

Экспериментальное исследование рамно-стержневых конструкций с элементами из тонкостенных стальных профилей

Е.Е. Устименко, С.В. Скачков

Донской Государственный Технический Университет

Аннотация: Рассматриваются результаты экспериментально-теоретических исследований строительной рамы на основе тонкостенных холодногнутох профилей. В процессе исследований изучено напряженно-деформированное состояние рамы из тонкостенных профилей; проработана методика предварительного моделирования элементов конструкций с помощью МКЭ; разработана конструкция испытательного стенда и составлена программа испытаний рам из тонкостенных стальных профилей; сопоставление результатов теоретических и экспериментальных исследований; выполнение численных расчетов узлов конструкции; изучены особенности работы под нагрузкой и соответствия ее принятой расчетной схемы.

Ключевые слова: тонкостенный профиль, испытания конструкции, метод конечных элементов, испытательный стен.

В последние годы на строительном рынке, активно развивается строительство конструкций с применением тонкостенных стальных профилей [1]. Данная технология эффективно применяется в строительстве зданий различного назначения [2]. Существует множество проблем при использовании тонкостенных профилей. Большинство из них связаны с узловыми соединениями стержней, такие как: смятие кромок отверстий при использовании болтовых соединений, малая несущая способность многоболтового соединения из-за напряжений, которые возникают в районе первого болта [3], местное смятие полок при передачи сосредоточенных нагрузок от прогонов, массивные фасонные элементы, которые должны разместить на себе требуемое количество болтов и т.д [4-5]. Так же имеет не последнюю роль в прочности конструкций из тонкостенных профилей особенность работы сжатых стержней. Разрушение конструкции может наступить в результате потери общей устойчивости [6-8], а также при потере местной устойчивости [9 -10].

Модели и методы

В процессе проведения натурных испытаний рамной конструкции с элементами из тонкостенных профилей рассмотрено ряд вопросов:

- работа фрикционных болтовых соединений в элементах конструкции работающих на растяжение и сжатие;
- работа тонкостенных профилей при апробации предложенной методики предварительного анализа с помощью МКЭ;
- тензометрические измерения с учетом искажения результатов из-за искривления стенки и полок профиля.
- разработка испытательного стенда с применением современных материалов;

Проведение эксперимента

Для исследования рамы был произведен статический расчет рамы. Исходные данные: пролет рамы 12 метров, шаг 4.5, снеговой район III. Расчетная нагрузка 220кг/м². По результатам определили максимальные напряжения в стержнях и расчетные длины элементов конструкции. Максимальное усилия сжатие в карнизном раскосе составил 111кН при длине 710мм

Для эксперимента была запроектирована рама с уменьшенными размерами. Размеры конструкции составляли $l=5.1\text{м}$, $h=2.5\text{м}$. Расчетная нагрузка на узел составляет 50кН, а общая 150кН. Максимальное усилие сжатия в элементах составляет 114кН при длине 910мм., что соответствует максимальным усилиям в элементах 12 метровой рамы. Так как элементы шарнирно-стержневой системы работают на растяжение и сжатие, то работа стержней крупномасштабной и уменьшенной рамы сопоставимы.

Для эксперимента был сконструирован и построен испытательный стенд (рис. 1) с применением современных технических средств и измерительных приборов.

Основное отличие стенда заключается в том что, в качестве создания нагрузки применялись тянущие гидравлические цилиндры, а контроль величины нагрузки производился с помощью динамометра включенного в линию создания нагрузки.

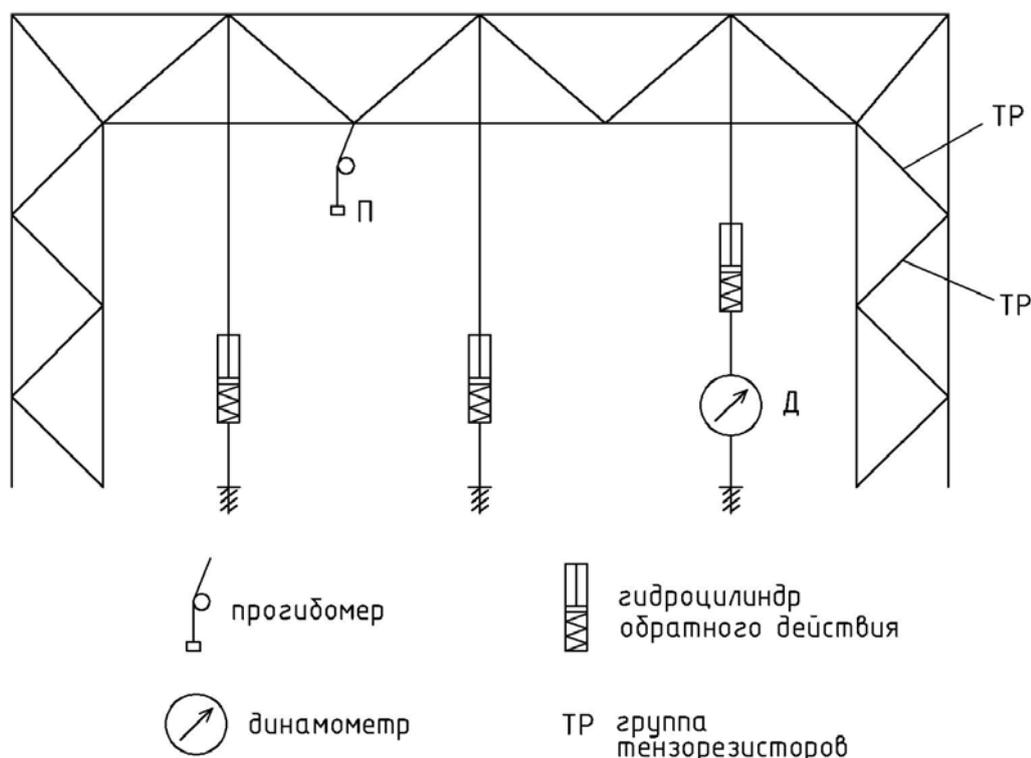


Рисунок 1. Испытательный стенд

Основные результаты в ходе проведения испытаний:

- Результаты численных исследований показали разницу величины напряжений на 10-35% в кромках отверстий фрикционных болтовых соединений для элементов конструкции, работающих на растяжение и сжатие, а также определено, концентрация усилий в районе первого болта имеют различные места и знаки (рис.2). При сравнении результатов численных и экспериментальных исследований наблюдается малая сходимость. Данная погрешность говорит о том, что на величину

напряжений в кромках имеет значение положение болта относительно зазоров в отверстии;

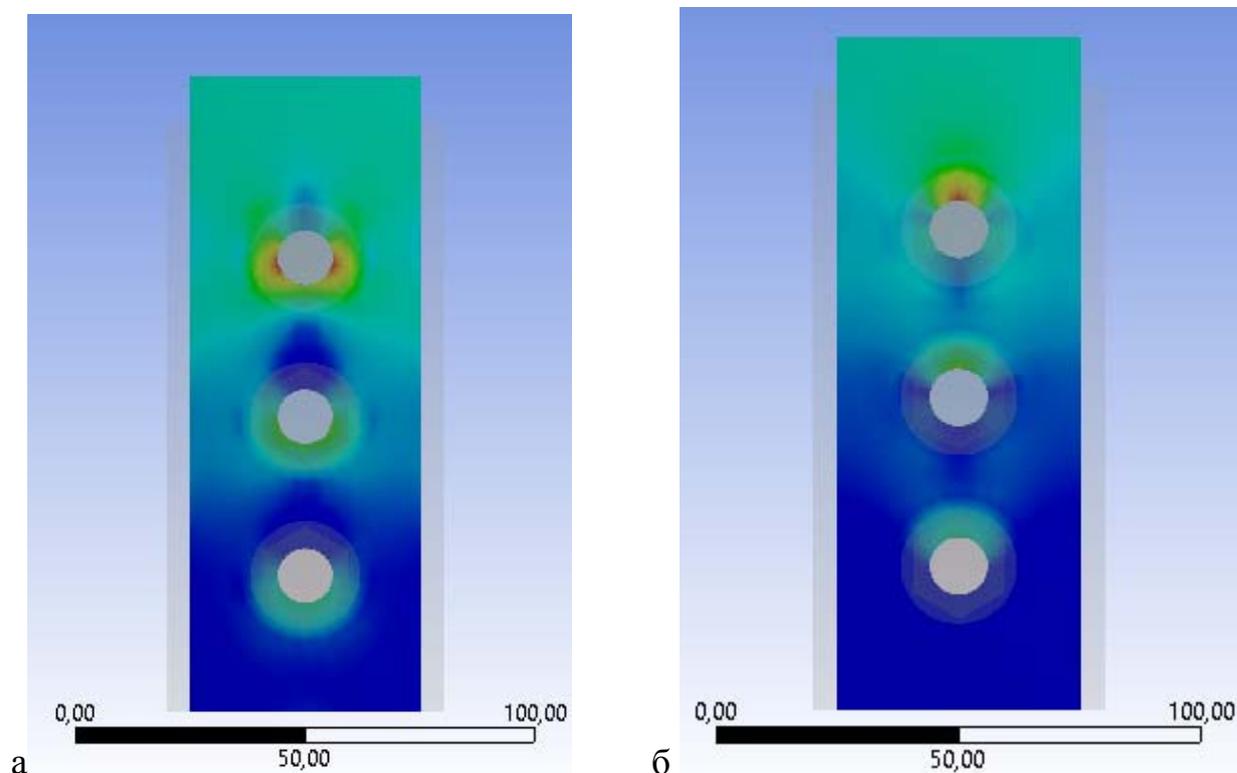


Рисунок 2. Концентрация напряжений в районе первого болта в элементах работающих: а - на растяжение, б – на сжатие.

- Для изучения работы тонкостенных профилей предложена методика предварительного анализа с помощью МКЭ. В данную методику входит построение модели работы тонкостенного элемента, на графике направления усилий выбор контрольных точек для размещения тензорезисторов (ТР), выбор схемы наклейки ТР с учетом особенности направления напряжений в районе места наклейки, корректировка численной модели с учетом особенностей схемы подключения ТР, сопоставление результатов численных и натурных испытаний. При применении данной методики удалось добиться высоких показателей сходимости результатов, не превышающих

6%. Результаты предварительного, уточненного и экспериментального исследований представлено в таблице 1.

Таблица 1. Результаты исследований НДС профилей

	Напряжения, МПа.			
	Растяжение		Сжатие	
Предварительная модель МКЭ	184		152	
Эксперимент	107	108	90	87
Уточненная модель МКЭ	102		88	

- Работа тонкостенного профиля на растяжение и сжатие характеризуется сложной формой напряженно-деформированного состояния. На небольшом участке могут возникать множество разнонаправленных напряжений - осевые силы, разные формы потери общей устойчивости и потери местной устойчивости [3]. Данные особенности работы тонкостенного профиля затрудняют измерение осевых деформаций с помощью тензорезисторов при измерении на поверхности профиля. Для исключения изгибных деформаций применена схема подключения тензорезистора «мост с двумя активными ТР в точке синфазной деформации» (рис.3). Данная схема подключения тензорезисторов исключает искажение данных возникающих в результате изгиба пластины.

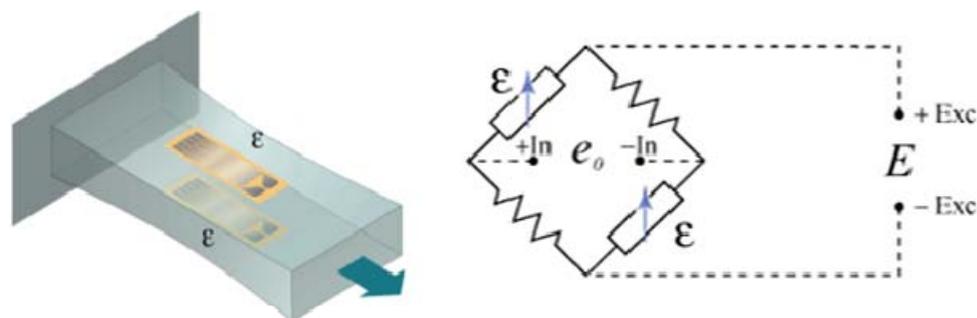


Рисунок 3. Схема подключения тензорезисторов

- При разработке испытательного стенда удалось добиться: высокого уровня точности приложения нагрузки и регистрации измерений; высокой технологичности; снизить расходы на проведение испытаний; упростить создание и регулирование нагрузки; повысить уровень техники безопасности; упростить приложение нагрузки на узлы испытуемой конструкции (рис.1).

Выводы

- 1) По результатам исследований были предложены рекомендации:
 - при расчете соединений на высокопрочных болтах учитывать фрикционную составляющую и разделять работу соединяемых элементов на сжатие и растяжение
 - при измерении деформаций в тонкостенных стальных профилях с помощью тензорезисторов была рекомендована к использованию схема подключения «мост с двумя активными ТР в точке синфазной деформации», как наиболее подходящая для выявления «чистых» осевых напряжений. Была определена область применения испытуемой строительной системы.
- 2) Разработана методика предварительного моделирования конструкций
- 3) Разработан и запатентован стенд для испытания строительных конструкций (патент № 185718).

Благодарности:

Авторы выражают особую благодарность заведующему кафедрой «Железобетонных и каменных конструкций» в ДГТУ д.т.н. профессору Маилянну Дмитрию Рафаэловичу за предоставленную для проведения испытаний лабораторию кафедры, включая технические средства для производства монтажа испытуемой конструкции.

Литература

1. Жмарин Е. Н. Международная ассоциация легкого стального строительства // Строительство уникальных зданий и сооружений. –2012. №2. –С. –27-30.
2. Айрумян Э. Л., Каменьщиков Н.И. Рамные конструкции стального каркаса из оцинкованных гнутых профилей для одноэтажных зданий различного назначения // Мир строительства и недвижимости. –2006. –№36 –С. 9-11.
3. Тарасов, А.В. Экспериментально-теоретические исследования рамных конструкций из стальных холодногнутых профилей: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.01/Тарасов Алексей Владимирович. – Томск, 2013 г. - 22 с.
4. Семенов А.С. Ферма из холодногнутых профилей повышенной жёсткости с болтовыми соединениями: автореф. дис. ...канд. техн. наук: 05.23.01 / Семенов Александр Сергеевич.- Воронеж, 2009 - 21 с.
5. Любавская И.В. Напряженно-деформированное состояние рамной конструкции из стальных гнутых профилей: автореф.дис. ...канд.техн.наук: 05.23.01/Любавская Ирина Владимировна. -Липецк,2018 г.- 23 с.
6. Белый Г. И. О расчете упругопластических тонкостенных стержней по пространственно-деформируемой схеме с учетом касательных напряжений деформаций сдвига // Межвуз. темат. сб. тр., № 32 (Металлические конструкции и испытания сооружений). – Л. : ЛИСИ, 1983. – С. 42-48.
7. Динник, А. Н. Устойчивость арок. -М.-Л.: Гостехиздат. 1946. - 128 с

8. Dubina D., Ungureanu V., Szabo I. Codification of imperfections for advanced finite analysis of cold-formed steel members // Proceedings of the 3rd ICTWS, 2001. – Pp. 179–186.

9. Борисов, Е.В. Устойчивость окаймленных ребрами полостных тонкостенных профилей // Строительная механика и расчет сооружений. - 1965. -№2. - С. 39-44.

10. Броуде, Б.М. К теории тонкостенных стержней открытого профиля // Строительная механика и расчет сооружений. - 1960. -№5. -С. 6-11.

References

1. Zhmarin E.N. Construction of Unique Buildings and Structures. 2012. No.2. Pp. 27–30.

2. Ajrumyan E. L., Kamen'shchikov N.I. Mir stroitel'stva i nedvizhimosti. 2006. №36. pp. 9-11.

3. Tarasov, A.V. Eksperimental'no-teoreticheskie issledovaniya ramnykh konstrukcij iz stalnyx xolodnognutyx profilej [Experimental and theoretical studies of frame structures made of cold-formed steel profiles]: avtoref. dis. ... kand. texn. nauk: 05.23.01/Tarasov Aleksej Vladimirovich. Tomsk, 2013 g. 22 p.

4. Semenov A.S. Ferma iz xolodnognutyx profilej povyshennoj zhyostkosti s boltovy`mi soedineniyami [Farm from cold-formed profiles of increased rigidity with bolted joints]: avtoref. dis. ...kand. texn. nauk: 05.23.01. Semenov Aleksandr Sergeevich. Voronezh, 2009. 21 p.

5. Lyubavskaya I.V. Napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie ramnoj konstrukcii iz stal'nyh gnutyh profilej [Stress-strain state of the frame structure of steel bent profiles]:avtoref.dis. ...kand.tekhn.nauk:05.23.01/Lyubavskaya Irina Vladimirovna. Lipeck, 2018 g. 23 p.

6. Belyj G. I. O raschete uprugoplasticheskikh tonkostennyh sterzhnej po prostranstvenno-deformiruemoj skheme s uchetom kasatel'nyh napryazhenij



deformacij sdviga [On the calculation of elastic-plastic thin-walled rods according to the spatially deformable scheme taking into account shear stresses]. Mezhvuz. temat. sb. tr., № 32 (Metallicheskie konstrukcii i ispytaniya sooruzhenij). L.: LISI, 1983. pp. 42-48.

7. Dinnik, A. N. Ustojchivost' arok. [Stability of arches]. M.-L.: Gostekhizdat. 1946. 128 p.

8. Dubina D., Ungureanu V., Szabo I. Proceedings of the 3rd ICTWS, 2001. Pp. 179–186.

9. Borisov, E.V. Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzhenij. 1965. №2. pp. 39-44. Bibliogr.: 44p.

10. Broude, B.M. Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzhenij. 1960. №5. pp. 6-11. Bibliogr.: 11 p.