

8. Железобетонные конструкции. Основы теории, расчета и конструирования. Учебное пособие для студентов строительных специальностей. Под ред. проф. Т.М. Пецольда и проф. В.В. Тура. – Брест, БГТУ, 2003 – 380с., с илл.

9. Тур, В.В. Моделирование ветровых воздействий на здания и сооружения в соответствии с ТКП EN 1991-1-4 / В.В. Тур, А.В. Черноиван // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров: сб. науч. ст. / ГрГУ им. Я. Купалы; редкол.: Т.М. Пецольд (отв. ред.), Е.А. Ровба [и др.]. – Гродно: ГрГУ, 2010.– С. 203–211.

10. Тур, В.В. К оценке средней скорости ветра при расчете зданий и сооружений / В.В. Тур, А.В. Черноиван // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2011. – № 1(67): Архитектура и строительство. – С. 50–53.

11. Тур, В.В. Нормирование ветровой нагрузки на здания и сооружения для климатических условий Республики Беларусь / В.В. Тур, А.В. Черноиван // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2012. – № 1. – С. 35–40.

УДК 624.072.014.2

СТАЛЬНЫЕ ТОНКОСТЕННЫЕ СТЕРЖНИ ОТКРЫТОГО ПРОФИЛЯ С РАСКОСНЫМ УСИЛЕНИЕМ

ДАВЫДОВ Е. Ю.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Тонкостенность стального проката, а также холодногнутого профиля, является одним из эффективных направлений по снижению металлоёмкости металлических конструкций. В расчетных модулях при теоретических исследованиях тонкостенные стержни открытого профиля рассматриваются как стержни-оболочки (рис.1).

Дифференциальные уравнения равновесия для таких моделей при наиболее распространенных схемах нагружения имеют следующий вид:

$$EA\zeta''(z) = q_z$$

$$EI_y \cdot \xi^{iv}(z) = q_x \quad (1)$$

$$EI_x \cdot \eta^{iv}(z) = q_y$$

$$EI_\omega \theta^{iv}(z) - GI_{кр} \cdot \theta''(z) = m \dots + T' \Omega,$$

Первое уравнение определяет продольные деформации вдоль стержня (вдоль оси Z). Второе и третье уравнения определяют зависимость продольных деформаций от поперечных нагрузок. Четвертое уравнение определяет ту часть деформаций, которые не следуют закону плоских сечений и возникают в результате крутящих нагрузений (в приведенном уравнении в результате крутильного момента, равномерно распределенного вдоль оси Z).

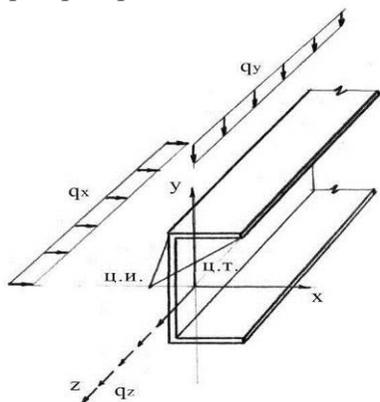


Рис. 1. Стержень-оболочка открытого профиля

При отсутствии раскосного усиления второе слагаемое в правой части не учитывается.

При решении уравнений (1) принимаются следующие гипотезы: 1. Контур сечения является недоформируемым (в процессе загрузки геометрические характеристики сечения не претерпевают никаких изменений); 2. Деформации сдвига срединной поверхности полностью отсутствуют.

Следует отметить, что для открытых тонкостенных стержней (особенно П-образного профиля) первая гипотеза может при изгибе в плоскости симметрии приводить к существенному искажению

напряженно - деформативного состояния, что подтверждается экспериментальными исследованиями.

Слабым местом открытых тонкостенных профилей наряду с местной устойчивостью является малая крутильная жесткость. Поэтому все конструктивные формы, несущая способность которых ограничивается изгибно-крутильной формой потери устойчивости требуют для повышения этой устойчивости существенных дополнительных материальных затрат.

Наиболее эффективным способом повышения изгибно-крутильной устойчивости, а то и полного исключения этой проблемы, является применение раскосного усиления (рис.2а).

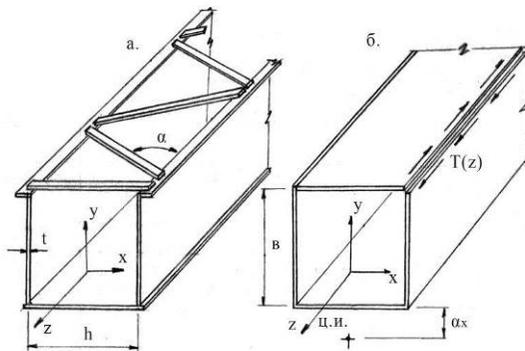


Рис. 2 Расчётная схема стержня-оболочки, усиленного раскосами

В этом случае, в правую часть четвертого уравнения (1) добавляется второе слагаемое, где T' - производная от сдвигающей силы, а Ω - секторальная характеристика всего контура сечения, определяемая как для оболочки закрытого профиля [2]. При этом автором теории тонкостенных стержней [2] было сделано предположение, что раскосная решетка не оказывает существенного влияния на изгибную жесткость стержня. Поэтому первые три дифференциальных уравнения были приняты без каких-либо изменений.

Известны решения четвертого уравнения, позволяющие определять крутильную жесткость с учетом раскосного усиления [2,5]:

$$I_{кр} = I_d + 4b^2 \cdot \sin^2 \alpha \cdot \cos \alpha \cdot \frac{E \cdot A_p}{G} \quad (2)$$

$$I_{кр} = I_d + 4a_x^2 \sin^2 \alpha \cdot \cos \alpha \frac{E \cdot A_p}{G} \cdot 0,565 \quad (3),$$

где I_d - момент инерции при кручении без учета раскосного усиления;

E, G - модули упругости и сдвига;

A_p - площадь сечения раскоса;

b - ширина полки П-образного сечения;

a_x - расстояние от стенки П-образного сечения до центра кручения.

Формулы (2,3) получены для П-образных сечений и только для одной схемы нагружения (двумя концевыми крутящими моментами) и предполагают, что дополнительная крутильная жесткость, обусловленная раскосной решеткой, не зависит от закреплений концов стержня-оболочки.

Первая формула получена при замене раскосной решетки ортотропной пластинкой (рис.2б.), которая способна воспринимать только касательные напряжения и не оказывает никакого влияния на геометрические характеристики сечения [2]. Вторая формула получена решением поставленной задачи методом сил. [5] Т.к. при этом рассматривалось только одно загрузение (двумя концевыми крутящими моментами) и одно сечение (П-образное), то система канонических уравнений существенно упрощается: усилия в раскосах становятся одинаковыми по значению и противоположными по знаку в каждом узле примыкания раскосов к полкам стержня-оболочки.

Несмотря на одинаковые исходные условия, сопоставление формул (2) и (3) не приводит к тождеству. После алгебраических преобразований сравнение указанных формул приводит к неравенству:

$$b^2 >> a_x^2 \cdot 0, \quad (4)$$

Размеры « b » и « a_x » приведены на рис. 2б. Значительное превышение, получаемое по первой формуле, можно объяснить тем, что при выводе промежуточных результатов использовались характеристики, полученные для закрытых профилей.

В работе [7] задача по определению крутильной жесткости стержней-оболочек с раскосным усилением также решается методом сил. Отличительной особенностью этого решения является учет местных деформаций в стержнях-оболочках в узлах прикрепления

раскосов. Учет указанных деформаций существенно снижает дополнительную крутильную жесткость, создаваемую раскосным усилием. Дополнительная крутильная жесткость усиленных стержней открытого профиля согласно данным, приведенным в этой работе, оказываются в десятки раз (до 93 раз) меньше, чем та же жесткость, но полученная по формулам (2, 3). Также в этой работе сделано предположение, что крутильная жесткость открытого профиля усиленного раскосами зависит от вида нагрузки и места ее приложения.

Следует отметить, что экспериментальные исследования, проводившиеся для подтверждения полученных теоретических результатов, выполнялись на мелкогабаритных моделях только П-образного сечения. Размеры полок 50 и 110мм, стенок 55 и 110мм, толщины 2,4 и 5,3 мм. Раскосы изготавливались из проволоки диаметром 3мм или холодногнутого уголка 20х2мм. Длина образцов 1620 и 2000мм. Образцы изготавливались без соблюдения общей и местной устойчивости [1,6]. Поэтому экспериментальные результаты не могут рассматриваться как исключительно достоверные. Проведенные экспериментальные исследования выполнялись только с целью определения крутильной жесткости. Если в процессе нагружения опытных образцов возникали изгибающие моменты, то изгиб происходил в плоскости симметрии П-образного образца, и при таком изгибе влияние раскосного усилия на изгибные геометрические характеристики сечения не могло проявиться в полной мере. Но даже при изгибе в плоскости симметрии наличие раскосов способствовало большей достоверности принятой гипотезы о неизменяемости контура, а также при некоторых схемах нагружения уменьшению наибольших изгибных напряжений которые оказывались на 30% меньше теоретических [1].

Проведя анализ вышеприведенных результатов можно констатировать:

- результаты проведенных исследований сводятся к определению дополнительной крутильной жесткости стержней-оболочек только П-образного профиля. При этом исследовалось преимущественно только свободное кручение, т. е. предполагалось, что дополнительная крутильная жесткость зависит только от геометрических размеров;

-полученные теоретические и экспериментальные результаты, несмотря на узкую область исследований, имеют значительное расхождение;

- экспериментальные исследования проводились на мелкогабаритных образцах, где не были соблюдены требования по обеспечению местной и общей устойчивости, что могло сказаться на результатах экспериментов;

- в приведенных экспериментах не рассмотрены следующие важные вопросы: 1. определение изгибной жесткости в плоскостях, расположения раскосного усиления; 2. определение крутильной жесткости стержней-оболочек открытого профиля с двумя осями симметрии с раскосным усилением в двух плоскостях, а также с раскосным усилением, расположенным на части длины стержня-оболочки; 3. влияние на дополнительную крутильную и изгибную жесткость расчетных схем, видов нагрузки и мест приложения нагрузки.

Степень влияния раскосного усиления на изгибную жесткость открытых профилей можно проиллюстрировать, рассмотрев стержень-оболочку с раскосным усилением в виде двух расчетных схем: континуальной (стенки) и дискретной (пояса и раскосы). Указанные расчетные схемы приведены на рис. 3.

При таком рассмотрении изгибная жесткость обеспечивается суммой: изгибной жесткости стенки, изгибной жесткости поясов (полок) и раскосного усиления. Прогиб дискретной конструкции можно представить в виде:

$$f = f_n + f_p = \frac{l_n}{EA_n} \sum N_{lni} \cdot N_{fni} + \frac{l_p}{E \cdot A_p} \sum N_{lpi} \cdot N_{fpi}, \quad (5)$$

где f_n и f_p - соответственно, прогиб, обусловленный поясами (полками) и раскосным усилением;

l_n и A_p - длина и площадь сечения стержней пояса;

l_p и A_p - длина и площадь сечения раскосов;

N_{ln} и N_{lp} - соответственно, усилия от единичной нагрузки в поясе и раскосе;

N_{fn} и N_{fp} - соответственно, усилие от узловой нагрузки в поясе и раскосе.

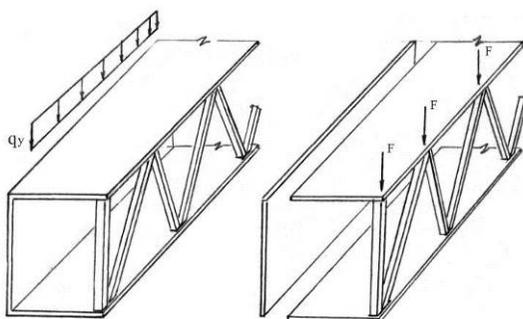


Рис. 3. Расчётные схемы стержня-оболочки, усиленного раскосами

Формула (5) получена с учетом того, что площадь сечения и длина поясных стержней, а также площадь сечения и длина раскосов не изменяются в пределах пролета стержня-оболочки (данные предположения соответствуют реальным условиям усиления стержней-оболочек с помощью раскосов).

Учитывая линейно-обратную зависимость между перемещениями и изгибной жесткостью, можно заключить, что чем меньше значение второго слагаемого, тем больше влияние раскосного усиления на изгибную жесткость стержня-оболочки. Также из анализа формулы (5) следует: влияние раскосной решетки (второго слагаемого) обусловлено степенью влияния поперечной силы, поясов (первого слагаемого) степенью влияния изгибающих моментов. Таким образом изгибная жесткость, обусловленная раскосным усилением, зависит от вида нагрузки, схемы расположения этой нагрузки, а также от расчетной схемы стержня-оболочки. Кроме того, изгибная жесткость стержня-оболочки с раскосным усилением зависит, как это было показано другими исследователями, от сечений раскосов и от угла наклона раскосов к оси стержня-оболочки.

Исходя из численного примера ($l=6\text{м}$; $h=400\text{мм}$; $\varphi = 45^\circ$, нагрузка равномерно-распределенная, опорные узлы - шарнирные, раскосное усиление расположено в одной плоскости, соотношение $A_{\text{п}}/A_{\text{р}}=2,5$) влияние раскосного усиления на изгибную жесткость составляет около 25%. При расположении раскосного усиления в двух плоскостях его влияние заметно возрастает.

С помощью П.К. «Лиры» была исследована изгибная и крутильная жесткость двутавра при расположении раскосного усиления в двух плоскостях (см. рис.4).

Сечение двутавра: пояса - 380 x 20 мм, стенки 1160 x 10мм. Раскосы из уголка 70 x 8мм. Расчетная схема - консоль с вылетом 6м.

Двутавр загружался сосредоточенной нагрузкой (для определения влияния раскосного усиления на изгибную жесткость) и концевым крутящим моментом (для определения влияния раскосного усиления на крутильную жесткость). Получены следующие результаты: изгибная жесткость увеличилась в среднем в пять раз, а крутильная жесткость в восемьдесят раз [3,4] . Также из результатов виртуальных исследований следует: при стесненном кручении усилия в раскосах по длине стержня-оболочки не являются одинаковыми даже при загрузке одной силовой функцией, а именно, крутящим моментом. Это является свидетельством того, что крутильная жесткость по длине стержня также будет не одинаковой.

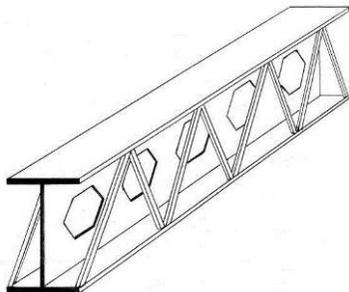


Рис. 4. Двутавровый стержень с раскосным усилением, расположенным в двух плоскостях

Выводы: как показали предварительные исследования, раскосное усиление существенно увеличивает крутильную жесткость и изгибную жесткость в плоскости раскосного усиления. Увеличение крутильной жесткости может в значительной степени исключить изгибно-крутильную форму потери устойчивости изгибаемых и сжатых металлических конструкций. Увеличение изгибной жесткости с помощью раскосного усиления оказывается значительно эффективнее, чем усиление за счет увеличения площади поясов или стенки открытых профилей. Если металл, затраченный на раскосное усиление, использовать для увеличения изгибной жесткости

традиционным способом, то изгибная жесткость увеличится только на 10 ...15%.

Для широкого внедрения раскосного усиления следует, помимо теоретических исследований провести обширные экспериментальные исследования. При этом, учитывая значительные несовпадения имеющихся результатов даже в узких областях исследований, экспериментальные исследования следует провести на образцах, соизмеримых с реальными конструктивными формами и при более разнообразных видах нагрузок и схем нагружений, а также при различных расчетных схемах. Целью этих исследований должно стать не только определение геометрических характеристик стержней открытого профиля усиленных раскосами при различных нагрузочных и конструктивных параметрах, но и влияние раскосного усиления на напряженно-деформированное состояние этих стержней, включая местную устойчивость поясов и стенок и общую устойчивость всего стержня-оболочки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бычков Д.В. Строительная механика стержневых тонкостенных конструкций. М.: Гос. из-ство лит-ры по строительству, архитектуре и строительным материалам., 1962. - 475 с.
2. Власов. В.З. Тонкостенные упругие стержни. - М.: Гос. из-во физикоматематической литературы, 1959.-568с.
3. Давыдов Е.Ю. Балки, усиленные раскосами.// БНТУ, Материалы научно-технической конференции. Минск. 2013. С.224.
4. Давыдов Е.Ю. Ильющик В.В., Шкловский Д.А. К усилению открытых профилей раскосной решеткой// Материалы научно-технической конференции «Здания и сооружения из легких металлических конструкций.» Минск.2014. С. 39-40.
5. Длугач М.И. О расчете тонкостенных стержней, усиленных решеткой или планками.// расчет пространственных конструкций: Сб. статей. - Из-ство Министерства строительства предприятий машиностроения. М. 1950. С.163-174.
6. Длугач М.И. Экспериментальные исследования устойчивости тонкостенных стержней, усиленных решеткой или планками // Институт строительной механики АН УССР: Сб. трудов N17. Киев. 1962. С.36-46.

7. Соболевский Г.П. Тонкостенные стержни открытого профиля, усиленные бимоментными связями. Диссертация на соискание ученой степени д.т.н. Тула. 1968.

УДК 693.22

ПРЕДЕЛЬНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ПРОЧНОСТИ КАМЕННОЙ КЛАДКИ ПРИ СДВИГЕ В НАЦИОНАЛЬНОМ ПРИЛОЖЕНИИ К ЕВРОКОДУ 6

ДЕМЧУК И.Е.

Филиал РУП «Институт БелНИИС» - Научно-технический центр
Брест, Беларусь

Введение

Прочность при сдвиге каменной кладки в значительной степени влияет на трещиностойкость, несущую способность и долговечность каменных конструкций. Данный параметр играет важную роль в каменной кладке, работающей на осевое растяжение, срез и изгиб. В таких условиях работает стеновое заполнение каркасов при перекосе, стены-диафрагмы жесткости, стены и перегородки, опирающиеся на гибкие диски перекрытий, и т.д.

В соответствии со СНиП II-22-81 [4], предел прочности каменной кладки по неперевязанному сечению определяется по закону Кулона-Мора и ассоциируется только со сдвигом кладки в плоскости горизонтальных растворных швов. Расчет неармированной кладки на срез по неперевязанным швам производится по формуле (1).

$$Q \leq (R_{sq} + 0.8 \cdot n \cdot \mu \cdot \sigma_0) \cdot A \quad (1)$$

где: μ - коэффициент трения по шву кладки, принимаемый для кладки из кирпича и камней правильной формы равным 0.7;

σ_0 - средние напряжения сжатия;

n - коэффициент, принимаемый равным 1.0 для кладки из полнотелого кирпича и камней и равным 0.5 для кладки из пустотелого кирпича и камней с вертикальными пустотами;

A - расчетная площадь сечения.