

DOI: <https://doi.org/10.18454/mca.2017.07.11>

Беляева С.Ю.¹, Кузнецов Д.Н.², Ковылина И.А.³

¹Кандидат технических наук, доцент, ²старший преподаватель, ³магистрант,
Воронежский государственный технический университет

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДИК ПРОВЕРКИ МЕСТНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ СТЕНКИ СТАЛЬНОЙ РАМЫ ДВУТАВРОВОГО ПЕРЕМЕННОГО ПО ВЫСОТЕ СЕЧЕНИЯ НА ЧАСТНОМ ПРИМЕРЕ

Аннотация

Изучены вопросы проверки местной устойчивости стенки рамы двутаврового переменного по высоте сечения при рассмотрении частного примера.

Ключевые слова: стальная рама, рама переменного сечения, проверка местной устойчивости, двутавровое переменное по высоте сечение, местная устойчивость стенки.

Belyeva S.Y.¹, Kuznetsov D.N.², Kovilina I.A.³

¹ PhD in Engineering, Associate Professor, ²Senior Lecturer, ³Graduate Student,
Voronezh State Technical University

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE METHODS OF VERIFICATION OF LOCAL STABILITY OF A STEEL FRAME OF AN I-SHARPED VARIABLE BY THE HEIGHT SECTION ON A PRIVATE EXAMPLE

Abstract

The problems of checking the local stability of the wall of an I-sharped variable by the height frame section are examined in the case of a particular example.

Keywords: steel frame, variable cross-section frame, local stability check, I-shaped variable cross-sectional height, local wall stability.

Email авторов / Author email: svetboy@yandex.ru, kuznecov82@bk.ru, Irina.Kovyлина@bk.ru

Одним из основных видов поперечного сечения элементов несущих конструкций является двутавр. Необходимо отметить, что значения величин силовых факторов по длине элемента не одинаковы (для большинства элементов). Экономически более рациональным, по отношению к постоянным сечениям, является конструктивное решение распределения материала по сечению с учётом изменения силовых факторов по длине несущих элементов конструкций. Стальные рамы из двутаврового переменного по высоте сечения являются одним из наиболее широко применяемых конструктивных решений каркаса. Обычно, изменение сечения происходит за счёт изменения высоты стенки двутаврового сечения. Данное обстоятельство делает необходимым использование стенки маленькой толщины: 6мм, 8мм. При не больших высотах местная устойчивость стенки обеспечена. Но при большой высоте стенки, изучение вопросов местной устойчивости становится крайне важной задачей. Актуальности изучению вопросов местной устойчивости стенки стальной рамы двутаврового переменного сечения добавляет отсутствие отдельной от стенок двутавров постоянного сечения методики проверки в нормах [2]. К тому же, рамы переменного сечения очень чувствительны к асимметричному приложению нагрузки и к ошибкам сборки и монтажа, что подтверждает исследование выполненное в работе [8].

Для рассмотрения методик проверки местной устойчивости стенки выбрана рама изготовленная по проекту физкультурно-оздоровительного комплекса, расположенного в Белгородской области п. Чернянка ул. Первомайская. Размер в плане 30х50 м, уклон кровли 12°, основные несущие конструкции спортивного комплекса – стальные рамы переменного сечения пролётом 30 м, выполненные из сварных двутавров. Отметка низа стоек рам -0,250 м, отметка верха конька +15,400 м (рис. 1). Шаг рам 8,5 метра. Нагрузка на рамы передаётся сосредоточенно, через прогоны. Прогоны выполнены в виде двутавров I35Б1 и расположены с шагом 3 метра.

Для нахождения напряжений действующих в различных отсеках стенки рамы был произведён статический расчёт в программном комплексе ПК Лира 9.6 на различные сочетания постоянной и временных нагрузок. Причём, снеговая нагрузка прикладывалась в пяти вариантах [1]:

- 1) Равномерно распределенная по всему пролету [1, Г.1];
- 2) Равномерно-распределенная на правой половине пролета;
- 3) Равномерно-распределенная на левой половине пролета;
- 4) Неравномерно – распределенная, с перепадом нагрузки на правой половине пролета [1, Г.1];
- 5) Неравномерно – распределенная, с перепадом нагрузки на левой половине пролета [1, Г.1].

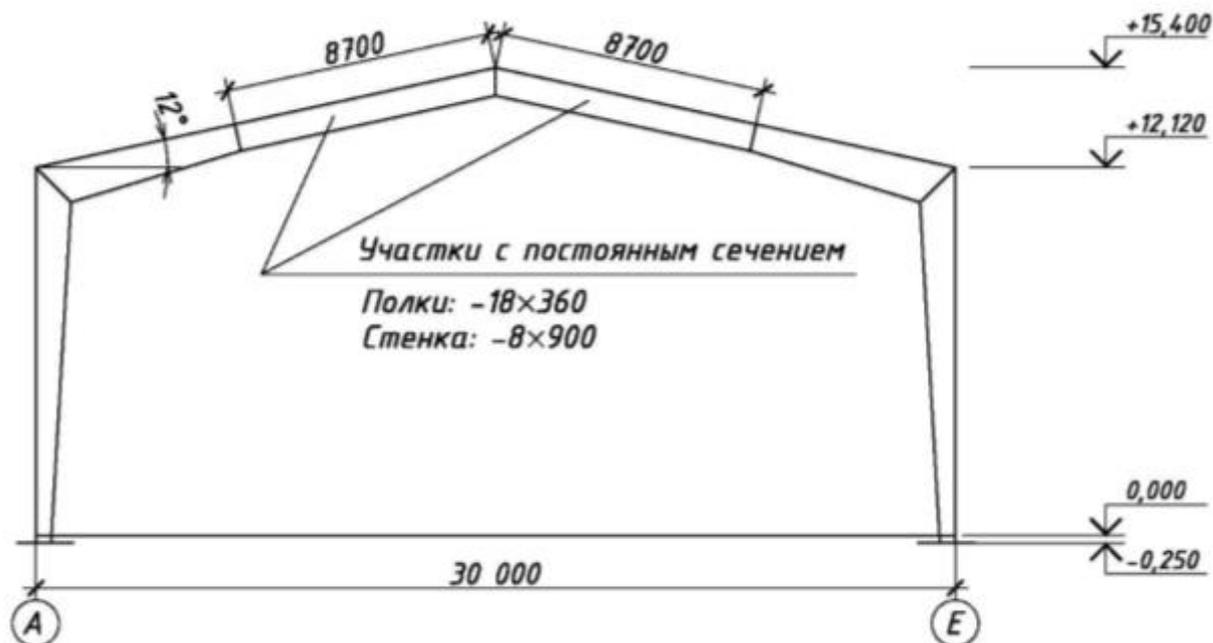


Рис. 1 - Общий вид исследуемой рамы

Расчёт выполнен в двух вариантах расчётных схем. В первом варианте расчетной модели рамы переменного сечения принята стержневая схема, заданная по оси симметрии рамы, с разбиением стойки переменного сечения на элементы постоянной жесткости с шагом 0,5 м по высоте и участка ригеля переменного сечения - с шагом 0,5 м по длине. При этом, высота сечения каждого элемента является средним значением высоты на соответствующем участке элемента. Для второго варианта расчётной схемы принята пластинчатая модель. Расчёт рамы переменного сечения, состоящей из пластинчатых элементов, выполнен в пятом признаке схемы на статические нагрузки с выбором расчётных сочетаний нагрузок. В расчётной схеме использовался 44 тип конечного элемента - универсальный четырехугольный КЭ оболочки, тип 41 - универсальный прямоугольный КЭ оболочки, тип 42 - универсальный треугольный КЭ оболочки (рис. 2).



Рис. 2 - Схема пластинчатой модели

На основании результатов расчёта выполним проверку местной устойчивости стенки стойки и ригеля рамы переменного сечения. Стенка имеет переменную высоту и разбита на отсеки рёбрами жёсткости, толщина стенки 8мм. Причём разные элементы рамы переменного сечения могут относиться, в зависимости от значения приведённого относительного эксцентриситета, как к изгибаемым элементам при $m_{ef} > 20$, так и к сжато-изгибаемым при значениях $m_{ef} \leq 20$. Так как сечения ригеля и стойки по длине меняются, однозначно, отнести данные элементы к изгибаемым или сжато-изгибаемым не всегда возможно. Скорее элементы рамы переменного сечения занимают промежуточное положение, как уже указывалось в ряде источников описывающих расчётные положения конструкций такого типа [6].

Но даже если элемент точно можно будет отнести к изгибаемому или сжато-изогнутому остаётся много вопросов в расчёте стенки рамы переменного сечения на местную устойчивость.

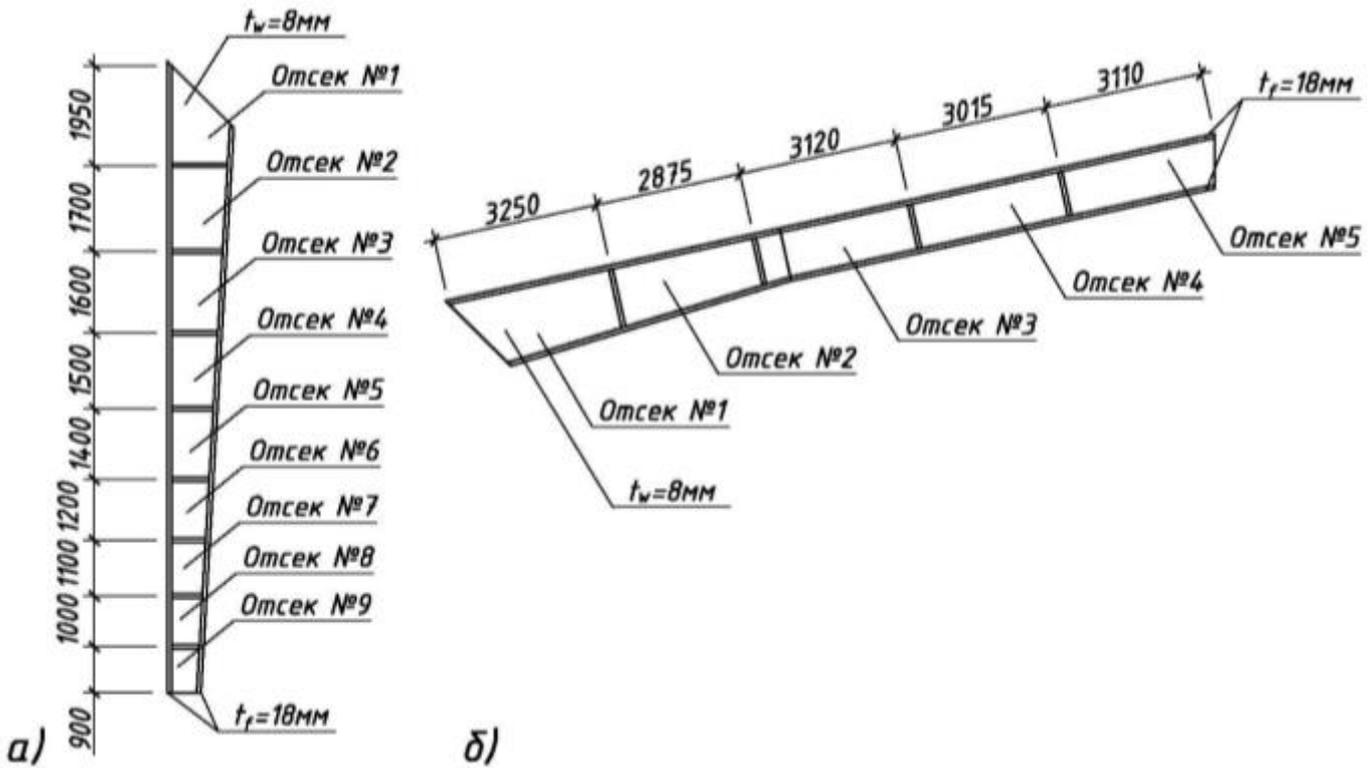


Рис. 3 - Схема к проверке местной устойчивости стенки:
а)-стойки; б)-ригеля

Дело в том, что нормативная методика проверки, изначально предполагала ряд допущений справедливых для прямоугольных пластин, но не отвечающих особенностям стенки рамы переменного сечения. Для рамы рассмотренной в данной работе главные отличия заключаются в том, что стенка по своей геометрии приближается к очертанию трапеции, а нормальные и касательные напряжения в стенке распределены неравномерно, что связано с изменением размеров элемента. Для учёта описанных отличий была использована методика коэффициентов А.Г. Новинькова [7]. В данной методике критические напряжения в стенке переменной высоты определяются через критические напряжения прямоугольной пластины, рассчитанные в соответствии с нормами [2] с последующей корректировкой путем введения ряда коэффициентов, учитывающих переменность сечения, изменение усилий по длине и т.д. Результаты расчётов проверки местной устойчивости стенки представлены в табличном виде (Таблица 1).

Таблица 1 – Описание результатов расчётов

№ отсека (рис. 3)	Вычисленные напряжения в отсеках (численные методы), кН/см ²				Критические напряжения в отсеках (аналитические методы), кН/см ²				Проверка по СП [2]	Проверка по методике А.Г. Новинькова
	Стержневая модель		Пластинчатая модель		Методика А.Г. Новинькова		Методика СП [2]			
	σ	τ	σ	τ	σ_{cr}	τ_{cr}	σ_{cr}	τ_{cr}		
Стойка рамы переменного сечения (рис. 3а)										
1	-18,49	-1,63	-19,23	+3,70	+19,84	+7,38	-	-	-	1,09
2	-17,95	-1,71	-20,10	+2,70	+21,84	+8,65	-	-	-	0,97
3	-17,31	-1,91	-18,00	+3,10	+24,75	+9,69	-	-	-	0,79
4	-16,44	-2,18	-14,50	+3,40	+27,54	+12,17	-	-	-	0,60
5	-15,35	-2,47	-10,40	+4,30	+30,77	+14,89	-	-	-	0,44
6	-12,49	-2,8	-5,80	+5,30	+33,31	+19,03	-	-	-	0,33
7	-10,80	-3,15	-5,40	-6,50	+36,63	+23,51	-	-	-	0,31
8	-8,72	-3,55	-4,36	+8,10	+39,23	+29,05	-	-	-	0,30
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Окончание табл. 1 - Описание результатов расчётов

Ригель рамы переменного сечения (рис. 3б)										
1	-17,41	+4,86	-18,80	+9,40	+27,52	+7,88	+37,08	+8,05	1,27	1,37
2	-10,41	+4,12	-9,86	+4,98	+27,26	+9,74	+46,49	+10,10	0,54	0,63
3	-7,61	+2,49	-8,68	+4,30	+23,63	+11,69	+55,19	+11,60	0,40	0,52
4	-13,58	+1,07	-11,30	+3,10	+41,73	+16,22	+55,94	+11,93	0,33	0,33
5	+13,62	-0,36	-14,80	-3,01	+48,58	+7,68	+55,94	+11,93	0,37	0,50

На основании полученных результатов можно произвести сравнительный анализ методик проверки местной устойчивости стенки применительно к частному примеру рассмотренному в данной работе.

Заключение

В рассмотренной рамной конструкции в отсеке №1 и для ригеля и для стойки (рис. 3) требуется постановка продольных рёбер жёсткости, так как условие проверки по обоим методикам не выполнено.

В данном примере, методика коэффициентов предложенная А.Г. Новиньковым показала меньшие значения критических напряжений, в сравнении с методикой приведённой в нормах. Это означает, что могут быть выявлены элементы в которых по действующим нормам местная устойчивость стенки будет обеспечена, а по методике А.Г. Новинькова условие проверки местной устойчивости будет не выполнено.

Значения напряжений, полученные для стержневой расчётной схемы, имеют приемлемую для инженерных расчётов сходимость со значениями напряжений для пластинчатой расчётной модели.

Пластинчатая расчётная модель позволяет определить локализацию мест концентрации напряжений в стенке, а значит имеет большое значение при конструировании. Особенно при постановке рёбер жёсткости.

Возможность работы элементов рамы переменного сечения как изгибаемых и как сжато-изогнутых делает довольно деликатной задачу по выбору типа элемента рамы переменного сечения при расчётах.

Требуется большая определённости в методике проверки местной устойчивости стенки, да и в целом, в методике расчётов на прочность и устойчивость элементов рам переменного сечения.

Производить расчёт и конструирование рам переменного сечения используя современную нормативную базу нужно принимая во внимание рекомендации в источниках научного характера. Что не всегда удобно для инженерной практики.

Список литературы / References

1. Свод правил: СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*. - Москва: Минстрой России, 2016 – 80 с.
2. Свод правил: СП 16.13330.2011. Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81*. - Москва: Минрегион России, 2012 – 172 с.
3. Свод правил: СП 70.13330.2012. Несущие и ограждающие конструкции. Актуализированная редакция СНиП 3.03.01-87. - Москва: Минрегион России, 2012 – 161 с.
4. ГОСТ Р 54257-2010. Надёжность строительных конструкций и оснований. Основные положения и требования. – Введ. 2011-09-01. – М.: Стандартиформ, 2011 – 14 с.
5. ГОСТ 23118-2012. Конструкции стальные строительные. Общие технические условия. – Введ. 2013-01-01. – М.: Стандартиформ, 2013 – 37 с.
6. Катюшин В.В. Здания с каркасами из стальных рам переменного сечения (расчет, проектирование, строительство). – М.: ОАО «Издательство «Стройиздат», 2005. – 656с.: ил.
7. Новиньков А.Г. Устойчивость стенки в элементах рамных конструкций переменного по высоте двутаврового сечения. / Новиньков А.Г., Себешев В.Г. // Известия ВУЗов. Строительство и архитектура. 1990. №9. - С. 109-113.
8. Беляева С.Ю. Исследование несущей способности элементов стальной рамы переменного сечения при ошибках сборки и монтажа. / Беляева С.Ю., Кузнецов Д.Н., Ковылина И.А. // Периодический теоретический и научно-практический журнал. Современное строительство и архитектура. – Екатеринбург 2016. - №1 (01) 2016 Февраль. – С. 22-26. doi: 10.18454/mca.2016.01.5
9. Власов В.З. Тонкостенные упругие стержни. М.: Государственное Издательство Физико-Математической Литературы, 1959. – 568 с.
10. ЛИРА 9.4. Примеры расчета и проектирования. Учебное пособие. Боговис В.Е., Гензерский Ю.В., Гераймович Ю.Д., Куценко А.Н., Марченко Д.В., Медведенко Д.В., Слободян Я.Е., Титок В.П.– К.: издательство «ФАКТ», 2008. – 280 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Svod pravil: SP 20.13330.2016. Nagruzki i vozdejstviya. [Loads and impacts] Aktualizirovannaja redakcija SNiP 2.01.07-85*. - Moskva: Minstroj Rossii, 2016 – 80 p. [in Russian]
2. Svod pravil: SP 16.13330.2011. Stal'nye konstrukcii [Steel structures]. Aktualizirovannaja redakcija SNiP II-23-81*. - Moskva: Minregion Rossii, 2012 – 172 p. [in Russian]
3. Svod pravil: SP 70.13330.2012. Nesushhie i ograzhdajushhie konstrukcii [Bearing and enclosing structures]. Aktualizirovannaja redakcija SNiP 3.03.01-87. - Moskva: Minregion Rossii, 2012 – 161 p. [in Russian]
4. GOST R 54257-2010. Nadjozhnost' stroitel'nyh konstrukcij i osnovanij. Osnovnyye polozhenija i trebovanija [Reliability of building structures and foundations. Basic provisions and requirements]. – Vved. 2011-09-01. – М.: Standartinform, 2011 – 14 p. [in Russian]

5. GOST 23118-2012. Konstrukcii stal'nye stroitel'nye. Obshhie tehicheskie uslovija [Steel construction constructions. General specifications]. – Vved. 2013-01-01. – M.: Standartinform, 2013 – 37 p. [in Russian]
 6. Katjushin V.V. Zdanija s karkasami iz stal'nyh ram peremennogo sechenija (raschet, proektirovanie, stroitel'stvo) [Buildings with frameworks of steel frames of variable section (calculation, design, construction)]. – M.: OAO «Izdatel'stvo «Strojizdat», 2005 . – 656 p.: il. [in Russian]
 7. Novin'kov A.G. Ustojchivost' stenki v jelementah ramnyh konstrukcij peremennogo po vysote dvutavrovogo sechenija [Stability of the wall in the elements of frame constructions of a variable I-height cross-section]. / Novin'kov A.G., Sebeshev V.G. // Izvestija VUZov. Stroitel'stvo i arhitektura [News of universities. Construction and architecture]. 1990. №9. - P. 109-113. [in Russian]
 8. Beljaeva S.Ju. Issledovanie nesushhej sposobnosti jelementov stal'noj ramy peremennogo sechenija pri oshibkah sborki i montazha [Investigation of the bearing capacity of the elements of a steel frame of variable cross section in the case of assembly and installation errors]. / Beljaeva S.Ju., Kuznecov D.N., Kovylyna I.A. // Periodicheskiy teoreticheskiy i nauchno-prakticheskiy zhurnal. Sovremennoe stroitel'stvo i arhitektura [Periodical theoretical and scientific-practical journal. Modern construction and architecture]. – Ekaterinburg 2016. - №1 (01) 2016 Fevral'. – P. 22-26. doi: 10.18454/mca.2016.01.5 [in Russian]
 9. Vlasov V.Z. Tonkostennye uprugie sterzhni [Thin-walled elastic rods]. M.: Gosudarstvennoe Izdatel'stvo Fiziko-Matematicheskoy Literatury, 1959. – 568 p. [in Russian]
 10. LIRA 9.4. Primery rascheta i proektirovanija [Examples of calculation and design]. Uchebnoe posobie. Bogovis V.E., Genzerskiy Ju.V., Gerajmovich Ju.D., Kucenko A.N., Marchenko D.V., Medvedenko D.V., Slobodjan Ja.E., Titok V.P.– K.: izdatel'stvo «FAKT», 2008. – 280 p. [in Russian]
-
-