

Д.К. Сыдыкова¹

(¹ к.т.н., ассоциированный профессор МОК КазГАСА,
г. Алматы, Республика Казахстан)

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА НА УСТОЙЧИВОСТЬ ТОНКОСТЕННЫХ СИСТЕМ

Аннотация. В статье представлены некоторые особенности современных тонкостенных систем, которые нужно учитывать при расчете на устойчивость и прочность конструкций.

Ключевые слова: тонкостенные конструкции, расчет на устойчивость, жесткость, профилированные листы, напряжение.

В настоящее время строительная индустрия быстро развивается, в век технологий динамично развивается металлургия, в современных строительствах наблюдается широкое применение металлоконструкций, как универсальных, прочных, но легких. Соответственно такие конструкции быстро возводятся, что дает огромное преимущество для строительных компаний с целью снижения сроков строительства и затратных средств.

Легкие стальные тонкостенные конструкции из гнутых профилей (ЛСТК) в промышленном и гражданском строительстве занимают особое место. Почему интерес к ЛСТК возрос, потому что они обладают такими свойствами, как быстрая возводимость, малый вес, отсутствие «мокрых» процессов, высокая точность произведенных изделий. Применение таких конструкций стало толчком для развития строительной отрасли: разработка, изготовление и монтаж конструкций из оцинкованной стали.

В терминах строительных конструкций под «легкими стальными тонкостенными конструкциями» понимают несущие и ограждающие элементы зданий, металлоемкость которых существенно снижена по сравнению с традиционными конструкциями. Данная характерная особенность ЛСТК достигается за счет рационального выбора конструктивной формы и размеров сечений [1], использования стали с пределом текучести не ниже 220 МПа. ЛСТК производятся методом холодного формообразования на профилегибочных станках из прокатного листового металла. Толщина цинкового покрытия не должна составлять менее 18 мкм. Материал профилей приведен в таблице 1.

Таблица 1. Материал профилей

Марка стали	250-350	220-350	Группы ХП, ПК	250-350
Толщина профиля, мм	1-4	0,6-2	0,8-2,5	1-4
Тип покрытия	Цинковое, класс 275	Полимерное	Цинковое, класс 1	Лакокрасочное

ЛСТК могут применяться самостоятельно или в сочетании с другими строительными конструкциями: в качестве ограждающих стен, внутренних перегородок, междуэтажных перекрытий, стропильных конструкций мансард и крыш, в частности, при реконструкции.

Одним из таких типов несущих строительных конструкций являются холодногнутые оцинкованные профили. Остановлюсь на двух типах пространственных систем с основными конструктивными элементами из оцинкованного профилированного листа.

Профилированный лист (профлист, профнастил) представляет собой металлический лист, изготавливаемый из листовой оцинкованной стали методом холодного проката на профилегибочных станах. При изготовлении подвергается профилированию (приданию волнообразной, трапециевидной, квадратной и других форм) для повышения жесткости. На рисунке представлены виды и размеры. Профнастил изготавливается из листовой стали толщиной от 0,6-1,5 мм, в поперечном сечении выделяются следующие размеры: ширина профиля, высота гофры, которая колеблется от 10-150 мм, шаг гофров, также ширина верхней и нижней полки (рис. 1).

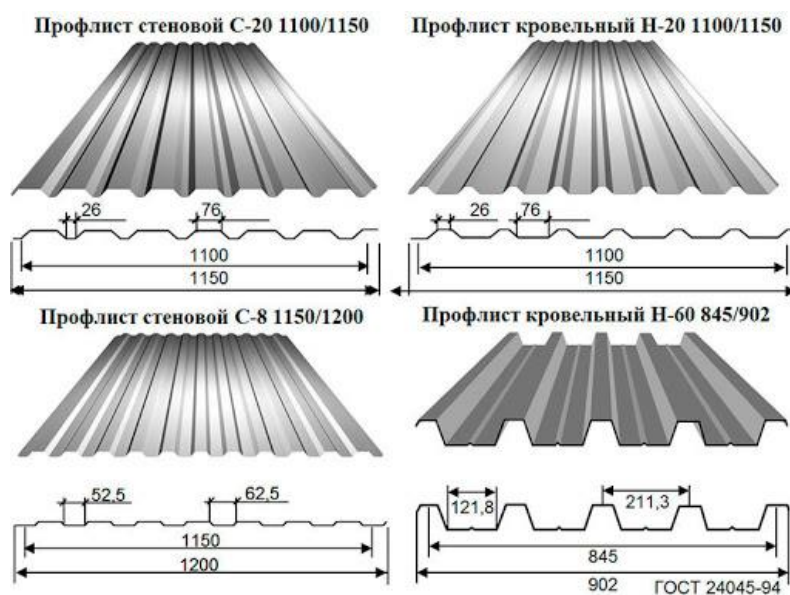


Рис. 1. Примеры профилированных листов

Профнастил используется при строительстве стен и кровли цехов, складов, торговых павильонов, ангаров, коттеджей, садовых и дачных домиков. Профилированный лист для крыши и стен может применяться как для обновления покрытий старых зданий, так и для строительства новых сооружений [3]. Стальная основа и рёбра жёсткости обеспечивают крыше, стенам и несущим перекрытиям необходимую жёсткость. Стены и кровля из профнастила не утяжеляют здания и обладают отличной герметичностью.

Классификация конструкций из тонкостенных оцинкованных профилей [1] приведена на рисунке 2.

В конструкции профилированный лист, в зависимости от функционального назначения, может работать на изгиб, растяжение (сжатие), сдвиг и т.д.

Особое внимание нужно обратить на то, что при продольном изгибе и сжатие грани профлистов могут потерять устойчивость и частично выключиться из работы при напряжениях, не достигая предела текучести стали. В результате геометрические характеристики сечений снижаются в зависимости от уровня сжимающих напряжений и соотношения ширины и толщины сжатых плоских участков граней [2]. После местной потери устойчивости профнастилы продолжают работать в закритической стадии.



Рис. 2. Классификация конструкций

При изучении напряженно-деформированного состояния профлиста, в зоне максимального изгибающего пролетного момента, отмечается, что после потери устойчивости сжатых широких полок ребра остаются прямолинейными и служат для них жесткими опорами, а наклонные грани создают упругую заделку по продольным кромкам. Профлист при этом работает как система обычных балок соответствующего поперечного сечения, а это значит, что при изучении устойчивости достаточно рассматривать один из его средних гофров.

Потеря устойчивости сопровождается выпучиванием ее средней части с появлением значительной неравномерности в распределении напряжений вдоль гофров.

В упрощенной теории распределение напряжений по ширине полос, прилегающих к наклонным граням, принимается равномерным, а в срединной части, подвергающейся выпучиванию, равна нулю. После выпучивания в прилегающих полосах возникают дополнительные напряжения, отражающие новое деформированное состояние полки. Устойчивость новой искривленной формы обеспечивается растягивающими нормальными напряжениями, возникающими в направлении, перпендикулярном образующей гофров.

Расчет профлиста на прочность при действии поперечных нагрузок [4] выполняется по формуле:

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1 \sigma_2}.$$

Продольные нормальные напряжения вычисляются по формуле:

$$\sigma_1 = \frac{M_r}{W_r},$$

где M_r – максимальный изгибающий момент в поперечном сечении;

W_r – момент сопротивления сечения.

Если сжатые грани трапецевидного настила теряют устойчивость, то при вычислении W_r учитываются только эффективная ширина сжатой грани $2b_{ef}$ (рис. 3), которая определяется по формуле:

$$2b_{ef} = 1,9t \sqrt{\frac{E}{\sigma_{1max}}} - 0,904 \cdot t^2 \cdot \frac{E}{b \cdot \sigma_{1max}},$$

где σ_{1max} – напряжение в грани настила с шириной, равной $2b_{ef}$; E – модуль упругости материала профлиста; t – толщина профлиста; b – ширина исследуемой грани. $2b_{ef}$, σ_{1max} в этой формуле определяются методом последовательного приближения.

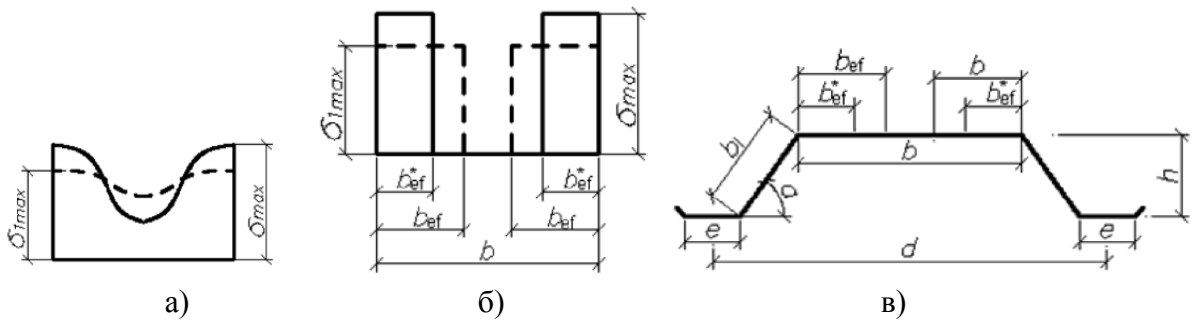


Рис. 3. Распределение напряжений в сечении широкой сжатой полки:
 а) эпюра истинных напряжений; б) эпюра приведенных напряжений;
 в) фрагмент гофра профлиста.

В поперечном направлении профлист рассчитывается как полоска единичной ширины. При этом для трапецевидальных листов поперечные изгибные напряжения определяют по формуле:

$$\sigma_2 = \pm \frac{M_{II}}{W_{II}},$$

где M_{II} – максимальный изгибающий момент в продольных сечениях полосы единичной ширины настила; $W_{II} = 1 \cdot \frac{t^2}{6}$ – момент сопротивления поперечной полосы единичной ширины сжатой грани.

Расчет на местную устойчивость профилированного листа, работающего на изгиб, сводится к проверке неравенства $\sigma < k \xi E \left(\frac{t}{b}\right)^2$, где σ – сжимающее

напряжение в грани от нагрузки; k коэффициент, связанный с отношением b_i/b и принимаемый:

b_i/b	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,4
k	5,22	5,15	5,1	5,05	5,0	4,95	4,9	4,85	4,8	4,72

b_i – ширина наклонной грани; ξ – коэффициент учитывающий отклонение кривой диаграммы $\sigma - \varepsilon$ материала листа от закона Гука.

Местная устойчивость элементов профлиста при центральном сжатии [4] проверяется по формуле: $\sigma < 3,6 \xi E \left(\frac{t}{b_{\max}} \right)^2$, где b_{\max} – ширина большей грани.

За счет того, что профлисты изготавливаются методом холодного профилирования стальных листов, то на участках сгиба металл получает наклеп, соответственно повышается условный предел текучести на 35-40%, что на 10-12% повышает расчетное сопротивление тонколистовой стали.

Разработка и использование эффективных плоских и пространственных формообразований из стандартного металлического профлиста и других холодногнутых оцинкованных профилей позволяют сократить сроки строительства, трудоемкость монтажа, также максимальная заводская готовность позволяет сократить количество рабочих на строительной площадке, повышает качество строительно-монтажных работ и снижается стоимость конструкций в деле.

Литература:

1. СП 260. 1325800.2016 «Конструкции стальные тонкостенные».
2. Вержбовский Г.Б., Горохова Д.С. Рамные конструкции из легких стальных тонкостенных профилей // В сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф. «Актуальные процессы формирования науки в новых условиях». – 2016. – С. 23-25.
3. Атавин И.В., Имескенов Т.Л., Иванова Е.Г. Лёгкие стальные тонкостенные конструкции в строительстве спортивных сооружений// Синергия Наук. – 2016. – № 6. – С. 367-376.
4. Сыдыкова Д.К. Расчет на прочность тонкостенных стержней с конструктивными особенностями// Сб. мат. междунар. науч.-практ. конф. «Актуальные проблемы и перспективы развития строительства: инновации, модернизации и энергоэффективность», посв. 60-летию проф. А.А. Кусаинова. – Алматы: КазГАСА, 2017. – С. 212-215.

Бұл мақалада заманауи жұқа қабырғалы жүйелердің кейбір ерекшеліктері келтірілген, оларды құрылымдардың тұрақтылығы мен беріктігін есептеу кезінде ескеру қажет.

Түйін сөздер: жұқа қабырғалы конструкциялар, орнықтылықты есептеу, қаттылық, Профильді парақтар, кернеу.

The article presents some features of modern thin-walled systems that need to be taken into account when calculating the stability and strength of structures.

Key words: thin-walled structures, calculation for stability, stiffness, profiled sheets, stress.