



УДК 69.024.8:621.791

DOI: 10.17673/Vestnik.2020.02.1

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

### О РЕЗУЛЬТАТАХ ИССЛЕДОВАНИЯ СЖАТЫХ ДЕФОРМИРОВАННЫХ СОСТАВНЫХ СТЕРЖНЕЙ ТАВРОВОГО СЕЧЕНИЯ, УСИЛИВАЕМЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ СВАРКИ

#### RESULTS OF RESEARCH OF COMPRESSED DEFORMED COMPOSITE RODS OF T-SECTION REINFORCED WITH WELDING

Представлена экспериментально полученная информация об особенностях работы сжатых деформированных стержней, усиливаемых двумя способами путём увеличения сечения с применением сварки. При испытании использовался пресс П-200, на плиты которого были прикреплены отцентрованные шаровые опоры. Испытанию подвергались девять стержней таврового сечения длиной 100 см из парных уголков L40x4. Три стержня были прямые: испытывались без усиления. Шесть стержней имели общий выгиб в плоскости прокладок и подвергались усилению: три стержня – парными короткими уголками L40x4 (длина 60 см); три стержня – парными длинными уголками L40x4 (длина 100 см). Нагружение производилось ступенями по 200 кг до потери несущей способности. В результате эксперимента был сделан вывод о значительной эффективности способа усиления длинными уголками.

**Ключевые слова:** эксперимент, стальные стержни, усиление, увеличение сечения

Россия имеет огромный парк производственных зданий. Модернизация промышленности требует реконструкции этого парка, который к настоящему времени претерпел определённый моральный и физический износ. Необходимо привести производственную базу страны в состояние, соответствующее современным техническим требованиям.

The article presents experimentally obtained information about the features of the work of compressed deformed rods, reinforced in two ways by increasing the cross section using welding. In the test, a P-200 press was used, on the plates of which centered ball bearings were attached. Nine rods of T-section 100 cm long from paired corners L40x4 were tested. Three rods were straight: tested without amplification. Six rods had a common curvature in the plane of the gaskets and were reinforced: three rods with pair of short corners L40x4 (length 60 cm); three rods - paired long corners L40x4 (length 100 cm). Loading was carried out in steps of 200 kg until the loss of non-existent ability. As a result, information was obtained on the significant effectiveness of the amplification method with long gain angles.

**Keywords:** experiment, steel rods, strengthening, increasing the cross-section

Каркасы промышленных зданий – это в основном стальные конструкции. Результаты исследований показывают, что отдельные части зданий, в том числе и стропильные фермы, имеют дефекты, повреждения. Довольно распространённым случаем повреждений являются общие выгибы сжатых стержней, в том числе и в плоскости фермы. Расчёты [1, с. 453–466;

2, с. 8–15], как правило, подтверждают необходимость их усиления.

Вопросам усиления сжатых стержней уделяется значительное внимание. Исследования проводились Б.И. Десятовым [3], И.С. Ребровым [4], Е.М. Мункуевой [5], М.Б. Зайцевым [6]. Результаты исследований нашли отражение в учебной [7], научной [8–10], справочной [11], литературе, где предлагаются возможные схемы усиления. В частности в отношении сжатых стержней, имеющих выгиб в плоскости фермы, предлагается два варианта: усиление прямыми короткими (рис. 1) [8] и длинными (рис. 2) [11] парными уголками (длиной, равной длине усиливаемого элемента).

Обоснование преимущества того или другого способа в источниках не приводится.

В этой связи в Тольяттинском государственном университете (ТГУ) были проведены исследования, целью которых являлось получение информации о степени эффективности различных схем усиления сжатых стержней, деформированных в плоскости фермы в направлении на обухи уголков стержней.

Для реализации цели были поставлены следующие задачи:

1. Испытание стержней без усиления (эталонных).
2. Испытание стержней с усилением прямыми короткими стержнями.
3. Испытание стержней с усилением прямыми длинными стержнями.
4. Анализ полученной информации.
5. Обоснование методик расчёта.

Для реализации поставленных задач было подготовлено 9 стержней. Стержни были выполнены длиной 1000 мм из уголков L40x4, составленных втавр (рис. 3). Уголки соединены прокладками в двух сечениях, в опорах располагались пластины толщиной 20 мм с углублением под металлический шарик для возможности шарнирного опирания стержней.

Согласно сертификату металла, полученного на заводе-изготовителе, предел текучести стали уголков составлял 31,5 кН/см<sup>2</sup>.

Все стержни поделены на три серии – серия 1 (3 стержня), серии 2к и 2д (6 стержней). Стержни серии 1 – прямые (эталонные); стержни серии 2к и 2д имели общий выгиб в плоскости соединительных прокладок в направлении на обухи уголков со стрелкой выгиба 25 мм.

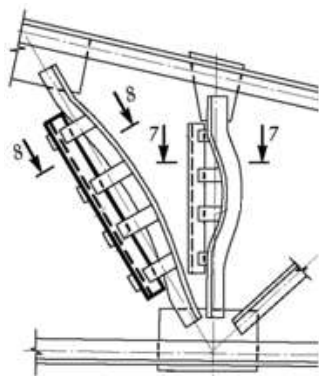


Рис. 1. Усиление прямыми короткими уголками

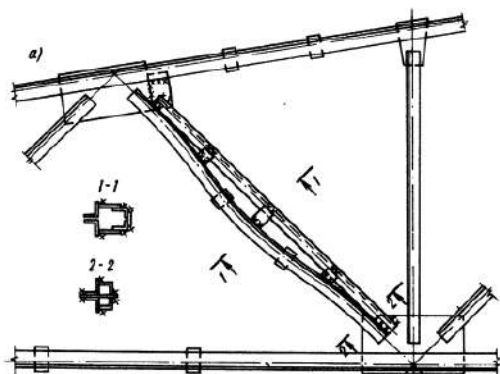


Рис. 2. Усиление прямыми длинными уголками

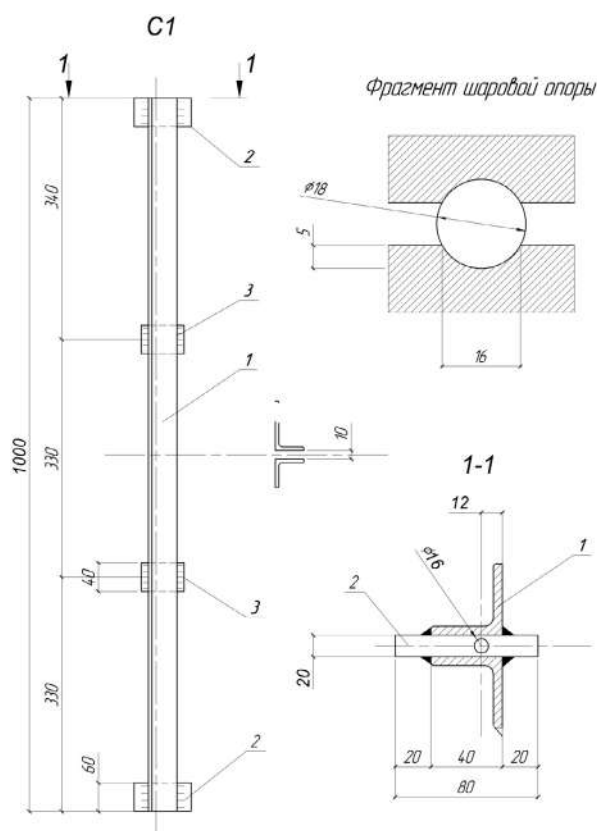


Рис. 3. Чертёж стержня



Рис. 4. Верхняя шаровая опора



Рис. 5. Нижняя шаровая опора



Рис. 6. Испытание эталонного стержня

Стержни серии 2к усиливались короткими уголками 2 L40x4 длиной 600 мм; стержни серии 2д усиливались длинными уголками длиной 1000 мм.

Такие длины были выбраны для того, чтобы произвести усиление двумя различными способами: 1) по всей длине стержня; 2) по длине выгиба деформированного стержня.

Испытания проводились на гидравлическом прессе П-200. Опоры были шарнирные (рис. 4, 5), предварительно отцентрированные.

Испытания стержней серии 1 (рис. 6) проводились в следующем порядке:

1. Установка стержня между опорами.
2. Нагружение ступенями по 200 кг до потери устойчивости.
3. Фиксирование критической нагрузки.

Экспериментальные исследования, проведённые ранее (испытания стержней крестового сечения), дали результаты, свидетельствующие об отсутствии влияния начальных напряжений (от нагрузки усиления) на несущую способность усиленных стержней. Это позволило проводить испытания стержней серий 2к и 2д следующим образом:

1. Деформированный стержень с прикреплёнными на сварке элементами усиления (минимальные швы в четырех сечениях: двух промежуточных и двух по концам усиливающих стержней) устанавливался между опорами.
2. Производилось нагружение ступенями по 200 кг до потери устойчивости.
6. Определялась критическая нагрузка.

Петем проведённых исследований были получены сведения, свидетельствующие о достоверности результатов эксперимента: критические силы стержней по сериям имели довольно небольшой разброс (см. таблицу).

Результаты эксперимента

Серия	Элементы усиления	Несущая способность, кН
C1	Нет	105, 93,110
C2к	2 L 40x4 – короткие	65, 63,70
C2д	2 L 40x4 – длинные	143, 175, 140

В случае применения длинных стержней усиления достигается увеличение несущей способности порядка 35 % по сравнению с эталонными. Несущая способность образцов, усиленных короткими стержнями, на 35 % меньше несущей способности эталонных образцов.

Характер потери несущей способности образцов, усиленных короткими и длинными стержнями, позволил найти причину низкой эффективности усиления короткими элементами. Стержни, усиленные длинными элементами,

работали слитно: потеря несущей способности происходила в результате потери общей устойчивости в основном по изгибной форме. Стержни, усиленные короткими элементами, теряли несущую способность в результате потери устойчивости неусиленных приопорных частей (рис. 7).

В целом, проведённые исследования дали возможность понять работу сжатых, усиливаемых разными элементами стержней и предложить методики расчёта, позволяющие определять с достаточной надёжностью их несущую способность.

Несущие способности усиленных стержней всех трёх групп были определены с использованием СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции». Стержни без усиления рассчитывались как центрально сжатые; стержни, усиленные длинными и короткими стержнями, – как внецентренно сжатые с учётом действующих эксцентриситетов. Результаты оказались довольно близкими к экспериментальным значениям:

- прямые стержни без усиления – 117 кН;
- деформированные стержни, усиленные парными короткими уголками, – 62,1 кН;
- деформированные стержни, усиленные парными длинными уголками, – 160,7 кН.



Рис. 7. Местные деформации в приопорной зоне

По результатам проведённых исследований можно сделать следующие **выводы**:

1. Критические силы образцов имеют небольшой разброс.

2. Критические силы образцов близки к теоретически полученным величинам, что подтверждает их достоверность.

3. Усиление стержней, имеющих начальный выгиб в плоскости фермы на обухок уголков, неэффективно производить короткими стержнями.

4. Усиление таких стержней следует производить: прямыми уголками усиления длиной, равной длине усиливаемых элементов, или уголками длиной, равной длине усиливаемых элементов, имеющими обратный выгиб [12].

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Металлические конструкции / Ю.И.Кудишин, Е.И.Беленя, В.С.Игнатьева и др.; под ред. Ю.И.Кудишина. 13 изд., испр. М.: Издательский центр «Академия», 2011. 688 с.

2. Михайлов В.В., Макарьев Ю.А. Усиление стальных строительных конструкций: Владимир: Изд-во Владимир. гос. ун-та, 2006. 96 с.

3. Десятков Б.И. Исследование работы усиливаемых под нагрузкой элементов сварных стальных ферм: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М.: МИСИ, 1968. 22 с.

4. Ребров И.С. Усиление стержневых металлических конструкций. (Методы расчета, анализ работы конструкций, проектирование усиления): автореф. дис. ... докт. техн. наук / ИСИ. М., 1988. 40 с.

5. Мункуева Е.М. Прочность и устойчивость элементов стальных конструкций крестового сечения, имеющих общие и местные дефекты и повреждения: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.01. СПб., 1999. 22 с.

6. Зайцев М.Б. Устойчивость металлических стропильных ферм и рациональное усиление их: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.01. Пенза, 2000. 24 с.

7. Демидов Н.Н. Усиление стальных конструкций [Электронный ресурс]. М.: Московский государственный строительный университет, Ай Пи Эр Медиа, ЭБС АСВ, 2016. 85 с. Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/49869>. – ЭБС «IPRbooks». С. 12–17, 28, 30.

8. Валь В.Н., Горохов Е.В., Уваров Б.Ю. Усиление стальных конструкций одноэтажных производственных зданий при реконструкции. М.: Стройиздат, 1987. С. 159–162.

9. Металлические конструкции: в 3 т. Т. 3. Стальные сооружения, конструкции из алюминиевых сплавов. Реконструкция, обследование, усиление и испытание конструкций зданий и сооружений: (справочник проектировщика) / под общ. ред. В.В. Кузнецова (ЦНИИ проектстальконструкция им. Н.П. Мельникова). М.: изд-во АСВ, 1999. С. 370–373.

10. Серзутдинов М.Н., Абрагим Х.А. Несущая способность стержневых элементов конструкций,

усиливаемых в напряжённом состоянии // Вестник Казанского технологического университета. 2010. № 9. С. 512–518.

11. Усиление металлических строительных конструкций резервированием несущей способности / А.А. Сморчков, Е.С. Умеренкова, М.И. Матвеев, А.В. Азаров, А.К. Никифоров // Строительство-2016: материалы II Брянского международного инновационного форума / ред. колл.: Н.П. Лукутцова, М.Ю. Прокуров, М.А. Сенющенко. 2016. С. 321–324.

12. Батырева И.А. Напряжённое состояние сжатых стержней с общими деформациями, усиливаемых с применением сварки / Тольяттинский государственный университет. Тольятти, 2017. Режим доступа: <https://dspace.tltsu.ru/handle/123456789/3923>.

## REFERENCES

1. Kudishin Yu.I., Belenya E.I., Ignatyeva V. S. and al. *Metallicheskiye konstruksii* [Metal structures]. Moscow, Publishing Center "Academy", 2011, pp. 453-466.

2. Mikhailov V.V. and al. *Usileniye stal'nykh stroitel'nykh konstruksiy* [Strengthening of steel building structures]. Vladimir, Vladimir State University, 2006, pp. 8-15.

3. Desyatov B.I. *Issledovaniye raboty usilyayemykh pod nagruzkoj elementov svar-nykh stal'nykh ferm. Kand, Diss.* [Investigation of the work of welded steel trusses strengthened under load. PhD Diss.]. Moscow, MISI, 1968.

4. Rebrov I.S. *Usileniye sterzhnevyykh metallicheskih konstruksiy (Metody rascheta, analiz raboty konstruksiy, proyektirovaniye usileniya). Kand, Diss.* [Reinforcing rod metal structures (Calculation methods, analysis of the operation of structures, design gain). PhD Diss.]. Leningrad, LISI, 1988.

5. Munkueva E.M. *Prochnost' i ustoychivost' elementov stal'nykh konstruksiy krestovogo secheniya, imeyushchikh obshchiye i mestnyye defekty i povrezhdeniya. Kand, Diss.* [Strength and stability of cross-section steel structural elements having common and local defects and damages. PhD Diss.]. St. Petersburg, 1999. 22 p.

6. Zaitsev M.B. *Ustoychivost' metallicheskih stropil'nykh ferm i ratsional'noye usileniye ikh. Kand, Diss.* [Stability of metal truss trusses and their rational strengthening. PhD Diss.]. Penza, 2000. 24 p.

7. Demidov N.N. *Usileniye stal'nykh konstruksiy* [Strengthening of steel structures]. Moscow, Moscow State University of Civil Engineering, IP Air Media, DIA EDS, 2016, pp. 12-17, 28, 30.

8. Val V.N., Gorokhov E.V., Uvarov B.Yu. *Usileniye stal'nykh konstruksiy odnoetazhnykh proizvodstvennykh zdaniy pri rekonstruksii* [Reinforcement of steel structures of one-story industrial buildings during reconstruction]. Moscow, Stroyizdat, 1987, pp. 159-162.

9. Metallicheskiye konstruksii. V 3t. T.3. *Stal'nyye sooruzheniya, konstruksii iz alyuminiyevykh splavov. Rekonstruksiya, obsledovaniye, usileniye i ispytaniye konstruksiy zdaniy i sooruzheniy. (Spravochnik proyektirovshchika)* [Metal structures. In 3 volumes. Vol.3. Steel structures, aluminum alloy structures. Reconstruction, inspection,

strengthening and testing of structures of buildings and structures (Designer reference guide). Moscow, Publishing House of the DIA, 1999, pp. 370–373.

10. Serazutdinov M.N., Abraham H.A. The bearing capacity of the core elements of structures reinforced in a stressed state. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of Kazan Technological University], 2010, no. 9, pp. 512-518. (in Russian)

11. Smorchkov A.A., Umerenkova E.S., Matveev M.I., Azarov A.V., Nikiforov A.K. Reinforcement of metal building structures with redundancy of bearing capacity. *STROITEL'STVO-2016 Materialy II Bryanskogo mezhdunarodnogo innovacionnogo foruma* [CONSTRUCTION-2016. Materials of the II Bryansk International Innovation Forum], 2016, pp. 321-324. (in Russian)

12. Batyreva I.A. *Napryazhennoye sostoyaniye szhatykh sterzhney s obshchimi deformatsiyami, usilyayemykh s primeneniye svarki: master's thesis* [The stress state of compressed rods with general deformations reinforced by welding: master's thesis]. Togliatti, Togliatti State University, 2017. Available at: <https://dspace.tltsu.ru/handle/123456789/3923>.

Об авторах:

**РОДИОНОВ Игорь Константинович**  
кандидат технических наук, доцент Центра архитектурных, конструктивных решений и организации строительства  
Тольяттинский государственный университет  
Архитектурно-строительный институт  
445020, Россия, г. Тольятти, ул. Ушакова, 59  
E-mail: riklt@mail.ru

**RODIONOV Igor K.**  
PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Center for Architectural, Design Solutions and Construction Organization  
Togliatti State University  
Institute of Architecture and Civil Engineering  
445020, Russia, Togliatti, st. Ushakov, 59  
Tel.: (917) 129-71-55  
E-mail: riklt@mail.ru

**РОДИОНОВ Игорь Игоревич**  
специалист ПАО «РОСБАНК»  
443080, Россия, г. Самара, Московское шоссе, 23  
E-mail: Inmylave@mail.ru

**RODIONOV Igor I.**  
Specialist ROSBANK PJSC  
443080, Russia, Samara, Moscow highway, 23  
Tel.: (963) 919-13-55  
E-mail: Inmylave@mail.ru

Для цитирования: Родионов И.К., Родионов И.И. О результатах исследования сжатых деформированных составных стержней таврового сечения, усиливаемых с применением сварки // Градостроительство и архитектура. 2020. Т. 10, № 2. С. 4–9. DOI: 10.17673/Vestnik.2020.02.1.

For citation: Rodionov I.K., Rodionov I.I. Results of Research of Compressed Deformed Composite Rods of T-section Reinforced with Welding. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2020, Vol. 10, no. 2, Pp. 4–9. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2020.02.1.

---

Уважаемые читатели!

Центр инженерно-технических разработок СамГТУ (ЦИТР СамГТУ)  
приглашает к сотрудничеству.

Основные направления деятельности Центра:

- выполнение полного цикла создания проектно-сметной документации для строительства объектов гражданского и промышленного назначения
- выполнение работ по обследованию технического состояния объектов строительства
- осуществление авторского, технического надзора, строительного контроля
- выполнение работ по строительству и реконструкции объектов, научно-методическое руководство проектными и строительными работами
- разработка и апробация новых технологий и методов в архитектуре и проектировании и строительстве зданий и сооружений
- координация разработки и продвижения новых образовательных программ в области архитектуры, проектирования и строительства
- предоставление консалтинговых услуг в сфере проектной и инженерно-технической деятельности

Руководитель Романчиков Вячеслав Викторович

Контакты:  
443110, Россия, г. Самара, ул. Ново-Садовая, 18, оф. 3, АСА СамГТУ  
тел. +7(937)070-19-02  
E-mail: romanchikoff@mail.ru