

Скачков Сергей Владимирович
Skachkov Sergey Vladimirovich

Ростовский государственный строительный университет
Rostov State building University

Доцент кафедры металлических, деревянных и пластмассовых конструкций
Assistant Professor of the Department "metal, wooden and plastic constructions
E-Mail: St-pr@bk.ru

Особенности автоматизированных расчетов элементов из тонкостенных стальных профилей

Features calculation of structures of thin-walled steel profiles

Аннотация: Рассматриваются расчеты конструкций из гнутых тонкостенных профилей. В статье анализируются вопросы изменения напряженно деформированного состояния профиля при наличии местных искривлений.

The Abstract: Discusses the calculation of thin-walled roll formed profiles. The article analyses the question changes tensely deformed state of the profile in the presence of local curvature.

Ключевые слова: Гнутый профиль, напряжения.

Keywords: Roll-formed sections, voltage.

Холодногнутые тонкостенные профили из стали широко применяются для несущих и ограждающих конструкций зданий и сооружений различного назначения.

Легкие стальные конструкции из гнутых тонкостенных профилей имеют ряд преимуществ по сравнению с традиционными стальными конструкциями из прокатных профилей: относительно небольшой массой, трудоемкостью изготовления и монтажа.

В качестве материала профилей используется оцинкованная сталь толщиной от 0,6 до 3,0 мм. Элементы изготавливают прокаткой на станах.

Проектирование конструкций из этих профилей имеет ряд особенностей, связанных с тонкостенностью и формой сечения, работой соединений, коррозионной стойкостью и защитой от огня профилей.

При воздействии на конструкции из тонкостенных профилей внешних нагрузок следует учитывать следующие:

- потеря местной устойчивости полок и стенок профилей при продольном сжатии, если соотношение их ширины и толщины превышает 60;
- в изгибаемых и сжатых профилях несимметричного сечения появляются крутильные деформации;
- в силу малых толщин стенок соединения в узлах элементов обладают небольшой жесткостью, что влияет на общую деформативность конструкции.

При определении расчетных характеристик профилей следует учитывать их снижение в случае потери местной устойчивости сжатых полок или стенки профиля. Это касается как прямолинейных профилей, так и, в особенности, криволинейных вальцованных [6].

В силу тонкостенности профилей могут возникнуть механические повреждения при транспортировке и монтаже, рассмотрен вопрос изменения напряженно деформированного состояния профиля при наличии местных искривлений. Актуальность вопроса подтверждается опытом применения и эксплуатации конструкций из тонкостенных профилей.

Местные искривления могут повлиять результаты расчетов в первую очередь на значение напряжений. При анализе напряженно деформированного состояния выполнено сравнение результатов расчета профилей имеющих и не имеющих начальных деформаций.

Тонкостенный профиль ПС 200-1,2 имеющего начальную деформацию (рис.1).

С целью оценки напряженно деформированного состояния при изгибах поперечных стержней с различными профилями выполнены расчеты в соответствии с [4].

Выполнены так же расчеты стержней из тонкостенных профилей по конечно элементной модели в программе Stark ES 4x4.

Основной моделью исследования является свободно опертая однопролетная балка из тонкостенного профиля с сечением в виде швеллера.

В качестве элементов в МЭК приняты изотропные пластины толщиной 1,2мм (рис. 2).

Распределение напряжений в элементе приведены на рис. 3, 4.

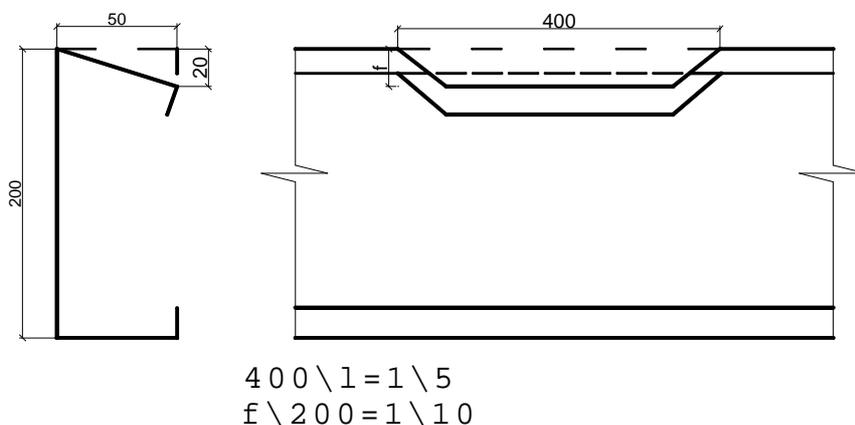


Рис. 1. Вид и принятые значения начальной деформации

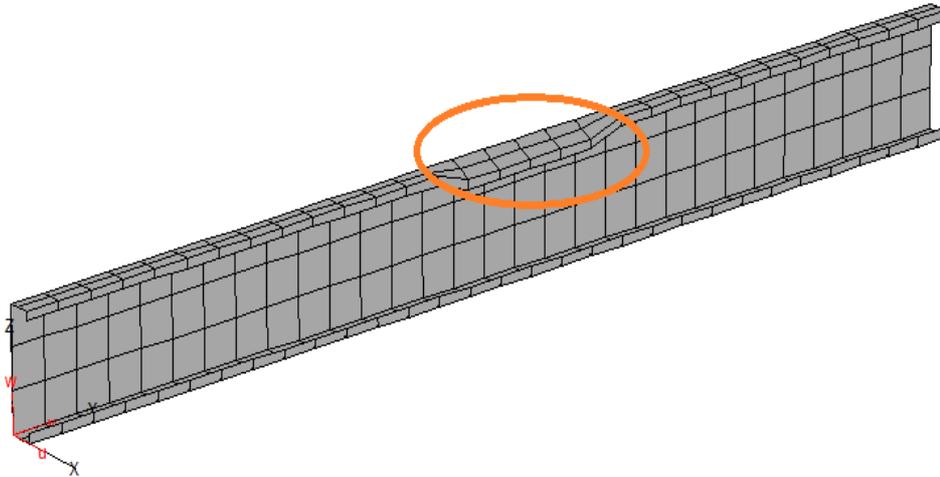


Рис. 2. Конечно-элементная модель для расчета по Stark ES

(в выделенной области показаны начальные искривления)

В таблице 1 приведены результаты расчетов профилей имеющих и не имеющих начальные искривления.

Таблица 1

Расчет по СНиП		Расчет по программе		Расчет по программе (профиля с начальным искривлением)		Среднее увеличение значений $[\sigma]$, %	Среднее увеличение значений $[\tau]$, %
$[\sigma]$, кН/м^2	$[\tau]$, кН/м^2	$[\sigma]$, кН/м^2	$[\tau]$, кН/м^2	$[\sigma]$, кН/м^2	$[\tau]$, кН/м^2		
117160	13160	97156	16952	171207	16952	43	0

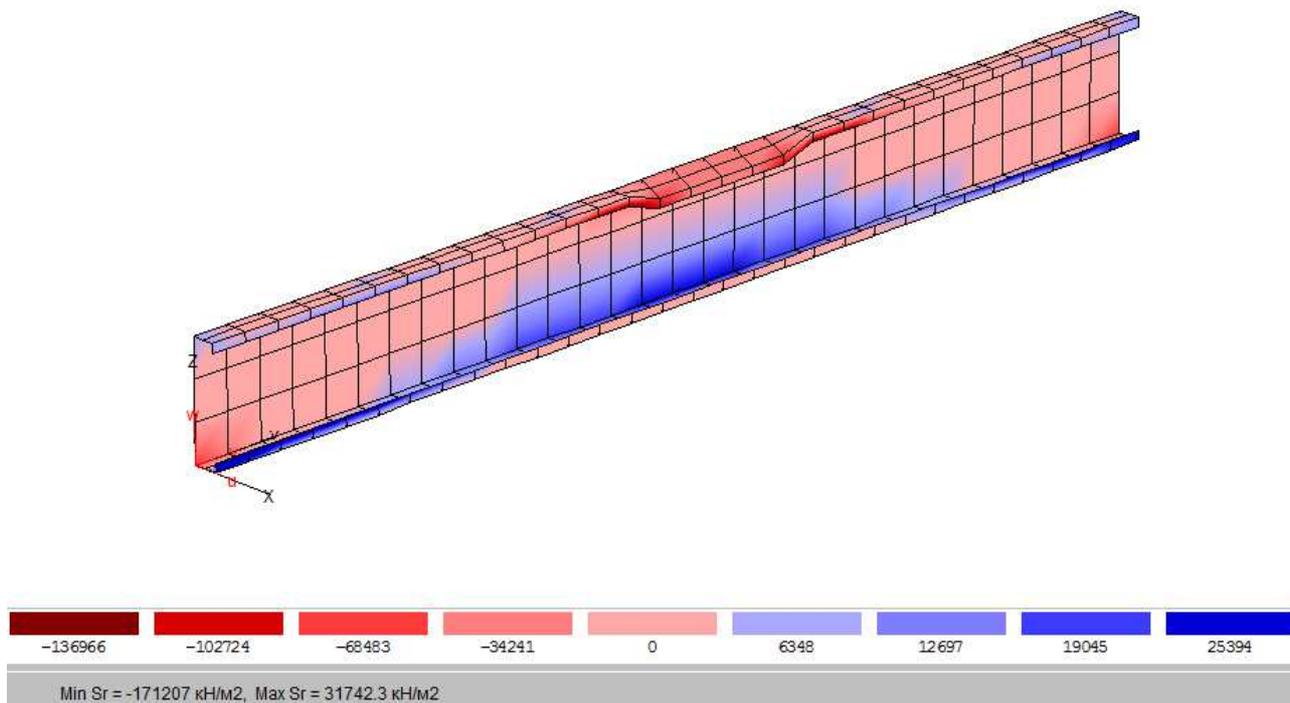


Рис. 3. Результаты расчета по нормальным напряжениям

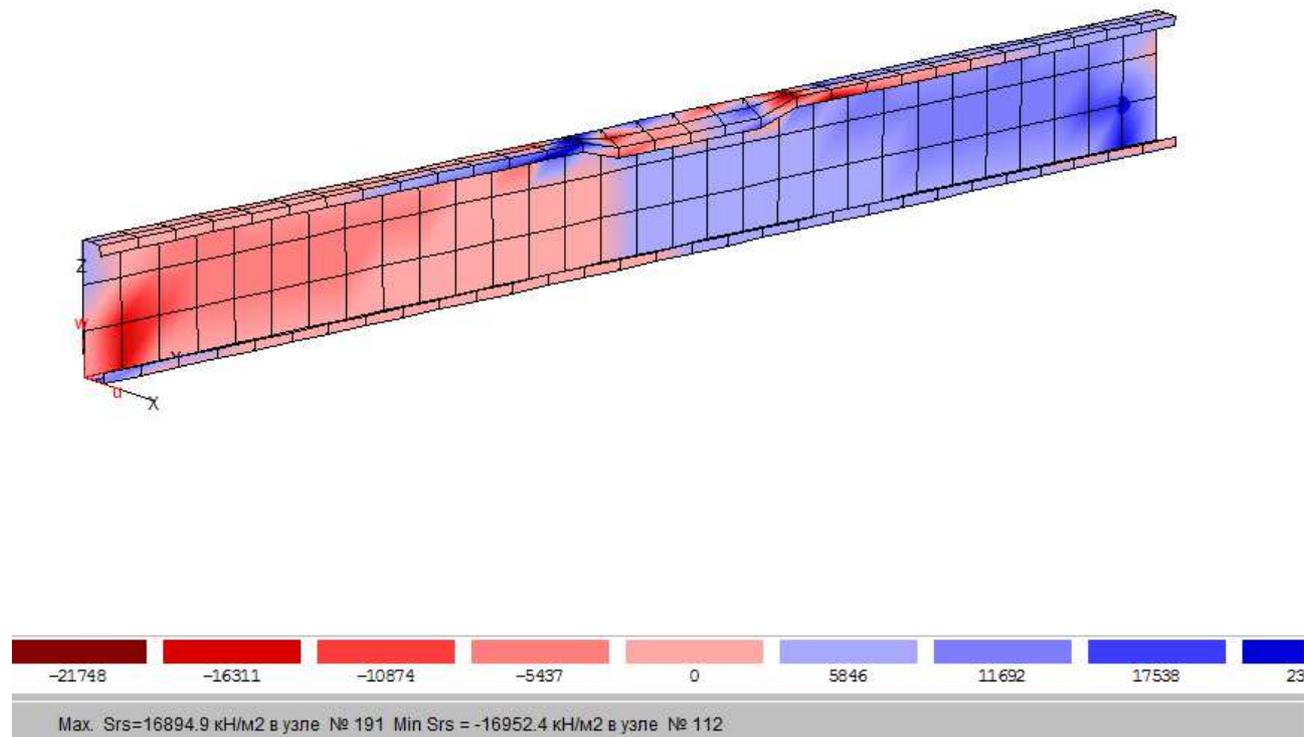


Рис. 4. Результаты расчета по касательным напряжениям

При проектировании несущих систем, имеющих тонкостенные стержни, согласно требованиям [4], необходимо выполнять требования по обеспечению местной устойчивости. Решения задач о местной устойчивости основано на рассмотрении работы отдельных пластинчатых элементов, составляющие стержень.

Теория устойчивости пластинок подробно исследована многими авторами.

Основное дифференциальное уравнение изогнутой срединной поверхности пластинки в предположении малости прогиба по сравнению с ее толщиной записывается следующим образом:

$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = \frac{1}{D} \left(N_x \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + N_y \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + 2N_{xy} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right)$$

где $D = \frac{Et^3}{12(1-\nu^2)}$ - цилиндрическая жесткость пластины.

(1)

Рассматривая случай сжатия вдоль оси X (рис. 5) дифференциальное уравнение пластинки (1) представится следующим образом:

$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = - \frac{N_x}{D} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2}.$$

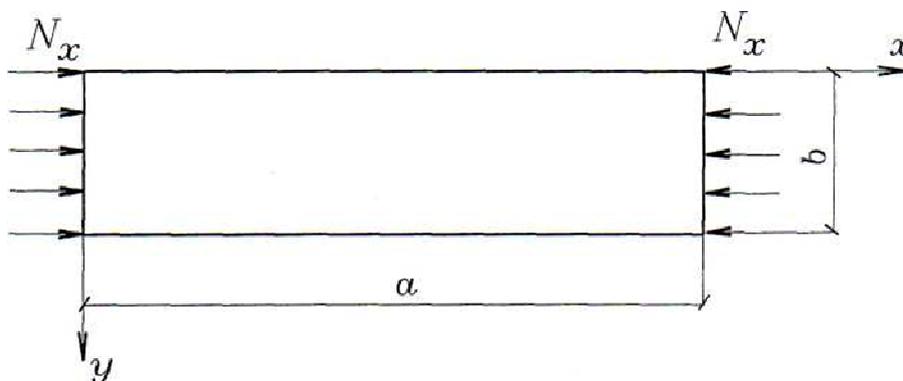


Рис. 5. Решение уравнения (2) принимается в виде

$$y = f \sin \frac{m\pi x}{a},$$

где $f = C_1 e^{-\alpha y} + C_2 e^{\alpha y} + C_3 \cos \beta y + C_4 \sin \beta y,$

$$\alpha = \sqrt{\frac{m^2 \pi^2}{a^2} + \sqrt{\frac{N_x m^2 \pi^2}{Da^2}}}, \quad \beta = \sqrt{-\frac{m^2 \pi^2}{a^2} + \sqrt{\frac{N_x m^2 \pi^2}{Da^2}}}.$$

(3)

Постоянные интегрирования в этом решении определяются для каждого частного случая, исходя из граничных условий.

Возможные начальные искривления при этом снижают критические напряжения.

В нормах при расчетах тонкостенных стержней на местную устойчивость предельные гибкости элементов сечения определяются в соответствии с принципом равноустойчивости [4]. При этом полученные по нормам предельные значения могут оказаться завышенными. Использование методики определения предельной гибкости пластинок, основанной на вероятностном подходе, позволяет исключить необоснованное завышения надежности.

Функция неразрушимости имеет вид:

$$Z = C(t/b)^2 - N/t \geq 0$$

В силу малой изменчивости величины b , считаем ее величиной детерминированной, а N и t рассмотрим как независимые случайные величины, распределенные по закону Гаусса с соответствующими математическими ожиданиями.

Задавшись вероятностью потери местной устойчивости $P(Z < 0) = 0,001$, легко убедиться в том, что полученные на основании вероятностного подхода предельные отношения выше вычисленных по нормам, получены, кроме того, предельные значения гибкостей пластинок, исходя из достаточной надежности последней.

ЛИТЕРАТУРА

1. Власов В. З. Тонкостенные упругие стержни. Принципы построения общей технической теории оболочек. М.: Издательство академии наук СССР, 1963.-507с.
2. Власов В.З. Избранные труды. Общая теория оболочек. М: издательство академии наук СССР, 1962. - 528 с.
3. Усюткин В.И. Строительная механика конструкций космической техники. М.: Машиностроение, 1988.- 392с.
4. СП 16.13330.2011. Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП П-23-81* Москва 2011.-142с.
5. Справочник проектировщика промышленных, жилых и общественных зданий и сооружений. Расчетно-теоретический. В 2-х кн. Кн. 1. Под ред. Уманского А.А., М. Стройиздат, 1972. 600 с.
6. Веселев Ю.А., Кузнецов Ю.В., Лавриненко А.В. Тонкостенные своды из вальцованных металлических профилей повышенной жесткости.: Сб. научн.тр./Легкие строительные конструкции – Ростов-на-Дону: РГСУ, 2004. С. 47 -59.