

установлены особенности процесса деформирования и повреждаемости данного типа конструкций.

Разработанная методика может быть применена для расчета деформирования и разрушения трехслойных пластин, применяемых в строительстве.

Список цитированных источников

1. D'Ottavio, M. Bending analysis of composite laminated and sandwich structures using sublaminated variable-kinematic Ritz models / M. D'Ottavio, L. Dozio, R. Vescovini, O. Polit // Composite Structures. – 2016. – Vol. 155.

2. An, H. Optimal design of composite sandwich structures by considering multiple structure cases / H. An, S. Chen, H. Huang // Composite Structures. – 2016. – Vol. 152.

3. Scott Burton, W. Assessment of computational models for sandwich panels and shells / W. Scott Burton, A.K. Noor // Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering. – 1995. – Vol. 124.

4. Димитриенко, Ю.И. Многомасштабное конечно-элементное моделирование трехслойных сотовых композитных конструкций / Ю.И. Димитриенко, Н.Н. Федонюк, Е.А. Губарева, С.В. Сборщиков, А.А. Прозоровский // Наука и образование: электронное научно-техническое издание. – 2014. – № 7.

УДК 691.87

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ТОНКОСТЕННЫХ ХОЛОДНОГНУТЫХ ПРОФИЛЕЙ

Бочарова Н. В., Уласевич В. П.

***Аннотация:** Конструкции из тонкостенных холодногнутых профилей требуют правильного выбора их расчетной модели, учитывающей особенности работы исследуемой конструкции и дающей результаты, которые близки к реальному поведению системы, поскольку малая толщина стенки элементов конструкции изменяет их поведение под нагрузкой. В отличие от стержней сплошного сечения, имеющего в поперечных направлениях весьма высокую жесткость сечения, тонкостенный стержень можно представить в виде набора тонкостенных элементов, изгибная жесткость которых весьма мала. При воздействии на тонкостенный стержень поперечных нагрузок происходит весьма существенная деформация тонкостенных элементов, составляющий контур его сечения, в результате чего его уже нельзя пренебречь при оценке НДС.*

Annotation: Cold-formed thin-walled structures require a correct choice of their design model to allow for the peculiarities of the structure being designed to be taken into account in order to obtain the analysis results that are as close to the actual behavior of the system as possible, since the web's thinness of structural elements affects their behavior under loading. Unlike solid rods, which have a very high cross-sectional rigidity in the transverse directions, a thin-walled rod can be represented as a set of thin-walled elements, the flexural rigidity of which is very small. Under transverse loading, a very significant deformation of thin-walled elements, forming the contour of the bar's cross-section, takes place, as a result of which it can no longer be neglected in the stress-strain analysis of the bar.

Введение. Конструкции из холодноформованных элементов хорошо зарекомендовали себя при строительстве малоэтажных жилых и гражданских зданий, магазинов, торговых павильонов, надстроек и пристроек существующих зданий и сооружений. Они имеют ряд преимуществ: легкий вес, быстроту изготовления, высокую скорость строительства, круглогодичность монтажа, но

сложная работа тонкостенных элементов под нагрузкой требует высокой квалификации проектировщиков. Особого внимания требуют вопросы обеспечения коррозионной стойкости и сопротивления огневому воздействию. На территории Республики Беларусь в 2010 году введен ТКП EN 1993-1-5-2009 «Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций. Часть 1-5. Пластинчатые элементы конструкций», расчет таких элементов можно выполнять в соответствии с этим нормативным документом.

Работа конструкций из СТП. Работа конструкций из тонкостенных холодногнутых профилей должна учитывать:

– разнообразие форм потери устойчивости и возможные их комбинации. Для холодногнутых элементов выделяют три основных типа потери устойчивости: местная (local buckling), устойчивость формы поперечного сечения (distortional buckling) и общая (global buckling). При этом к общей относятся изгибная (flexural), крутильная (torsional) и изгибно-крутильная (flexural-torsional);

– склонность сечений к кручению. Основные виды холодногнутых элементов имеют несимметричное сечение. В этом случае центр изгиба не совпадает с центром тяжести сечения. Если нагрузка не приложена в центре изгиба, чтобы обеспечить изгиб без кручения, любое отклонение от этой оси вызывает кручение элемента;

– смятие, искривление, потеря устойчивости стенки элементов в местах приложения локальной нагрузки;

– чувствительность к начальным несовершенствам. Различают следующие виды наиболее характерных несовершенств холодногнутых элементов: геометрические несовершенства, остаточные напряжения и изменение свойств стали при изготовлении (в местах закругления происходит увеличение предела текучести и временного сопротивления стали);

– работа только в упругой стадии, часто является следствием предрасположенности элемента к потере общей и местной устойчивости (особенность сечения класса 4);

– более сложные узловые соединения;

– закритическая стадия работы элемента при потере местной устойчивости.

При расчете тонкостенных стержней необходимо учитывать деформацию поперечных сечений, математически, это значит, что компоненты НДС от внешних воздействий имеют нелинейную зависимость.

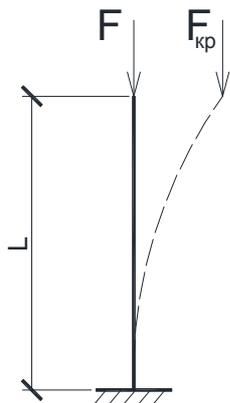
$$\sigma_N = \frac{N}{S(\sigma_N, \tau)}; \sigma_M = \frac{M}{W(\sigma_M, \tau)}; \tau_M = \frac{M}{W_p(\sigma, \tau_M)}. \quad (1)$$

Под нагрузкой в поперечных сечениях тонкостенных стержней появляются касательные напряжения, уровень которых из-за малой толщины стенки будет существенно выше, особенно в случаях открытого профиля сечения, чем в стержнях сплошного сечения, тогда наиболее критичным для тонкостенных стержней будет являться нагружение его крутящим моментом.

Таким образом, можно выделить особую расчетную схему – тонкостенный стержень и соответствующую ему теорию тонкостенных стержней. Нелинейности (1) в поведении тонкостенных конструкций максимально проявляются при высоком уровне нагрузок.

Рассмотрим сказанное на примере решения задачи о потере устойчивости тонкостенных стержней.

Классическая теория стержней. Классическая теория [1] при анализе их устойчивости под действием продольной силы использует формулу Эйлера:



$$F_{кр} = \pi^2 \cdot \frac{E \cdot J_{\min}}{\mu \cdot l} \quad (2)$$

При выводе зависимости (2) предполагается, что стержень под действием критической продольной силы, теряет свою изначально прямолинейную форму и становится криволинейным, новая форма описывается в зависимости от условий закрепления по закону синуса или косинуса (рис. 1).

Рисунок 1 – Потеря устойчивости стержня сплошного сечения

Величина J_{\min} [1] показывает, что изгиб стержня при потере устойчивости происходит в плоскости, соответствующей минимальному значению его изгибной жесткости, μ отражает условия закрепления стержня. Потеря устойчивости тонкостенных стержней, в отличие от стержней сплошного сечения, начинается с локальной потери устойчивости входящих в его состав тонкостенных элементов (полок, стенки). В результате этого резко изменяются инерциальные характеристики сечения (в сторону уменьшения) и следом происходит потеря устойчивости стержня в глобальном плане. Поэтому уравнения для тонкостенных стержней должны учитывать изменения контура их поперечного сечения.

Теория тонкостенных стержней Власова В. З. Основные положения теории Власова для тонкостенных стержней [2] опираются на гипотезу жесткого контура, при предельной нагрузке в стенках возникает напряженное состояние, не вызывающее потери местной устойчивости стенок. Им замечено, что критическое напряжение в средней части тонкостенного стержня не вызывает потери его способности к дальнейшему восприятию нагрузок, если одна или более из его продольных граней остаются прямолинейными.

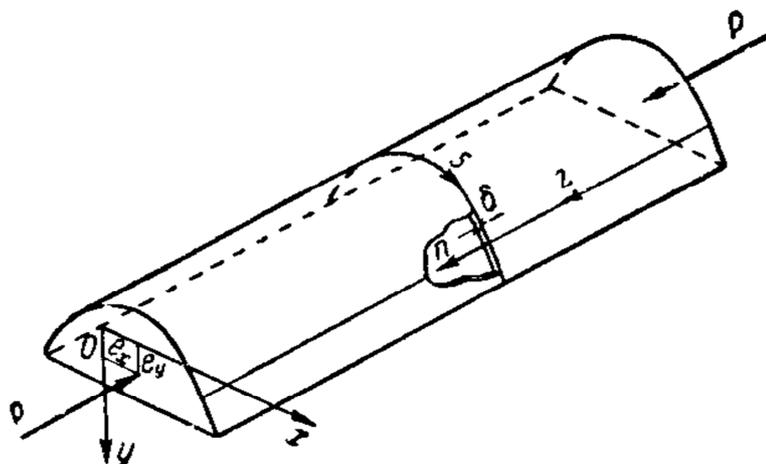


Рисунок 2 – К расчету задачи устойчивости стержня под действием продольной сжимающей силы согласно теории Власова В. З.

Для расчета устойчивости тонкостенных стержней Власов В.З. использует условия статического равновесия элементарной полоски стержня, на основе которых им получена следующая система дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} E \cdot I_y \cdot \xi^{IV} - [N \cdot (\xi' + a_y \cdot \theta')] + (M_x \cdot \theta)'' = 0; \\ E \cdot I_x \cdot \eta^{IV} - [N \cdot (\xi' + a_x \cdot \theta')] + (M_y \cdot \theta)'' = 0; \\ E \cdot I_\omega \cdot \theta^{IV} - G \cdot I_\omega \cdot \theta'' - [(r^2 \cdot N + 2 \cdot \beta_y \cdot M_x - 2 \cdot \beta_x \cdot M_y + \beta_\omega \cdot B) \cdot \theta]' + \\ + [q_x \cdot (e_x - a_x) + q_y \cdot (e_y - a_y)] \cdot \theta - a_y \cdot (N \cdot \xi') + a_x \cdot (N \cdot \eta') + M_x \cdot \xi'' + M_y \cdot \eta'' = 0 \end{cases}, \quad (3)$$

где θ, ξ, η – параметры, характеризующие деформацию сечения.

Система (3) учитывает влияние деформации сечения на НДС тонкостенного стержня, однако ее решение значительно сложнее уравнений Эйлера.

Модель тонкостенного стержня Лещенко А. П. [5] построена на основе вариационного метода, и его расчет также сводится к решению системы дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} (E \cdot I_y \cdot \zeta' - q_z \cdot Z)' = 0; \\ (E \cdot I_y \cdot \xi'')'' - (q_x \cdot e_y)' - q_x = 0; -(G \cdot \bar{J}_d \cdot \bar{\theta}')' + m_* = 0; \\ (E \cdot I_x \cdot \eta'')'' - (q_z \cdot e_x)' - q_y = 0; -(G \cdot J_\omega^* \cdot \theta'')' + (q_z \cdot w_c)' - m = 0 \end{cases}. \quad (4)$$

Система дифференциальных уравнений (4) выведена в предположении, что угол закручивания тонкостенной конструкции состоит из суммы двух углов закручивания – угла кручения относительно центра чистого кручения $\bar{\theta}$ и угла кручения относительно центра свободного кручения $\tilde{\theta}$.

Анализ аналитических методов расчета устойчивости стержней показывает, что учет деформации сечения существенно затрудняет получение решения, поскольку связано с решением неоднородных дифференциальных уравнений, которые приводят к большому объему вычислений.

Численные методы расчета получили в последнее время большое распространение (метод конечных разностей, метод конечных элементов и др.), поскольку реализованные в различных программах, например Ansys, Nastran т. д., позволяют оперативно решать довольно сложные задачи.

Математически расчет устойчивости в МКЭ выполняется динамическим методом и сводится к решению задачи на собственные значения, которая имеет вид [6]:

$$([K] + \lambda_i \cdot [S]) \cdot \{\psi\}_i = \{0\}. \quad (5)$$

Программа определяет такие нетривиальные (ненулевые значения) собственных чисел λ_i и собственных векторов $\{\psi\}_i$, которые соответствуют решению системы (5). В процессе решения внешняя нагрузка прикладывается ступенчато, на каждом из этапов решения НДС исследуемой конструкции определяются соответствующие изменения ее жесткости $[S]$, которые согласно урав-

нения (5), учитываются в матрице жесткости $[K]$. Полученные N собственных чисел и собственных векторов будут соответствовать множителям внешней нагрузки и форме потери устойчивости соответственно.

Преимуществом расчета устойчивости методом МКЭ является простота постановки задачи, соответствие геометрии исследуемой конструкции ее действительным размерам со всеми геометрическими и физическими неоднородностями, которые при аналитическом расчете сильно затрудняют решение. Недостатками являются сильная зависимость точности решения от вида используемого конечного элемента, сетки конечных элементов. МКЭ ищет решение нелинейных зависимостей (1) путем решения линейной системы.

Для численных методов остается проблемой верификация точности полученного результата, поскольку он отличается от значений, полученных аналитическими методами.

Матрица жесткости КЭ тонкостенного стержня открытого профиля.

При проектировании конструкций из тонкостенных стержней открытого профиля полностью предотвратить кручение невозможно – это может быть из-за неточности изготовления и монтажа, повреждения связей, изменения расчетных схем. При кручении тонкостенного стержня, из-за стеснения деформации сечения, появляются дополнительные секториальные нормальные напряжения, вносящие существенный вклад в нормальные напряжения, уменьшая или увеличивая их. Неправильный учет жесткостных параметров ведет к неверному определению усилий и перемещений, следствием неточного расчета является или излишние запасы несущей способности, или перенапряжение конструкции. Тонкостенный конечный элемент (ТКЭ) предложил Туснин А.Р.[5], по сравнению с традиционными элементами имеет дополнительно еще одну степень свободы – деформацию (рис. 3).

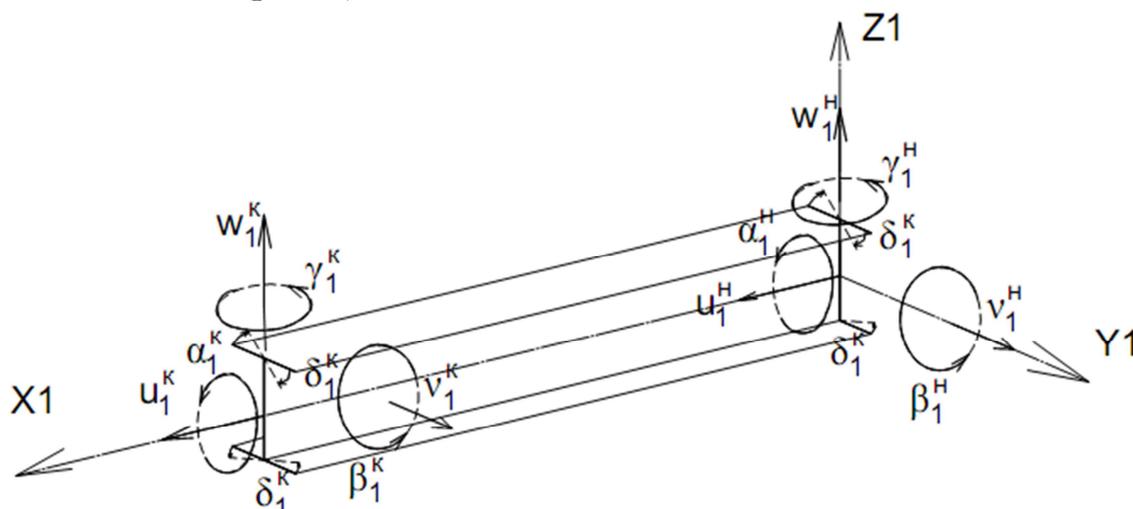


Рисунок 3 – Возможные перемещения узлов тонкостенного КЭ

С каждым стержнем связана местная система координат (оси X_1, Y_1, Z_1), произвольно ориентированная относительно общей системы (оси X, Y, Z). Системы координат правые. Приняты следующие условные обозначения перемещений:

u_1 – линейное перемещение вдоль оси X_1 ; v_1 – линейное перемещение вдоль оси Y_1 ; w_1 – линейное перемещение вдоль оси Z_1 ; α_1 – угол поворота относи-

тельно оси $X1$; β_1 – угол поворота относительно оси $Y1$; γ_1 – угол поворота относительно оси $Z1$; δ_1 – *депланация* сечения. Наличие индекса 1 означает, что перемещения рассматриваются в местной системе координат, а индексы «н» и «к» используются для обозначения перемещений соответственно начала и конца стержня. Для жесткостных параметров тонкостенного стержня открытого профиля приняты следующие обозначения: EA – продольная жесткость стержня; EY – изгибная жесткость стержня относительно оси $Y1$; EIZ – изгибная жесткость стержня относительно оси $Z1$; GI_t – жесткость стержня на чистое кручение; $EI\omega$ – секториальная жесткость стержня.

Таблица 1 – Матрица жесткости ТКЭ с двумя осями симметрии

	u_1^H	v_1^H	w_1^H	α_1^H	β_1^H	γ_1^H	δ_1^H	u_1^K	v_1^K	w_1^K	α_1^K	β_1^K	γ_1^K	δ_1^K
u_1^H	$\Gamma_{1,1}$							$\Gamma_{1,8}$						
v_1^H		$\Gamma_{2,2}$				$\Gamma_{2,6}$			$\Gamma_{2,9}$				$\Gamma_{2,13}$	
w_1^H			$\Gamma_{3,3}$		$\Gamma_{3,5}$					$\Gamma_{3,10}$		$\Gamma_{3,12}$		
α_1^H				$\Gamma_{4,4}$			$\Gamma_{4,7}$				$\Gamma_{4,11}$			$\Gamma_{4,14}$
β_1^H					$\Gamma_{5,5}$					$\Gamma_{5,10}$		$\Gamma_{5,12}$		
γ_1^H						$\Gamma_{6,6}$			$\Gamma_{6,9}$				$\Gamma_{6,13}$	
δ_1^H							$\Gamma_{7,7}$				$\Gamma_{7,11}$			$\Gamma_{7,14}$
u_1^K								$\Gamma_{8,8}$						
v_1^K									$\Gamma_{9,9}$				$\Gamma_{9,13}$	
w_1^K										$\Gamma_{10,10}$		$\Gamma_{10,12}$		
α_1^K											$\Gamma_{11,11}$			
β_1^K												$\Gamma_{12,12}$		$\Gamma_{11,14}$
γ_1^K													$\Gamma_{13,13}$	
δ_1^K														$\Gamma_{14,14}$

Симметрично относительно главной диагонали.

Длина стержня – 1. Матрица жесткости ТКЭ основана на теории В.З. Власова [2], имеющей хорошее экспериментальное и теоретическое подтверждение.

Компонентами матрицы жесткости являются реакции в связях, возникающие при единичных перемещениях связей. Неравные нулю элементы матрицы жесткости равны:

$$\begin{aligned}
r_{1,1} = r_{8,8} &= \frac{EA}{l}; & r_{1,8} &= -\frac{EA}{l}; & r_{2,2} = r_{9,9} &= \frac{12EI_z}{l^3}; & r_{2,6} = r_{2,13} &= \frac{6EI_z}{l^2}; & r_{2,9} &= -\frac{12EI_z}{l^3}; \\
r_{9,13} &= -\frac{6EI_z}{l^2}; & r_{3,3} = r_{10,10} &= \frac{12EI_y}{l^3}; & r_{3,5} = r_{3,12} &= -\frac{6EI_y}{l^2}; & r_{3,10} &= -\frac{12EI_y}{l^3}; & r_{10,12} &= \frac{6EI_y}{l^2}; \\
r_{4,4} = r_{11,11} &= \frac{\lambda EI_\omega}{l^3}; & r_{4,7} = r_{4,14} &= \frac{\alpha EI_\omega}{l^2}; & r_{4,11} &= -\frac{\lambda EI_\omega}{l^3}; & r_{11,14} &= -\frac{\alpha EI_\omega}{l^2}; \\
r_{5,5} = r_{12,12} &= \frac{4EI_y}{l}; & r_{5,10} &= \frac{6EI_y}{l^2}; & r_{5,12} &= \frac{2EI_y}{l}; & r_{6,6} = r_{13,13} &= \frac{4EI_z}{l}; \\
r_{6,9} &= -\frac{6EI_z}{l^2}; & r_{6,13} &= \frac{2EI_z}{l}; & r_{7,7} = r_{14,14} &= \frac{\mu EI_\omega}{l}; & r_{7,11} &= -\frac{\alpha EI_\omega}{l^2}; & r_{7,14} &= \frac{g EI_\omega}{l},
\end{aligned} \tag{6}$$

где μ , g , α , λ – безразмерные коэффициенты, определяемые по формулам:

$$\begin{aligned}
\alpha &= \frac{k^2 \cdot l^2 \cdot (ch(k \cdot l) - 1)}{k \cdot l \cdot sh(k \cdot l) - 2 \cdot ch(k \cdot l) + 2}; & g &= \frac{k \cdot l \cdot (sh(k \cdot l) - k \cdot l)}{k \cdot l \cdot sh(k \cdot l) - 2 \cdot ch(k \cdot l) + 2}; \\
\lambda &= \frac{k^3 \cdot l^3 \cdot sh(k \cdot l)}{k \cdot l \cdot sh(k \cdot l) - 2 \cdot ch(k \cdot l) + 2}; & \mu &= \frac{k \cdot l \cdot (k \cdot l \cdot ch(k \cdot l) - sh(k \cdot l))}{k \cdot l \cdot sh(k \cdot l) - 2 \cdot ch(k \cdot l) + 2};
\end{aligned} \tag{7}$$

$k = \sqrt{\frac{G \cdot I_t}{E \cdot I_\omega}}$ – изгибно-крутильная характеристика стержня.

При построении матрицы жесткости всей конструкции необходимо выполнить преобразование матрицы жесткости ТКЭ из местной системы координат в общую систему координат. Преобразование выполняется так:

$$R = T^T \cdot r \cdot T, \tag{8}$$

где R – матрица жесткости ТКЭ в общей системе координат; r – матрица жесткости в местной системе координат (таблица 1); T – матрица преобразования координат; T^T – транспонированная матрица преобразования координат.

$$T = \begin{bmatrix} c & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & c & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & d_n & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & c & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & c & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & d_k \end{bmatrix}, \tag{9}$$

где c – матрица направляющих косинусов, d_n и d_k – коэффициенты преобразования деформации для начала и конца стержня.

Следует отметить, что коэффициенты при компонентах матриц жесткости являются отношением гиперболических функций, знаменатель которых может

обращаться в нуль, и эти конечные элементы неприменимы для расчета тонкостенных стержней замкнутого профиля.

Поэтому нужен расчетный комплекс, который имеет специальный модуль для расчета таких конструкций (матрица жесткости КЭ должна быть 14×14), чтобы правильно учесть особенности поведения элементов конструкции под нагрузкой.

Определение эффективного (редуцированного) сечения. При оценке эффективных геометрических характеристик в соответствии с [7] учитывают следующие аспекты:

- толщина холодноформованного элемента. Под этой толщиной понимается толщина элемента без учета покрытия, т. е. номинальная толщина листа после холодного формования за вычетом толщины покрытия;

- срединная линия. При определении эффективных геометрических характеристик используется теоретическая ширина элементов, т. е. расстояние между точками пересечений срединных линий сечения. Изначально радиусы закруглений не принимаются в расчет, получают идеализированное сечение, состоящее из прямоугольных элементов;

- влияние углов закругления. Допускается не учитывать влияние закруглений углов сгиба на сопротивление сечения, если выполняются условия: $r < 5t$ и $r < 0,5b_p$, где b_p – теоретическая ширина сечения, r – радиус сгиба. При определении жесткостных характеристик влияние углов сгиба нужно учитывать всегда;

- предел текучести. При расчете на прочность с учетом местной потери устойчивости предел текучести f_u принимается как $f_{u\beta}$ для случая определения эффективной ширины сжатых элементов согласно [7].

Учет потери устойчивости формы сечения. Для предотвращения потери местной устойчивости наиболее эффективным является уменьшение ширины тонкостенного элемента или его подкрепление по свободной стороне посредством элемента жесткости (одинарные или двойные отгибы на свесах сечения либо промежуточные гофры). Наличие элементов жесткости в сечении позволяет повысить величину нагрузки, которую может воспринять тонкостенный элемент. При этом возможно возникновение потери устойчивости формы сечения. Данный тип потери устойчивости характеризуется тем, что устойчивость теряют непосредственно элементы жесткости. Элемент жесткости ведет себя как сжатый стержень с непрерывным частичным раскреплением, в расчетной схеме это раскрепление представлено в виде упругоподатливой связи (пружины). Определяем жесткость этой связи (K), потом критические напряжения потери устойчивости элемента жесткости в упругой стадии ($\sigma_{cr,s}$), далее определяем коэффициент снижения несущей способности вследствие потери устойчивости формы сечения (χ_d). Потерю устойчивости формы сечения учитывают путем уменьшения толщины элемента жесткости, умножая ее полное значение на коэффициент χ_d .

В программных комплексах стали появляться специальные модули для расчета геометрических характеристик сечения, а также центра тяжести сечения, центра изгиба сечения и секториальных площадей.

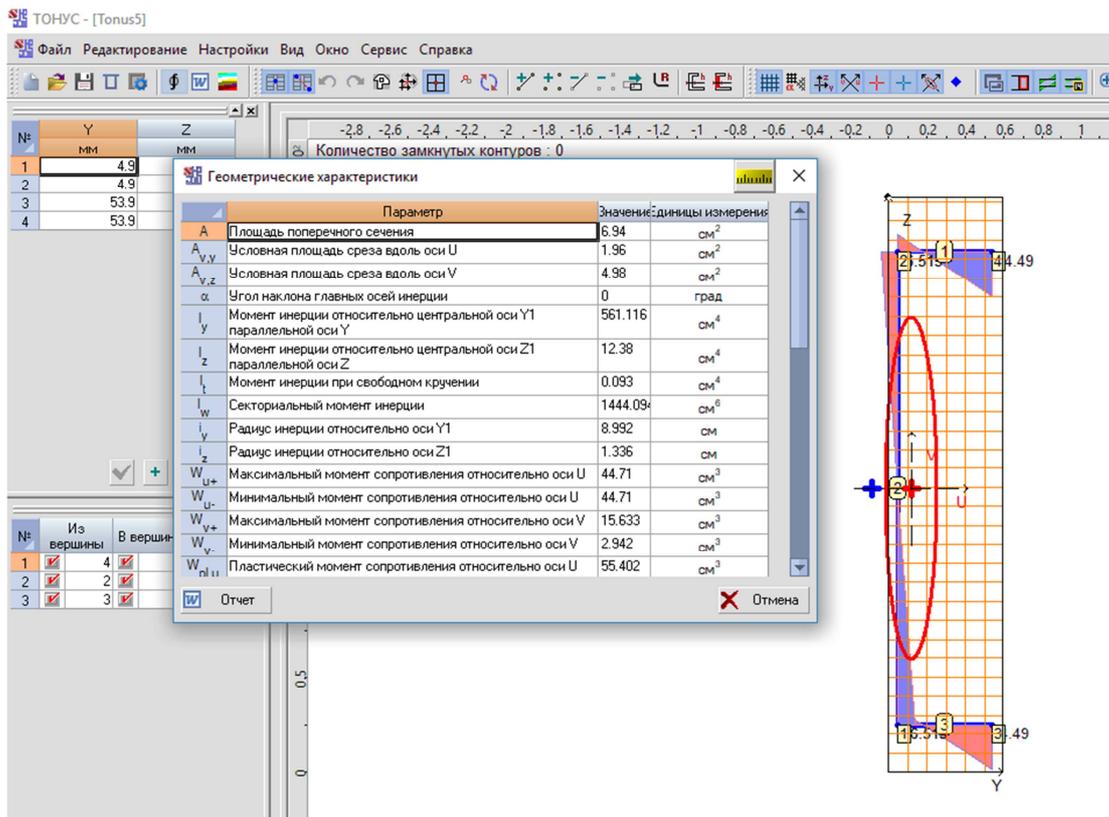


Рисунок 4 – SCAD Office, программа «Тонус»

Программа CFSteel предназначена для расчета элементов конструкций из стальных тонкостенных холодногнутох профилей, расчет центрально-сжатых, сжатых с изгибом и изгибаемых стержней. Для наглядности наряду с полным сечением приводится параметризованное изображение эффективного сечения.

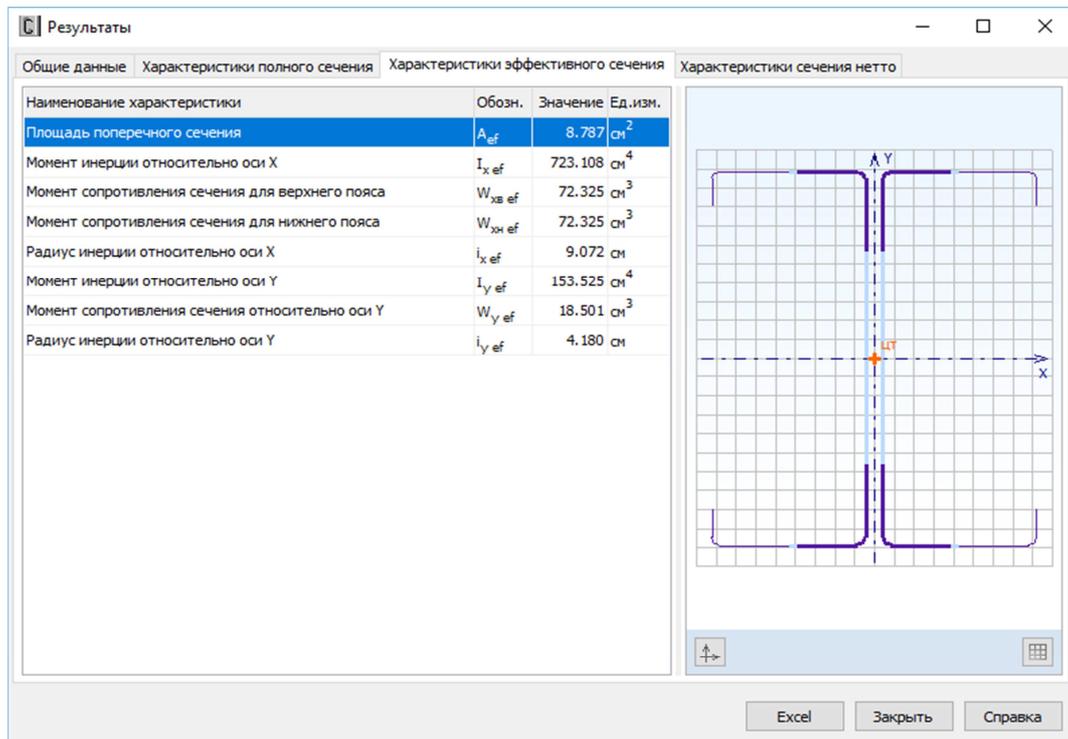


Рисунок 5 – Вид одной из страниц вывода результатов

Заключение. С введением в 2009 году Еврокодов в РБ появилась возможность нормативно закреплённого расчёта холодноформованных элементов, но чтобы выполнить этот расчёт правильно, нужна высокая подготовка инженеров-проектировщиков. Поэтому часто конструкции из тонкостенных элементов рассчитывают без учёта эффективных характеристик. Недостатком Еврокодов является отсутствие ярко выраженной инженерной методики расчёта. Для учёта правильной работы под нагрузкой конструкций из тонкостенных элементов необходимо, чтобы расчётный комплекс имел возможность учесть дополнительно ещё одну степень свободы, а также выполнялся учёт эффективных характеристик сечения.

Программа CFSteel может рассматриваться как виртуальный инструмент научных исследований для оценки несущей способности стержневых систем из стальных тонкостенных холодногнутых конструкций (СТХК), а при наличии деформационной модели воздействий стержневых систем сложной геометрической структуры, и ее реализации в компьютерной программе, их совместная работа может рассматриваться как деформационная модель их расчёта, позволяющая предельно приблизить результаты ее расчёта к реальному напряженно-деформированному состоянию конструктивных схем систем из СТХК.

Список цитированных источников

1. Вольмир, А. С. Устойчивость деформируемых систем. – Москва : Наука, 1967. – 984 с.
2. Власов, В. З. Тонкостенные упругие стержни. – Москва : Государственное издательство физико-математической литературы, 1959. – 568 с.
3. Бычков, Д. В. Строительная механика стержневых тонкостенных конструкций. – Москва : 1962. – 478 с.
4. Лещенко, А. П. Фундаментальная строительная механика упругих систем. – Москва, 2008 – 546 с.
5. Туснин, А.Р. Расчёт и проектирование конструкций из тонкостенных стержней открытого профиля / автореферат на соиск. учен. степ. спец.: 05.23.01. – Москва, 2004. – 37 с.
6. Ray, E. Clough. Dynamic of Structures. – New York : McGraw-Hill, 1995. – 3th ed. – P. 752.
7. Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций. – Ч. 1-3. Общие правила. Дополнительные правила для холодноформованных элементов и профилированных листов: ТКП EN 1993-1-3-2009*(02250). – Минск : Минстройархитектуры, 2014. – 119 с.
8. Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций. – Ч. 1-5. Пластинчатые элементы конструкций: ТКП EN 1993-1-3-2009*(02250). – Минск : Минстройархитектуры, 2014. – 51 с.

УДК 624.426.5

СОЧЕТАНИЯ ВОЗДЕЙСТВИЙ В СООТВЕТСТВИИ С ТКП EN 1990

Верёвка Ф. А., Мартынов Ю. С., Надольский В. В.

Annotation: *The article is devoted to the review of the deterministic approach to the combination of loads in accordance with the normative document TKP EN 1990, which is currently used in the Republic of Belarus in the calculation of building structures. The aim of this work is to provide with the generalized information about the method of choosing the design combination of loads for various groups of limit states in accordance with different types of representative values of variable loads.*

Аннотация: *статья посвящена обзору принципов сочетания значений воздействий в соответствии с действующим в настоящее время на территории Республики Беларусь нормативным документом по расчёту строительных конструкций ТКП EN 1990. Цель данной работы обобщение информации о методике выбора расчетного сочетания воздействий для различных групп предельных состояний с учётом различных типов репрезентативных значений переменных воздействий.*