

Недодовеев Владимир Яковлевич

АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ТОНКОСТЕННЫХ БАЛОК, УКРЕПЛЕННЫХ КАРКАСОМ, В УСЛОВИЯХ ПОТЕРИ МЕСТНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ЛИСТОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

В статье рассмотрены вопросы расчета тонкостенных балок, укрепленных каркасными элементами, за пределами местной устойчивости стенок, которые воспринимают нормальные и касательные напряжения. Учтены расчетные условия потери несущей способности конструкций и предложен алгоритм приближенного расчета параметров сечений листовых и каркасных элементов балки, позволяющий использовать его в задачах оптимизации.

Адрес статьи: www.gramota.net/materials/1/2014/4/29.html

Статья опубликована в авторской редакции и отражает точку зрения автора(ов) по рассматриваемому вопросу.

Источник

Альманах современной науки и образования

Тамбов: Грамота, 2014. № 4 (83). С. 108-110. ISSN 1993-5552.

Адрес журнала: www.gramota.net/editions/1.html

Содержание данного номера журнала: www.gramota.net/materials/1/2014/4/

© Издательство "Грамота"

Информация о возможности публикации статей в журнале размещена на Интернет сайте издательства: www.gramota.net

Вопросы, связанные с публикациями научных материалов, редакция просит направлять на адрес: almanac@gramota.net

УДК 621.81

Технические науки

В статье рассмотрены вопросы расчета тонкостенных балок, укрепленных каркасными элементами, за пределами местной устойчивости стенок, которые воспринимают нормальные и касательные напряжения. Учтены расчетные условия потери несущей способности конструкций и предложен алгоритм приближенного расчета параметров сечений листовых и каркасных элементов балки, позволяющий использовать его в задачах оптимизации.

Ключевые слова и фразы: расчет; каркас; устойчивость; балка; нагрузка; сечение; параметр.

Недоводеев Владимир Яковлевич, к.т.н., доцент

Ульяновский государственный технический университет
idyakov@mail.ru

АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ТОНКОСТЕННЫХ БАЛОК, УКРЕПЛЕННЫХ КАРКАСОМ, В УСЛОВИЯХ ПОТЕРИ МЕСТНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ЛИСТОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ[©]

В работе [3] рассмотрен вопрос о работоспособности балочной конструкции при чистом изгибе за пределами местной устойчивости стенок. Такие условия работы балки, воспринимающей поперечную нагрузку, характерны для ее отсеков, находящихся в средней части пролета, где касательные напряжения близки к нулю (Рис. 1, а).

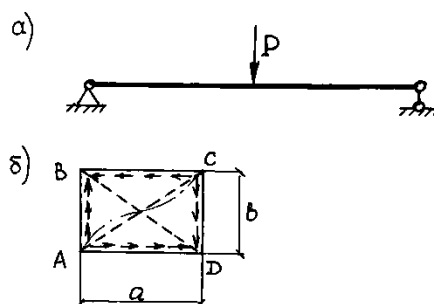


Рис. 1. Схема нагружения балки

Для опорных отсеков, где определяющими силовыми факторами являются поперечные силы, стенка между поясами и двумя поперечными ребрами жесткости (или диафрагмами), поставленными на всю её высоту, рассматривается в условиях равномерного сдвига (Рис. 1, б). В направлении диагонали AC пластинка сжимается, в направлении BD – растягивается. Сжимающие усилия при достижении критических значений приводят к выпучиванию ее из плоскости. Критические значения касательных напряжений $\tau_{кр}$ зависят от материала и соотношения размеров a и b пластинки, а также ее толщины δ . Касательные напряжения τ определяются как средние в сечении

$$\tau = Q / (\delta \cdot b),$$

где Q – среднее значение поперечной силы в пределах отсека.

Рассмотрим работу отсека при укреплении его дополнительным ребром жесткости, расположенным либо по диагонали AC, либо по диагонали BD. В этом случае поперечная нагрузка будет восприниматься стенкой и каркасом, образованным дополнительным ребром (раскосом) и поясами балки совместно с поперечными ребрами жесткости.

Расчетным условием потери несущей способности в рассматриваемом случае обычно считается условие, когда максимальные касательные напряжения в стенке $\tau > \tau_{кр}$, даже если при этом $\tau < [\tau]$ ($[\tau]$ – допускаемые напряжения на сдвиг). Однако балка не потеряет свою несущую способность в целом при наличии дополнительного диагонального ребра, которое примет на себя поперечную нагрузку при потере местной устойчивости стенки. Если поперечную нагрузку Q приближенно представить как совокупность нагрузок Q_1 , при нагружении которой еще соблюдается условие местной устойчивости стенки, и Q_2 , при дальнейшем нагружении которой это условие уже не выполняется, то несущая способность отсека может приближенно определяться условиями:

$$Q / (\delta b) \leq \tau_{кр} \text{ при } Q \leq Q_1 = \delta \cdot b \cdot \tau_{кр};$$

$$\frac{Q - \delta \cdot b \cdot \tau_{кр}}{\phi \cdot F_k \cdot \cos \alpha} \leq [\sigma] \text{ при } Q > Q_1 = \delta \cdot b \cdot \tau_{кр},$$

где $[\sigma]$ – допускаемое напряжение; F_k – площадь сечения диагонального ребра; α – угол между диагональным и вертикальным ребрами; ϕ – коэффициент снижения допускаемого напряжения для диагонального ребра в случае его работы на сжатие (при его растяжении принимается равным 1).

Характерной особенностью нагружения тонкостенных балок, укрепленных ферменным или арочным каркасом [2], является возможность работы за пределами местной устойчивости листовых элементов, когда поперечная нагрузка воспринимается только геометрически неизменным каркасом, образуемым раскосами или арочными элементами совместно с поясами балки, которые работают на растяжение или сжатие. Поперечные сечения каркасных элементов могут быть разной формы (Рис. 2), поэтому при их работе на сжатие возможна потеря устойчивости каркасного элемента, теоретически работающего по схеме сжатого стержня с учетом того, что листовым элементом, к которому крепится каркас, местную устойчивость потерял и в работе не участвует.

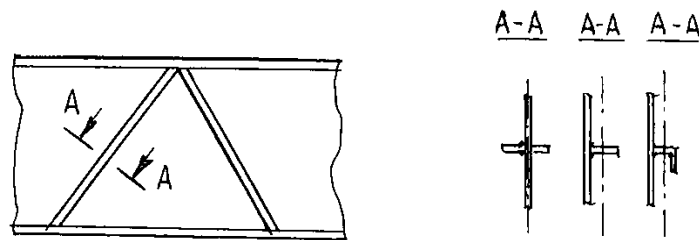


Рис. 2. Примеры поперечных сечений элементов каркаса

Принимая для каркасного элемента известную схему работы центрально-сжатого стержня (Рис. 3), получим условие прочности для такого стержня в виде $\sigma \leq \phi[\sigma]$, где σ и $[\sigma]$ – расчетные и допускаемые напряжения; ϕ – коэффициент снижения допускаемого напряжения, зависящий от гибкости стержня $\lambda = l_k / i$. Здесь l_k – расчетная длина каркасного стержня; i – радиус инерции сечения стержня, равный $i = \sqrt{J_{\min} / F_k}$, где J_{\min} – наименьший момент инерции сечения стержня, имеющего площадь сечения F_k .

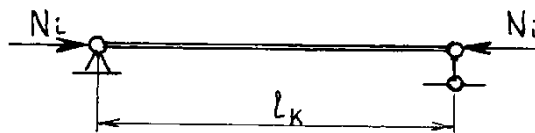


Рис. 3. Расчетная схема нагружения элемента каркаса

Считая невозможной потерю устойчивости раскосов в плоскости листового элемента, к которому они присоединены, величину J_{\min} следует определять относительно оси, совпадающей или параллельной плоскости листового элемента, например, для одного из сечений раскоса на Рис. 2 $J_{\min} = 2\delta_k h_k^3 / 3$ и $i = h_k / \sqrt{3}$, где h_k – высота каркасного ребра.

Анализ представленных формул показывает, что конструкция легко может трансформироваться как в типовую балку без каркасных элементов, так и в типовую ферму при $\delta = 0$, где всю нагрузку несет каркас. В то же время можно получить некую комбинированную конструкцию, которая до определенного нагружения работает как балка, а далее – как ферма. Условия работы конструкции зависят от толщины стенки δ , соотношений размеров пластинки b/a (Рис. 1, б) и параметров сечений элементов каркаса.

Таким образом, в тонкостенных балках толщины стенок листовых элементов можно назначать из технологических и конструктивных соображений, компенсируя их недостаточную несущую способность (местную устойчивость) установкой раскосного или арочного каркаса, что позволяет уменьшить металлоемкость всей конструкции в целом. При этом точный расчет таких конструкций значительно усложняется.

Далее предлагается алгоритм приближенного расчета, позволяющий его упростить, обеспечивая последовательность действий по определению параметров сечения балки. Рассмотрим последовательность расчета балки коробчатого сечения высотой $H = b$ и шириной B , алгоритм которого включает следующие основные операции:

1. Задаются высота H и ширина B сечения балки с учетом конструктивных и технологических соображений. Например, при заданном пролетном строении L эти параметры могут определяться из принятых в практике проектирования соотношений H/L и H/B .

2. Задается толщина вертикальных стенок, исходя из технологических соображений (условий сборки и сварки конструкции), и определяются максимальные напряжения сжатия σ_{c1} в стенках изогнутой балки при условии потери местной устойчивости, когда $\sigma_{c1} = \sigma_{кр}$, где критические напряжения потери местной устойчивости достигают величины [1] $\sigma_{кр} = A \left(\frac{\delta}{b} \right)^2$.

Здесь A – коэффициент, зависящий от материала стенок и характера распределения напряжений в них.

3. Определяются площадь сечения F_n растянутого пояса и его толщина из условия прочности [2] $\sigma_{p1} + \sigma_{p2} = [\sigma]$, где σ_{p1} и σ_{p2} – максимальные напряжения в стенке до и после потери ею местной устойчивости, которые определяются из условия ее работы по приближенной схеме [3], когда изгибающий момент M в сечении представлен в виде двух составляющих – M_1 и M_2 . В этом случае

$$F_n = \frac{M}{[\sigma]h} - \frac{\delta h}{3} \left(2 - \frac{\sigma_{кр}}{[\sigma]} \right).$$

4. В отсеках, воспринимающих преимущественный изгиб, определяется площадь сечения сжатого пояса ($F_n + F_k$), включающего площадь каркасного элемента F_k , работающего на сжатие из условия прочности при изгибе [Там же] $\sigma_{c1} + \sigma_{c2} / \phi \approx [\sigma]$, где σ_{c1} и σ_{c2} – максимальные напряжения в сжатой зоне от моментов M_1 и M_2 . Из условия равновесия сечения с учетом условия прочности, принимая приближенно $\sigma_{p1} \approx \sigma_{c1} \approx \sigma_{кр}$, получим площадь

$$(F_n + F_k) = F_n \frac{1 + \frac{\delta h}{F_n} \left(1 - \frac{\sigma_{c1}}{[\sigma]} \right)}{\left(1 + \frac{\sigma_{c1}}{[\sigma]} \right) \phi + \frac{\sigma_{c1}}{[\sigma]}}.$$

5. В отсеках, воспринимающих преимущественно касательные напряжения, определяются параметры сечения раскосов, как указано выше.

6. Производятся проверочные расчеты на прочность в отсеках, воспринимающих и нормальные, и касательные напряжения.

Алгоритм позволяет производить вариации размеров сечения B и H , получая конкретные значения всех параметров.

В качестве примера был произведен расчет мостовой балки двухбалочного мостового крана пролетом $L = 22,5$ м грузоподъемностью 20 т [2]. При габаритах поперечного сечения, указанных в работе [Там же], задавая толщину стенок $\delta = 5$ мм, можно обеспечить еще большее, чем указано в работе [Там же], снижение веса кранового моста (до 1,0 т), при этом сечение превращается в несимметричное, с более мощным верхним поясом, укрепленным каркасными элементами.

Подбор параметров конструкции в целом должен проводиться в итерационном режиме, когда изначально задаются как основные параметры сечения балки, так и параметры каркасных элементов, которые уточняются в процессе каждой последующей итерации. Обычно достаточно одной-двух итераций.

Список литературы

1. **Вершинский А. В., Гохберг М. М. и др.** Строительная механика и металлические конструкции / под общ. ред. М. М. Гохберга. Л.: Машиностроение, 1984.
2. **Недоводеев В. Я.** К вопросу о влиянии дополнительного каркаса на металлоемкость крановых мостов сплошного сечения // Сборник трудов международной НТК «Современные проблемы проектирования и эксплуатации транспортных и технологических систем». СПб.: Изд-во политехнического ун-та, 2006. С. 113-115.
3. **Недоводеев В. Я.** Работа тонкостенного стержня в условиях чистого изгиба при потере местной устойчивости стенок // Альманах современной науки и образования. Тамбов: Грамота, 2012. № 2 (57). С. 45-46.

ALGORITHM FOR CALCULATING THIN-WALLED BEAMS REINFORCED WITH CARCASS IN TERMS OF LOSING LOCAL STABILITY OF LEAF ELEMENTS

Nedovodeev Vladimir Yakovlevich, Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor
Ulyanovsk State Technical University
idyakov@mail.ru

The article discusses the issues of calculating thin-walled beams, reinforced with carcass elements, outside the local stability of walls, which perceive normal and shearing stresses. The design conditions of the constructions carrying capacity loss are considered and the algorithm for the approximate calculation of the cross-sections parameters of leaf and carcass beam elements is proposed that allows its use in the tasks of optimization.

Key words and phrases: calculation; carcass; stability; beam; load; cross-section; parameter.