

**И. К. РОДИОНОВ**  
**И. И. РОДИОНОВ**

## **О НЕКОТОРЫХ РЕЗУЛЬТАТАХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ СЖАТЫХ СТЕРЖНЕЙ С ОБЩИМИ ДЕФОРМАЦИЯМИ, УСИЛИВАЕМЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ СВАРКИ**

**RESULTS OF EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE WORK OF COMPRESSED RODS WITH  
GENERAL DEFORMATIONS, STRENGTHENED WITH WELDING**

*В статье представлена экспериментально полученная информация об особенностях работы сжатых моделей, имитирующих стержни стальных ферм покрытия. Испытанию подвергались 9 стержней таврового сечения, составленных из парных уголков. Стержни были поделены на три серии. Серия 1 – прямые (эталонные); серия 2 – кривые, имеющие общий выгиб на обушок в плоскости соединительных прокладок; серия 3 – кривые, аналогичные стержням серии 2, но усиливаемые под нагрузкой путем увеличения сечения. Элементы усиления – стержни из уголков, аналогичных калибру уголков основных стержней, деформированные с целью получения обратного выгиба. Цель усиления – привести усиленный стержень к состоянию, близкому к центральному сжатию. Присоединение уголков усиления производилось ручной сваркой наплавкой швов минимальных размеров в четырех сечениях. Нагрузка при усилении была близка к критической для стержней серии 2. Стержни всех серий нагружались до потери устойчивости.*

**Ключевые слова:** эксперимент, сжатые стержни, стальная ферма, усиление под нагрузкой, увеличение сечения стержней, ручная сварка

В Российской Федерации существует обширный парк строительных конструкций, выполненных из стали, в той или иной степени претерпевших износ. Одним из наиболее эффективных приемов продления срока их службы является усиление.

Усиления требуют элементы каркаса, в том числе и стальные фермы покрытия. Значительная их часть – это конструкции со стержнями, выполненными из парных уголков. Для увеличения их несущей способности обычно не требуется усиление большого количества стержневых элементов. В этом причина широкого применения методов усиления, связанных с увеличением несущей способности лишь отдельных из них, наиболее слабых, напряженных. Среди таких методов наиболее применяемым и эффективным является метод увеличения сечений стержней путем присоединения на сварке дополнительных стержневых элементов.

*The article presents experimentally obtained information about the features of the work of compressed models that simulate the rods of steel trusses of the coating. 9 rods of T-section, made up of paired angles, were tested. The rods were divided into 3 series: 1, 2 and 3. Series 1 - straight (reference); series 2 - curves with a common bend on the edge in the plane of connecting gaskets; series 3 - curves similar to rods of series 2, but amplified under load by increasing the cross section. Elements of reinforcement - rods from the corners, similar to the caliber of corners of the main rods, deformed in order to obtain a reverse bend. The purpose of amplification is to bring the reinforced rod to a state close to central compression. The attachment of the reinforcement corners was carried out by hand welding by welding over welds of minimum dimensions in 4 sections. The load during amplification was close to critical for rods of series 2. The rods of all series were loaded until loss of stability.*

**Keywords:** experiment, compressed rods, steel truss, reinforcement under load, increase in rod cross-section, manual welding

Усилению ферм уделяется значительное внимание. Вопросы усиления стержней освещены, в частности, в технической литературе [1–7]. Серьезное внимание усилению стержней уделялось в исследованиях [8–11]. Например, в работе [11] исследовалось влияние общих и местных дефектов и повреждений на прочность и пространственную устойчивость стержней крестового сечения, работа [8] посвящена вопросам моделирования и расчета стержневых систем, усиленных в напряженном состоянии, в работе [10] исследовано влияние сварочных процессов на пространственную устойчивость усиливаемых под нагрузкой элементов. Из последних исследований можно отметить работы [12–15] по оценке влияния технологических параметров сварки на напряженное состояние сжатых усиливаемых и усиленных стержней.

Обследование конструкций показывает, что довольно часто сжатые стержни имеют общие выгибы в плоскости и из плоскости ферм,

что, естественно, снижает их несущую способность.

В целом же усиление строительных конструкций с дефектами и повреждениями в условиях действующей нагрузки является недостаточно изученной областью. В этой связи в Тольяттинском государственном университете проводятся исследования по работе сжатых усиливаемых стержней, имеющих начальные деформации, в том числе и общие погибы в плоскости ферм. Вопрос этот лишь фрагментарно отражен в известной технической литературе. В частности, предлагаются схемы усиления прямыми стержнями; даются ограничения предельно допускаемой при усилении нагрузки, причем разброс довольно большой – от 0,4 [5] до 0,8 [1, 2, 6, 7] от расчетной несущей способности усиливаемого стержня.

Цель исследований – получение информации о влиянии схемы усиления на работу сжатых стержней из парных уголков, имеющих общий выгиб в плоскости фасонки и усиливаемых с применением сварки, и, кроме того, подтверждение возможности проведения усиления при нагрузках, близких к критическим.

Для достижения поставленной цели необходимо было выполнить следующее: провести испытания эталонных стержней (без деформаций), деформированных стержней без усиления, деформированных стержней с усилением под нагрузкой. Для этого было изготовлено 9 стержневых моделей таврового сечения из спаренных уголков L 40x4 длиной 100 см. Уголки соединили полосовыми прокладками толщиной 8 мм в двух сечениях. На концах стержней на опорных пластинах толщиной 20 мм в центре тяжести сечений было выполнено сверление для удобства использования шаровых опор (рис. 1).

Шаровые опоры представляли собой круглые пластины диаметром 120 и толщиной 25 мм. В центре пластин – запрессованные в лунки шарики диаметром 16 мм.

Все стержни были поделены на три серии. В 1-й серии – стержни эталонные, выполненные без начальных деформаций (рис. 1, 3). Во 2-й и 3-й – деформированные стержни с выгибом  $f = 25$  мм в плоскости фасонки (рис. 4). Стержни 1-й и 2-й серий (по три модели в каждой серии) испытывались без усиления. Стержни 3-й серии (три деформированные модели) усиливались под нагрузкой.

Перед испытаниями производился монтаж опорных шарниров. К верхней плите пресса на клею прикреплялась верхняя шаровая опора (рис. 2), после чего осуществлялось центрирование и прикрепление нижней шаровой опоры. Центрирование производилось тщательно с помощью отвеса.

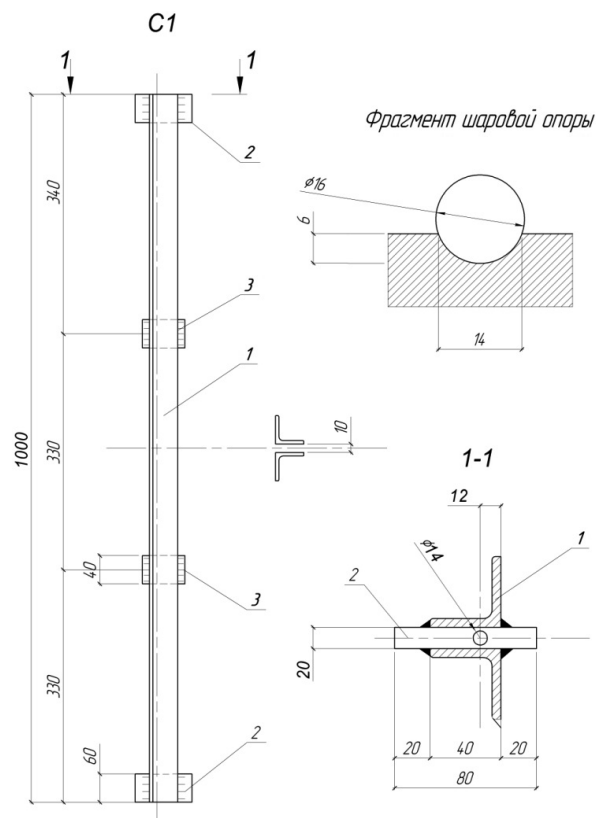


Рис. 1. К вопросу конструктивных особенностей усиливаемых стержней и шаровых опор



Рис. 2. Верхняя шаровая опора

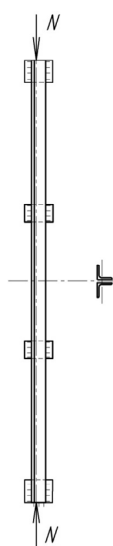


Рис. 3.  
Стержень 1-й серии

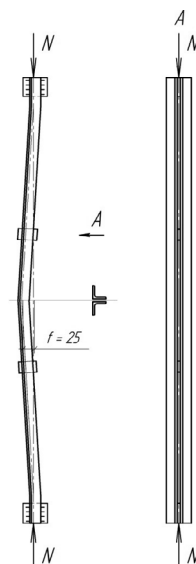


Рис. 4.  
Стержень 2-й серии

Испытание стержней 1-й и 2-й серий (рис. 5, 6) производилось в следующем порядке: стержень устанавливался между опорами пресса П-250 на предварительно смонтированные, отцентрированные шарнирные опоры, после чего производилось нагружение ступенями по 200 кг до потери устойчивости. Потеря устойчивости определялась по моменту появления и роста изгибных деформаций. По шкале пресса определялась критическая нагрузка.

Стержни 3-й серии усиливались под нагрузкой. Усиление производилось двумя угол-

ками того же калибра, как и в основном стержне (рис. 7). Элементы усиления со стрелкой выгиба  $f = 25$  мм. Стрелка получалась следующим образом: в середине стержня разрезалась одна из полок, стержень сгибался до появления требуемого выгиба и закреплялся в тисках, после чего разрез заваривался.

Таким образом, путем прикрепления элементов усиления по схеме (см. рис. 7) ось усиленного стержня принимала форму прямой линии. В результате увеличивалась площадь сечения, исключался эксцентриситет приложения нагрузки.



Рис. 5. Испытание стержня 1-й серии



Рис. 6. Испытание стержня 2-й серии

Наплавка соединительных швов производилась первоначально по концам в пределах опорных пластин с последующим нанесением промежуточных валиков. Для обеспечения совместной работы усищаемого стержня с уголками усиления в среднем сечении применялись соединительные планки. Все швы выполнялись длиной  $l_{\omega} = 30-40$  мм, катетом  $k = 3-4$  мм. Сварка производилась вручную электродами типа Э42.

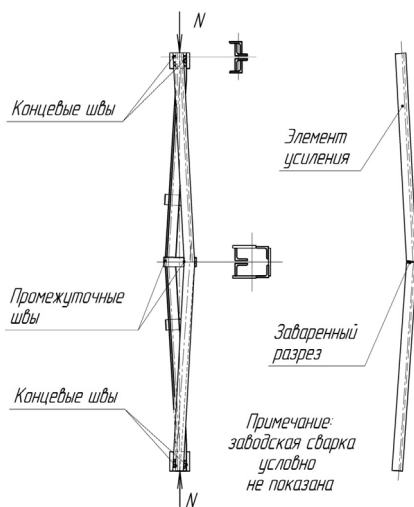


Рис. 7. Схема усиления стержня 3-й серии

За нагрузку при усилении принималась величина, близкая к минимальной критической нагрузке, экспериментально полученной при испытании стержней 2-й серии. Последнее принималось для подтверждения результатов исследований [12–15] о возможности усиления сжатых стержней при нагрузке, близкой к критической.

После усиления стержней (рис. 8) нагружались ступенями по 200 кг до потери устойчивости.



Рис. 8. Испытание усиленного стержня

№ серии	Сечение	Длина и калибр уголков	Класс стали	Вид начальных деформаций	Стержни серии	Наличие усиления	Критические силы, кН				
1		2L 40×4 L=100 см	С245	Без деформаций	1	Нет	120				
					2		126				
					3		130				
2					2L 40×4 L=100 см	С245	Общий выгиб, $f = 25$ мм	1	Нет	41	
								2		39	
								3		35,2	
3		2L 40×4 L=100 см	С245					Общий выгиб, $f = 25$ мм	1	Есть	252,5
									2		280
									3		275

В результате проведенных исследований были получены следующие результаты (см. таблицу): при испытании эталонных стержней минимальная критическая сила составила 120 кН; при испытании деформированных стержней без усиления – 35,2 кН; минимальная критическая сила усиленных стержней – 252,5 кН.

**Выводы.** 1. Общие деформации значительно ухудшают работу сжатых стержней: крити-

ческие силы стержней с выгибами  $f = 25$  мм более чем в три раза меньше критических сил прямых центрально сжатых стержней.

2. Предложенный способ усиления показал свою эффективность: критические силы усиленных стержней оказались в два раза больше критических сил эталонных стержней.

3. Результаты эксперимента подтвердили результаты исследований [13–15] о возмож-

ности проведения усиления сжатых стержней при нагрузке, близкой к критической: усиление производилось при нагрузке, равной 32 кН, близкой к величине минимальной критической силы деформированных стержней 35,2 кН.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Демидов Н.Н. Усиление стальных конструкций [Электронный ресурс]. М.: Московский государственный строительный университет, Ай Пи Эр Медиа, ЭБС АСВ, 2016. 85 с.
2. Металлические конструкции / [Ю.И. Кудишин, Е.И. Беленя, В.С. Игнатъева и др.]; под ред. Ю.И. Кудишина. 10-е изд., стер. М.: Издательский центр «Академия», 2011. 688 с.
3. Михайлов В.В., Макарьев Ю.А. Усиление стальных строительных конструкций. Владимир : Изд-во Владимир. гос. ун-та, 2006. 96 с.
4. Яковлева М.В., Фролов Е.А., Фролов А.Е. Строительные конструкции. Подготовка, усиление, защита от коррозии [Электронный ресурс]. М.: Форум: ИНФРА-М, 2015. 208 с.
5. Бельский М.Р., Лебедев А.И. Усиление стальных конструкций. Киев: Будівельник, 1981. 200 с.
6. Валь В.Н., Горохов Е.В., Уваров Б.Ю. Усиление стальных конструкций одноэтажных производственных зданий при реконструкции. М.: Стройиздат, 1987. 300 с.
7. Ребров И.С. Работа сжатых элементов стальных конструкций, усиленных под нагрузкой. Л.: Стройиздат, 1976. 200 с.
8. Абрагим Х.А. Моделирование и расчет стержневых систем, усиленных в напруге состоянии: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Казань, КГТУ. 2011. 25 с.
9. Десятов Б.И. Исследование работы усиленных под нагрузкой элементов сварных стальных ферм: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М.: МИСИ, 1968. 25 с.
10. Михаськин В.В. Влияние сварочных процессов на пространственную устойчивость усиленных под нагрузкой элементов стержневых конструкций: автореф. дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2010. 26 с.
11. Мункуева Е.М. Прочность и устойчивость элементов стальных конструкций крестового сечения, имеющих общие и местные дефекты и повреждения: автореф. дис. ... канд. техн. наук. СПб., 1999. 25 с.
12. Родионов И.К. Об экспериментальном исследовании стальной фермы, усиливаемой под нагрузкой с применением сварки // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. 2015. №2–1 (32–1). С. 20–26.
13. Родионов И.К. Сварочные деформации, метод «фиктивных температур» и усиление сжатых стержней стальных ферм покрытия // Труды междунар. научно-технич. конфер. (Резниковские чтения). Теплофиз. и технолог. аспекты повыш. эффектив. машиностр. производ. / ТГУ. Тольятти, 2015. С. 118–124.
14. Родионов И.К. Усиление сжатых стержней стальных ферм производственных зданий // Сварочное производство. 2009. №4. С. 25–29.
15. Rodionov I.K. Reinforcement of compressed bars of steel girders in industrial buildings // Welding International. 2010. T 24. № 11. P. 889–892.

Об авторах:

### РОДИОНОВ Игорь Константинович

кандидат технических наук, доцент кафедры промышленного, гражданского строительства и городского хозяйства  
Тольяттинский государственный университет  
Архитектурно-строительный институт  
445020, Россия, г. Тольятти, ул. Ушакова, 59  
E-mail: riktlt@mail.ru

### РОДИОНОВ Игорь Игоревич

инженер ПТО, ООО «Аполло»  
445012, Россия, г. Тольятти, ул. Мухоморова, д. 58, кв. 118  
E-mail: inmylave@mail.ru

### RODIONOV Igor K.

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Industrial and Civil Engineering and Urban Management Chair  
Togliatti State Technical University  
Institute of Architecture and Civil Engineering  
445020, Russia, Togliatti, Ushakova str., 59  
E-mail: riktlt@mail.ru

### RODIONOV Igor I.

Engineer  
445020, Russia, Togliatti  
E-mail: inmylave@mail.ru

Для цитирования: Родионов И.К., Родионов И.И. О некоторых результатах экспериментального исследования работы сжатых стержней с общими деформациями, усиливаемых с применением сварки // Градостроительство и архитектура. 2019. Т. 9, №1. С. 10–14. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.01.2.

For citation: Rodionov I.K., Rodionov I.I. Results of Experimental Research of the Work of Compressed Rods with General Deformations, Strengthened with Welding// Urban Construction and Architecture. 2019. V. 9, 1. Pp. 10–14. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.01.2.