовой прокат из стали С345, но при толщине не менее 4 мм, и из стали С355 и других сталей с более высокой прочностью, но лишь при толщине не менее 8 мм.

Представляются не совсем обоснованными некоторые рекомендации, приведенные в европейских нормах, по отношению к частным коэффициентам, используемым для перехода от нормативной характеристики материала к расчетной. В евро нормах для этого применяется коэффициент γ_{Mi} , который определяется как произведение двух коэффициентов γ_m и γ_{Rd} (EN 1990, п. 6.3.5). Коэффициент γ_m учитывает возможные неблагоприятные отклонения характеристик свойств материала, а γ_{Rd} – неопределенности расчетной модели сопротивления, включая отклонения геометрических параметров. Кроме указанных коэффициентов, γ_{Mi} может включать еще один коэффициент η , который учитывает объемные и масштабные факторы, влияние влажности и температуры (EN 1990, пп. 6.3.3, 6.3.5). Сомнение вызывает то, что несмотря на обилие и разнообразие

факторов, учитываемых данными коэффициентами, их произведение при расчете стальных конструкций принимается равным единице (EN 1993-1-1, п. 6.1), т. е. в итоге получается, что этот коэффициент ничего не учитывает. Аналогичные вопросы возникают и при определении ветровых нагрузок, где значения коэффициентов c_{dir} (учитывающего направление ветра), сезонного c_{season} и орографического c_o также рекомендуется принимать равными единице (EN 1991-1-4).

Расчет центрально и внецентренно сжатых элементов

При расчете центрально и внецентренно сжатых элементов в евро нормах используется классификация поперечных сечений, которая назначается по предельным отношениям ширины пластины (стенки или полки профиля) к толщине (EN 1993-1-1, табл. 5.2). Предельные отношения назначаются из условия обеспечения местной устойчивости пластины при напряжениях, равных пределу текучести, и зависят от вида эпюры напряжений (для стенок – это изгиб, сжатие или сжатие с изгибом, для полки – это сжатие или сжатие с изгибом). Различают четыре класса: для сечений 1-го и 2-го классов допускается появление напряжений, равных пределу текучести по всему сечению без потери местной устойчивости; для сечений 3-го класса напряжение, равное пределу текучести, допускается только в крайних, наиболее напряженных точках сечения при изгибе и по всему сечению при центральном сжатии и тоже без потери местной устойчивости. Для сечения 4-го класса потеря местной устойчивости предшествует появлению напряжений, равных пределу текучести, и в результате этого неустойчивая часть стенки или полки исключается из дальнейшей работы конструкции. Все формулы для проверок прочности и устойчивости элементов в евро нормах привязаны к соответствующему классу сечения.

Принятая классификация сечений вызывает следующие замечания:

1) при классификации сечений, относящихся к 1-му и 2-му классам, используется понятие «вращательная способность» (EN 1993-1-1, п. 5.5.2). Применительно к сечениям, в которых может образоваться шарнир пластичности,

и при использовании диаграммы для идеально-упругопластического металла такое понятие является трудно или даже невозможно определенным. Поэтому сложно выявить, какое сечение следует относить к 1-му классу, а какое ко 2-му. Этот вопрос тем более уместен, потому что аналитические выражения, используемые в евронормах для расчета элементов с сечениями 1-го и 2-го классов, совершенно одинаковы;

2) предельные отношения высоты стенки к толщине и ширины свеса полки к толщине, обеспечивающие местную устойчивость, назначены без учета принципа равноустойчивости, т. е. без учета устойчивости всей конструкции, что приводит к существенному увеличению металлоемкости. Например, для центрально сжатых элементов из стали С235 отношение высоты стенки к толщине, при котором в расчетах используется полная площадь стенки, составляет 42. То же самое отношение, но вычисленное по [1] с учетом равноустойчивости и при гибкости конструкции в пределах 60–120, составляет 57–78, т. е. по [1] за счет увеличения тонкостенности стенки высота сечения может быть увеличена в 1,08–1,36 раза без увеличения площади сечения. Соответственно это повлечет существенное увеличение радиуса инерции и несущей способности конструкции в плоскости стенки примерно на 15–30 %. Аналогичный вывод был получен в [4];

3) также следует отметить, что в табл. 5.2 EN 1993-1-1 отсутствуют указания по определению наибольшего отношения высоты стенки к толщине для профилей, где центр тяжести не совпадает с центром изгиба.

При расчете на общую устойчивость внецентренно сжатых элементов в EN 1993-1-1 рассматривается довольно ограниченная область: только элементы сплошностенчатые и постоянного сечения, с двумя осями симметрии и с шарнирным опиранием. При расчете делаются различия между элементами, закрепленными и не закрепленными от кручения, но при этом не оговаривается степень дискретного закрепления (нет числового сопровождения). Аналитические зависимости, используемые для проверки устойчивости внецентренно сжатых элементов, отличаются чрезмерной громоздкостью и весьма неудобны при проектировании.

Проверка общей устойчивости сквозных колонн в евронормах не предусматривается, так как значения понижающих коэффициентов (аналог коэффициентов продольного изгиба по [1]) приведены только для сплошностенчатых стержней (EN 1993-1-1, табл. 6.2). Проверка устойчивости предусматривается лишь для отдельных ветвей сквозных колонн и для раскосов. При расчете сквозных колонн с планочной решеткой проверка устойчивости вообще не предусмотрена – ни для ветвей, ни для всего элемента, – расчет производится только на прочность, как для рамных систем. Сопоставительные расчеты сквозных колонн с наиболее употребительными параметрами показывают, что несущая способность, вычисленная по Еврокоду 3 (EN 1993), оказывается на 20–25 % меньше несущей способности, вычисленной по [1].

При проверке общей устойчивости элементов в евронормах рассматриваются не только изгибные формы, но также крутильные и крутильно-изгибные формы потери устойчивости. Здесь уместно напомнить, что крутильная форма потери устойчивости может иметь место только при центральной сжатии и для элементов с двояко-симметричными сечениями (центр изгиба совпадает с центром тяжести). Формула по определению критической силы при крутильной форме потери устойчивости, используемая в евронормах, получена в [5]. Сопоставление критических сил для наиболее используемых профилей показывает, что значения критических сил, соответствующих крутильной форме потери устойчивости ($N_{cr,T}$) для сечений, где центр тяжести совпадает с центром изгиба, всегда больше значений критических сил, соответствующих изгибной форме потери устойчивости в плоскости наименьшей жесткости ($N_{cr,y}$). При этом с увеличением гибкости разница между указанными критическими силами только возрастает. Из рассмотренного сопоставления следует, что рассчитывать центрально сжатые элементы, в которых центр изгиба совпадает с центром тяжести, на устойчивость по крутильной форме потери устойчивости, как это предусмотрено в евронормах, не имеет смысла. Сделанный вывод подтверждается конкретными расчетами, результаты которых приведены в табл. 1.

Значения критических сил (кН) для двутавров по ГОСТ 57837
 Values of critical forces (kN) for I-beams according to GOST (All-Union State Standard) 57837

Профиль	$I_{кр}$	I_y	r^2	$N_{cr,T} = \frac{\pi^2 EI_y}{l^2} \cdot \frac{h^2}{4i_0^2} + \frac{GI_{кр}}{i_0^2}$	$N_{cr,Y}$	λ_y	$N_{cr,T}/N_{cr,Y}$
20К1	20,3	1334	97,55	$733,4 + 1623 = 2356,4$	752,6	119	3,13
30К1	75,8	6079	223,00	$3369 + 2651 = 6020$	3430,0	80	1,75
40К1	183,0	17610	398,00	$9638 + 3586 = 13224$	9935,0	60	1,33
30Ш1	30,4	1470	173,50	$1010 + 1367 = 2377$	829,0	129	2,87
50Ш1	119,0	6762	464,00	$4815 + 2000 = 6815$	3815,0	88	1,79
70Ш1	269,0	10400	814,60	$8400 + 2576 = 10976$	5867,0	87	1,87
30Б1	10,2	390	160,00	$301 + 497 = 798$	220,0	197	3,63
50Б1	45,8	1606	417,30	$1314 + 856 = 2170$	906,0	144	2,40
70Б1	138,4	4556	792,00	$3873 + 1363 = 4236$	2570,0	114	1,65

Для стержней с сечениями, имеющими одну ось симметрии (центр изгиба не совпадает с центром тяжести), также возможны две формы потери устойчивости: изгибная и изгибно-крутильная. Это заключение относится к элементам, сечения которых не закреплены от вращения вокруг продольной оси элемента. Формула по определению критической силы при изгибно-крутильной форме потери устойчивости приведена в [5]. Из сопоставления указанных критических сил следует, что значения критических сил, соответствующих изгибно-крутильной форме потери устойчивости, становятся меньше значений критических сил, соответствующих изгибной форме потери устойчивости только при малых гибкостях. Сделанный вывод подтверждается результатами, приведенными в [6], где исследовались швеллеры № 30, 33, 36 и 40. При выполнении аналитических исследований использовались дифференциальные уравнения, полученные в [7], составленные для центрально сжатых стержней в деформированном состоянии, т. е. с учетом линейных перемещений и углов закручивания. Из результатов, приведенных в [7], следует, что изгибно-крутильная форма потери устойчивости может иметь место, но только при малых гибкостях – менее 60. К представленным замечаниям по EN 1993-1-1 можно добавить: не приведены аналитические зависимости по расчету открытых С-образных профилей, усиленных планками; не оговорены условия расчета

изгибаемых элементов в упругопластической стадии при наличии зон чистого изгиба; отсутствуют правила по расчету ступенчатых колонн. Геометрическую нелинейность в европейских нормах следует учитывать, если деформации или перемещения конструкции значительно увеличивают усилия (EN 1990, п. 5.2.1(2)). Здесь следует отметить, что геометрическая нелинейность в большинстве случаев приводит к уменьшению усилий, особенно это касается висячих конструктивных форм, а неучет этого фактора, неоднократно экспериментально подтвержденного, приведет к излишнему увеличению материалоемкости [8, 9]. К тому же неучет геометрической нелинейности противоречит ГОСТ 27751.

Расчет соединений

В ТКП EN 1993-1-8–2009 «Проектирование стальных конструкций. Расчет соединений» есть два главных отличия от [1]:

1) расчет сварных соединений выполняется только по продольному сечению шва (по наплавленному металлу), расчет по границе сплавления, как это требуется согласно [10; 1], не предусматривается;

2) при проверке прочности сварных соединений механические характеристики сварочных материалов никоим образом не учитываются. Это связано с тем, что характеристики наплавленного металла должны соответствовать или

быть больше характеристик основного металла (EN 1993-1-8, п. 4.2(2)).

Сопоставление механических характеристик электродов с покрытием, поставляемых по ГОСТ 9467–75, с механическими характеристиками сталей, для сварки которых применяются эти электроды (ГОСТ 27772–2015,) показывает, что ни по относительным удлинениям, ни по ударной вязкости наплавленный металл не соответствует характеристикам основного металла, т. е. согласно п. 4.2(2) EN 1993-1-8 применять эти электроды не допускается. Аналогичный вывод получается при анализе свойств сварочных проволок, поставляемых по ГОСТ 2246–70.

Другие замечания по EN 1993-1-8:

1) в формулах по расчету сварных соединений в качестве геометрической характеристики поперечного сечения сварного шва используется толщина сварного шва, которая не привязана ни к виду сварки, ни к положению при сварке, ни к катету сварного шва. В результате эта характеристика принимается равной высоте треугольника, вписанного во внешнюю часть сварного шва, т. е. без учета глубины проплавления. В п. 4.5.2(3) EN 1993-1-8 оговаривается, что глубину проплавления можно учесть, но при условии проведения предварительных испытаний, подтверждающих эту глубину проплавления, и при наличии гарантий, что данная глубина проплавления будет обеспечена постоянно. В условиях завода-изготовителя металлических конструкций обеспечить указанные условия не представляется возможным;

2) вызывает сомнение правило, согласно которому стыковые швы с полным проплавлением не рассчитываются как при сжатии, так и при растяжении вне зависимости от метода контроля качества, т. е. не учитывается совершенно разная степень надежности сварных швов, работающих на сжатие и растяжение;

3) при назначении толщины сварных швов не учитываются ограничения, обусловленные толщиной соединяемых элементов, что может привести к существенной концентрации напряжений.

При расчете болтовых соединений в EN 1993-1-8 не учитываются класс точности

болтов, вид нагрузки и температура эксплуатации, которые в наших условиях оказывают существенное влияние на несущую способность болтовых соединений. Также возникают вопросы при сопоставлении несущих способностей, вычисленных по [1] и EN 1993-1-8. Например, если определить несущую способность одного обычного болта на срез и несущую способность соединяемых элементов на смятие, приходящуюся на один болт, то получаются следующие результаты: несущая способность на срез по [1] окажется примерно в 1,4 раза меньше, чем по Еврокоду, а несущая способность на смятие по [1] – примерно в два раза больше того же параметра по Еврокоду. Столь существенная нестыковка не может быть принята априори, здесь должны быть проведены серьезные, прежде всего, экспериментальные исследования. Такая же нестыковка получается и по соединениям на высокопрочных болтах. Если сопоставить несущую способность фрикционного соединения по [1] и евро нормам, то по Еврокоду 3 она получается примерно в 1,2 раза больше.

Следует также отметить, что в Еврокоде 3 материалы по проектированию стальных конструкций изложены на 825 страницах, а в [1] – на 84.

ВЫВОДЫ

1. При составлении расчетных сочетаний нагрузок по EN 1990 не всегда представляется возможным учесть все реально действующие нагрузки, как это предусмотрено ГОСТ 27751. При этом частные коэффициенты по нагрузкам существенно больше аналогичных коэффициентов, принятых в [2].

2. Большая часть проката для изготовления стальных конструкций поставляется из сталей, механические характеристики которых не в полной мере соответствуют требованиям европейских норм. Поэтому согласно правилу, изложенному в п. 2.2(2) EN 1993-1-1, применять Еврокод 3 для расчета конструкций из этих сталей не допускается.

3. Классификация сечений, принятая в EN 1993-1-1 на основе обеспечения местной устойчивости, не соответствует принципам рав-

ноустойчивости, что приводит к увеличению металлоемкости стальных конструкций.

4. В EN 1993-1-1 не предусмотрен расчет сквозных сжатых конструкций на общую устойчивость, а также колонн переменного сечения.

5. Сварочные материалы, используемые в Беларуси, не по всем показателям имеют характеристики, равные или превышающие механические характеристики металлов соединяемых элементов. Поэтому использовать метод расчета сварных соединений, принятый в EN 1993-1-8, не представляется возможным.

6. Сопоставительные расчеты стальных конструкций, выполненные в БНТУ и изложенные в [11, 12], показывают, что металлоемкость стальных конструкций, запроектированных по европейским нормам, на 20–30 % превышает металлоемкость стальных конструкций, запроектированных по [1, 2].

ЛИТЕРАТУРА

1. Нормы проектирования. Стальные конструкции: СНиП II-23-81*. М.: Госстрой, 1981. 97 с.
2. Нагрузки и воздействия: СНиП 2.01.07-85*. Введ. 01.01.1987. М.: Госстрой, 1998. 46 с.
3. Строительная климатология: СНБ 2.04.02-2000. Минск: Минстройархитектуры, 2001. 37 с.
4. Данилов, А. И. О классификации поперечных сечений стержневых элементов стальных конструкций по методике EN 1993 / А. И. Данилов // Расчет и проектирование металлических конструкций: сборник. М.: Изд-во МИСИ-МГСУ, 2013. С. 67–72.
5. Власов, В. З. Тонкостенные упругие стержни / В. З. Власов. М.: Гос. изд-во физ.-мат. лит-ры, 1959. 568 с.
6. Давыдов, Е. Ю. К вопросу увеличения крутильной жесткости открытых профилей / Е. Ю. Давыдов // Промышленное и гражданское строительство. 2010. № 1. С. 12–13.
7. Блейх, Ф. Устойчивость металлических конструкций / Ф. Блейх. М.: Госиздат, 1999. С. 154–155.
8. Горев, В. В. Металлические конструкции: в 2 т. / В. В. Горев. М.: Высш. шк., 1999. Т. 2. С. 353–360.
9. Еремеев, П. Г. Экспериментальные исследования квадратных мембран с податливым контуром / П. Г. Еремеев, В. Б. Присяжной // Строительная механика и расчет сооружений. 1985. № 5. С. 58–61.
10. Винокуров, В. А. Прочность сварных соединений с угловыми швами и метод их расчета / В. А. Винокуров, А. С. Куркин // Сварочное производство. 1981. № 8. С. 3–5.
11. Ларионов, В. В. Некоторые вопросы обеспечения механической безопасности строительных металлоконструкций / В. В. Ларионов // Промышленное и гражданское строительство. 2013. № 7. С. 14–17.

12. Симон, Н. Ю. Анализ составления расчетов конструктивных элементов каркаса производственного здания по требованиям российских и европейских норм / Н. Ю. Симон // Промышленное и гражданское строительство. 2013. № 12. С. 20–22.

Поступила 05.11.2018

Подписана в печать 09.01.2019

Опубликована онлайн 29.03.2019

REFERENCES

1. SNiP [Construction Rules and Regulations] II-23-81*. *Design Norms. Steel Structures*. Moscow, Publishing House "Gosstroy", 1981. 97 (in Russian).
2. SNiP [Construction Rules and Regulations] 2.01.07-85*. *Loads and Actions*. Moscow, Publishing House "Gosstroy", 1998. 46 (in Russian).
3. SNB 2.04.02-2000. *Constructional Climatology*. Minsk, Publishing House of Ministry of Architecture and Construction, 2001. 37 (in Russian).
4. Danilov A. I. (2013) On Classification of Cross-Sections in Rod Elements of Steel Structures in Accordance with Methodology of EN 1993. *Calculation and Design of Metal Structures: Collected Book*. Moscow, Moscow Institute of Civil Engineering – Moscow State University of Civil Engineering, 67–72 (in Russian).
5. Vlasov V. Z. (1959) *Thin-Walled Elastic Rods*. Moscow, State Publishing House of Physical and Mathematical Literature. 568 (in Russian).
6. Davydov E. Yu. (2010) To Problem on Increase of Torsional Stiffness in Open Profiles. *Promyshlennoye i Grazhdanskoye Stroitelstvo = Industrial and Civil Engineering*, (1), 12–13 (in Russian).
7. Bleykh F. (1999) *Stability of Metal Structures*. Moscow, Publishing House "Gosizdat", 154–155 (in Russian).
8. Gorev V. V. (1999) *Metal Structures. Vol. 2*. Moscow, Vysshaya Shkola Publ., 353–360 (in Russian).
9. Eremeev P. G., Prisyazhnoy V. B. (1985) Experimental Studies in Square Membranes with Compliant Contour. *Stroitel'naya Mekhanika i Raschiot Sooruzheniy = Structural Mechanics and Analysis of Constructions*, (5), 58–61 (in Russian).
10. Vinokurov V. A., Kurkin A. S. (1981) Strength of Welded Joints with Fillet Seams and Method of their Calculation. *Svarochnoye Proizvodstvo [Welding Engineering]*, (8), 3–5 (in Russian).
11. Larionov V. V. (2013) Some Issues for Ensuring Mechanical Safety of Building Metal Structures. *Promyshlennoye i Grazhdanskoye Stroitelstvo = Industrial and Civil Engineering*, (7), 14–17 (in Russian).
12. Simon N. Yu. (2013) Analysis of Calculation for Structural Elements of Industrial Building Frame According to Requirements of Russian and European Standards. *Promyshlennoye i Grazhdanskoye Stroitelstvo = Industrial and Civil Engineering*, (12), 20–22 (in Russian).

Received: 05.11.2018

Accepted: 09.01.2019

Published online: 29.03.2019