

УДК 69

УСТОЙЧИВОСТЬ ТОНКОСТЕННОЙ ПЛАСТИНЫ В ПРЕДЕЛАХ УПРУГОСТИ

В. А. Ходева

Донской государственной технической университет (г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация)

Ресурс устойчивости конструкции может снижаться из-за тонкостенных профилей, большей гибкости элементов сечения и стержней. Цель данного исследования — определить, каким образом соотношения сторон пластины влияют на максимальную величину нагрузки в пределах упругости. Для расчета можно рассмотреть профили, состоящие из пластин с тонкостенным поперечным сечением. Актуальны проблемы выяснения предельных нагрузок на пластины, сравнения критических напряжений в зависимости от формы равновесия фрагмента сечения, элемента в целом или части каркаса. Результат исследовательской работы — графическая визуализация зависимости сил. Современные технологии строительства позволяют применять легкие стальные конструкции с высокой несущей способностью. Представленная работа — это начало научных изысканий по применению легких стальных тонкостенных конструкций (ЛСТК) в высотном строительстве, а именно в аутриггерной системе.

Ключевые слова: тонкостенность, упругость, критическая сила, устойчивость, профиль, несущая способность.

STABILITY OF A THIN-WALLED PLATE WITHIN THE LIMITS OF ELASTICITY

V. A. Khodeeva

Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russian Federation)

The stability resource of the structure may decrease due to thin-walled profiles, greater flexibility of cross-section elements and rods. The purpose of this study is to determine how the aspect ratios of the plate affect the maximum load value within the elastic limits. For the calculation, it is possible to consider profiles consisting of plates with a thin-walled cross section. Of interest at this time are the problems of finding out the ultimate loads on the plates, comparing critical stresses depending on the equilibrium shape of the section fragment, the element as a whole or part of the frame. The result of the research is a graphical visualization of the dependence of forces. Modern construction technologies allow the use of lightweight steel structures with high load-bearing capacity. The presented work is the beginning of scientific research on the use of light thin-walled steel structures in high-rise construction, namely in the outrigger system.

Keywords: thinness, elasticity, critical force, stability, profile, bearing capacity.

Введение. Рассматриваются профили из гнutoго тонкого, дополнительно оцинкованного стального листа толщиной 1–3 мм. Тонкостенность профилей, большая гибкость элементов сечения и стержней снижают ресурс устойчивости конструкции. Современные требования к расчету изложены в своде правил 260.13330.2016 «Конструкции стальные тонкостенные из холодногнутоых оцинкованных профилей и гофрированных листов». По этим правилам можно оценить несущую способность конструкций, включая несущие элементы каркаса и ограждения.

Цели данного исследования: определить влияние соотношения сторон пластины на максимальную величину нагрузки в пределах упругости и составить графики зависимости.

Основная часть. Вычисления усложняются из-за необходимости учета тонкостенности профиля. Малые толщины влияют на устойчивость в пределах упругости. Для расчета можно рассмотреть профили, состоящие из пластин с тонкостенным поперечным сечением. При работе на сжатие происходит потеря местной устойчивости, которая наступит раньше, чем общая устойчивость. Необходимо сравнить критические напряжения, выяснить предельные нагрузки на пластины в зависимости от формы равновесия фрагмента сечения, всего элемента или части каркаса [1]. Вопросы определения геометрических характеристик следует рассматривать для нескольких уровней задач:

- форма равновесия пластин сечения близка к начальной;
- форма равновесия пластин соответствует местным проявлениям устойчивости;
- общая потеря устойчивости [2].

Пластины наименьшей толщины следует рассчитывать в первую очередь на местную устойчивость [3]. Вычисления по первой группе предельных состояний включают определение критических сил, соответствующих потере устойчивости. Современные технологии строительства позволяют применять легкие стальные конструкции с высокой несущей способностью [4]. Стальные тонкостенные профили задействуют в конструкциях покрытий, решетчатых рам, составных балок, каркасов стеновых панелей и др. [5]. Практика возведения каркасных зданий и сооружений позволила сравнить два подхода: использование эффективных конструктивных форм и решений из горячекатаных профилей. В первом случае расход стали, как правило, ниже. К тому же такие конструкции обладают высокой коррозионной стойкостью, элементы соединяются на строительной площадке, формируются простые и надежные узлы [6].

Малые толщины влияют на устойчивость при упругой работе [6]. Определение воздействий и нагрузок имеет первоочередную важность для создания конструкции с высоким уровнем надежности. При расчете следует также учитывать влияние эксплуатационных нагрузок, изменяющихся во времени. Сложность таких вычислений заключается в том, что нормативные значения расчетных параметров определены с некоторой степенью вероятности [3]. Базовыми данными будут:

- размеры эффективного сечения;
- геометрия элементов и конструкции в целом;
- объемно-планировочные решения;
- механические характеристики материала основных конструкций.

Указанные величины в понимании теории вероятностей являются случайными. В общем случае для определения размеров конструкций выполняются расчеты на местную устойчивость сжатых полок и стенок профилей в сжатых зонах сечения, в том числе при разнице ширины и толщины более 60 мм. При одновременно изгибаемых и сжатых элементах несимметричного сечения выполняются расчеты на кручение. Вычисляется податливость соединений в узлах.

Оценка деформативности конструкций показывает необходимость установки дополнительных элементов (например, двухстеночных узловых фасонки, опорных подкосов) и других мероприятий для увеличения жесткости узлов. Геометрические параметры в расчете следует уточнять, в том числе итерационно, при изменении условий местного равновесия стенок или полок сжатых элементов.

Исследования показали изменения ресурса местной устойчивости стенки при местных случайных деформациях полок. Это следует учитывать на стадии проектирования объекта [7].

При расчете тонкостенных пластин сначала проверяется местная, а затем общая устойчивость [3]. Это характерная особенность расчета тонкостенных стержней по первой группе предельных состояний. Для вычисления продольных изгибающих усилий и бимоментов элементов задействуют секториальные характеристики, статические моменты сечения, осевой и центробежный моменты инерции [6]. Для определения центра изгиба и секториальных характеристик необходимо: знать положение полюса и относительно него построить эпюру секториальной площади. Координаты центра изгиба определяются по формулам [8]:

$$a_x = \frac{S_{\omega BX}}{I_x}, \quad (1)$$

$$a_y = \frac{S_{\omega BY}}{I_y}. \quad (2)$$

Положение центра изгиба зависит от формы и размеров поперечного сечения. Характер и форма приложения нагрузки не влияют на определение центра изгиба. Координата центра изгиба a — точка, относительно которой момент от касательных сил, равный нулю, показывает верное положение центра изгиба.

Рассмотрим тонкостенную пластину, закрепленную по сторонам шарнирами. На рис. 1 изображен элемент пластины в изогнутом состоянии. При исследовании состояний изгиба необходимо учесть проекции поворотных усилий.

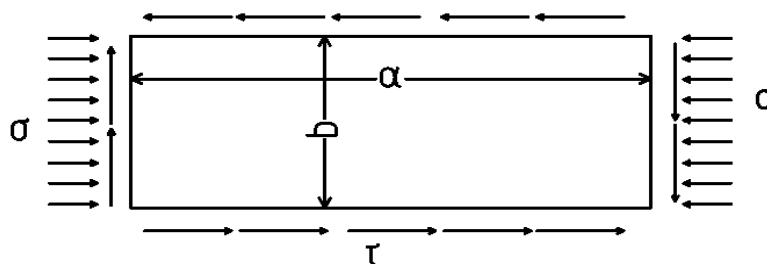


Рис. 1. Рассматриваемые напряжения

В случае потери устойчивости пластины предельную внешнюю нагрузку при отсутствии закреплений от поворота по контуру можно вычислить:

$$P_{кр} = K \frac{\pi D}{b}. \quad (3)$$

Здесь D — коэффициент, определяемый по формуле:

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}, \quad (4)$$

где ν — коэффициент Пуассона; h — пластины.

Значение коэффициента K зависит от способа закрепления краев пластины.

Профиль стержневого элемента состоит из прямоугольных пластин. Поворот граней не закреплен. Элемент сжат. Нужно построить график зависимости относительных величин, найти рациональное соотношение сторон, снизить уровень критических напряжений. При определении устойчивости пластины в пределах упругости усилия одинаково распределены по краям. Касательные напряжения распределены равномерно по всем сторонам пластины (рис. 1). Ее толщину примем 2,5 мм.

Для определения критического напряжения используем формулу:

$$\frac{\sigma_{кр}}{\sigma_{0,кр}} + \left(\frac{\tau_{кр}}{\tau_{0,кр}} \right)^2 = 1, \quad (5)$$

где $\tau_{0,кр}$ и $\sigma_{0,кр}$ — критические напряжения сжатия и сдвига.

Для получения более точных результатов расчета пластин определены критические напряжения в зависимости от размеров сторон:

$$\sigma_{кр} = K_{\sigma 0} \frac{\pi^2 D}{b^2 h}, \quad (6)$$

$$\tau_{кр} = K_{\tau} \frac{\pi^2 D}{b^2 h}, \quad (7)$$

$$\lambda = \frac{a}{b}. \quad (8)$$

По результатам расчетов тонкостенных пластин построили график зависимостей (рис. 2). Это позволяет определять уровень критических напряжений при различных исходных данных. Зависимость можно использовать в проектировании конструкций из тонкостенных стальных профилей.

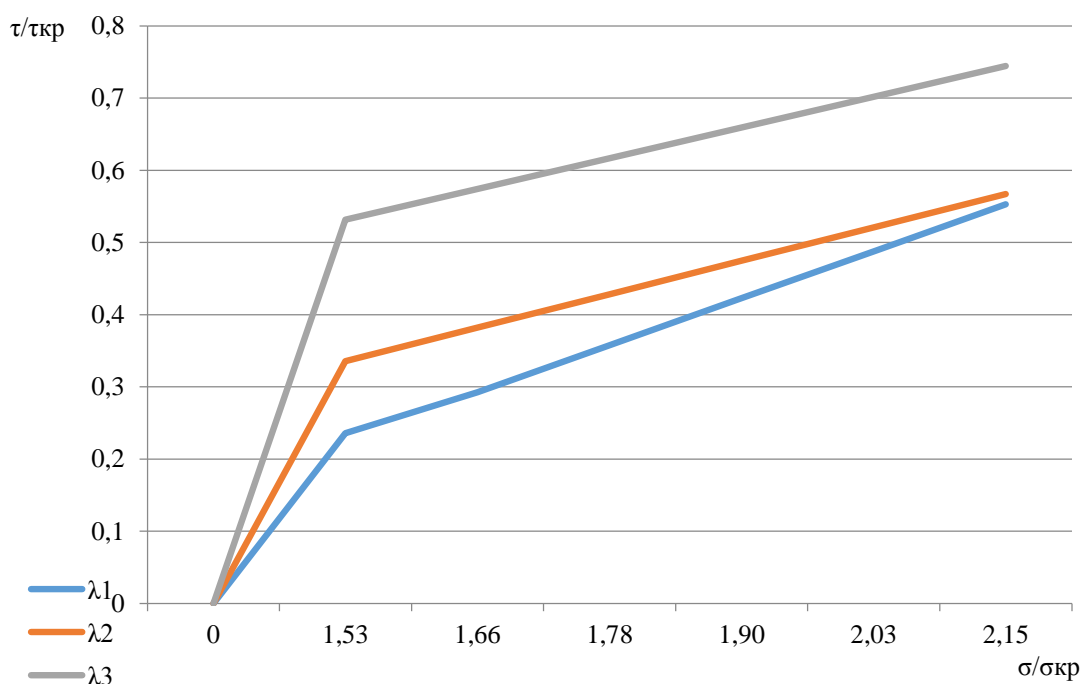


Рис. 2. График зависимости

Заключение. Расчет показал характер изменения критической силы в зависимости от гибкости пластины. График позволяет определить наилучшие отношения сторон пластины (рис. 2). Для λ_1 $a/b = 2$, для λ_2 $a/b = 1$, для λ_3 $a/b = 5$. Видно изменение критических сил при увеличении длины пластины. Численное значение критического напряжения сжатия и сдвига увеличивается при возрастании отношения сторон пластины. Повышается действие критической силы на сжатие и растяжение. К тому же от него зависит работа пластин под нагрузкой касательных и нормальных напряжений, а также критических сил.

Исследования показали влияние соотношения сторон пластины на величину критической силы в пределах упругости. Полученные зависимости (рис. 2) позволяют определять рациональные соотношения сторон пластин при расчете на устойчивость, а также, используя конструктивные мероприятия, достигать необходимого уровня критических напряжений.

Библиографический список

1. Кудишин, Ю. И. Металлические конструкции / Ю. И. Кудишин, Е. И. Беленя. — 10-е изд. — Москва : Академия, 2007. — 472 с.
2. Александров, А. Я. Прочность. Устойчивость. Колебания / А. Я. Александров, С. А. Амбарцумян, В. Л. Бидерман ; под общ. ред. И. А. Биргер, Я. Г. Пановко. — Москва : Машиностроение, 1968. — 463 с.
3. Василькин, А. А. Системотехника оптимального проектирования элементов строительных конструкций / А. А. Василькин, Э. К. Рахмонов // Инженерный вестник Дона : [сайт]. — 2013. — № 4. — URL: <http://ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/2203> (дата обращения : 13.08.2022).
4. Веселев, Ю. А. Тонкостенные своды из вальцованных металлических профилей повышенной жесткости / Ю. А. Веселев, Ю. В. Кузнецов, А. В. Лавриненко // Легкие строительные конструкции. — Ростов-на-Дону : РГСУ, 2004. — 3 с.
5. Решетников, А. А. Сравнительный анализ методик расчета тонкостенных стальных балок С-образного профиля по отечественным и зарубежным нормам / А. А. Решетников, В. Ю. Корнет, Д. А. Леонова // Инженерный вестник Дона. — 2018. — № 1 (48). — С. 174.
6. Голотайстрова, Е. Ю. Расчет сжато-изогнутого тонкостенного стержня с-образного поперечного сечения / Е. Ю. Голотайстрова, С. В. Скачков // Научное обозрение. — 2014. — № 9 (3). — С. 730–733.
7. Скачков, С. В. Особенности автоматизированных расчетов элементов из тонкостенных стальных профилей / С. В. Скачков // Наукоедение : [сайт]. — 2012. — № 3. — 6 с.
8. Скачков, С. В. Геометрические характеристики тонкостенных элементов С-образного поперечного сечения / С. В. Скачков // Инженерный вестник Дона. — 2017. — № 3 (46). — С. 100.

Об авторе

Ходева Валентина Алексеевна, магистрант кафедры «Металлические, деревянные и пластмассовые конструкции» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), vkhodeva@mail.ru.

About the Author

Khodeva, Valentina A., Master's degree student, Department of Metal, Wooden and Plastic Structures, Don State Technical University (1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), vkhodeva@mail.ru