

И. К. РОДИОНОВ
Е. Г. САФРОНОВ

УСИЛЕНИЕ ПОД НАГРУЗКОЙ ДЕФОРМИРОВАННЫХ СЖАТЫХ СТЕРЖНЕЙ СТАЛЬНЫХ СТРОПИЛЬНЫХ ФЕРМ

**REINFORCEMENT UNDER LOAD OF DEFORMED
COMPRESSED STEEL RAIL TRUSS**

Представлены результаты обследования стальных ферм покрытия шести производственных зданий. В частности, выявлено наличие различной формы дефектов сжатых стержней: общие выгибы в плоскости и из плоскости фермы, местные погибы полок – смалкование и размалкование. Определена необходимость усиления стержней для дальнейшей эксплуатации конструкций. Приведены предложенные технические решения усиления деформированных стержней. При разработке технических решений стремились достичь, по возможности, компенсации поврежденной части сечения (для местно повреждённых стержней) и приведение оси отремонтированного стержня в проектное положение (для стержней, имеющих общие выгибы). Для подтверждения эффективности предложенных решений усиления проведены экспериментальные исследования. Дан краткий анализ результатов.

Ключевые слова: стальные стропильные фермы, сжатые деформированные стержни, усиление, эксперимент

The results of the survey of steel trusses covering six industrial buildings are presented. In particular, the presence of various forms of defects of compressed rods was revealed: general bends in the plane and out of the plane of the truss, local perishes of the shelves – grinding and grinding. The necessity of strengthening the rods for further operation of the structures is determined. The proposed technical solutions for strengthening deformed rods are presented. When developing technical solutions, we tried to achieve, if possible, compensation for the damaged part of the cross-section (for locally damaged rods) and bringing the axis of the repaired rod to the design position (for rods with common bends). To confirm the effectiveness of the proposed solutions, experimental studies were conducted. A brief analysis of the results is given.

Keywords: steel trusses, compressed deformed rods, reinforcement, experiment

При обследовании стальных конструкций покрытий шести производственных зданий было обнаружено 78 деформированных сжатых стержней ферм, подлежащих, согласно [1–4], усилению.

Наиболее выраженные виды деформаций:

– выгибы стержней из плоскости фермы (28 стержней) и в плоскости – «на обушок» (7 стержней);

– местные (ограниченной длины) погибы полок (лежащих в плоскости перпендикулярной плоскости фермы) уголков стержней [5–7].

Характер погيبей полок уголков различен: размалкование (18 стержней), смалкование (25 стержней).

При разработке технических решений усиления стержней ферм под нагрузкой (от массы конструкций покрытия) стремились достичь, по возможности, следующее:

– компенсацию поврежденной части сечения (для местно повреждённых стержней);

– приведение оси отремонтированного стержня в проектное положение (для стержней, имеющих общие выгибы).

Решение усиления стержней, погнутых в плоскости фермы (на обушок), приведено на рис. 1. Уголки усиления принимаются такого же калибра, как и уголки стержня. Подготовка их осуществляется следующим образом. Одна из полок надрезается до утолщения у обушка: производится гиб элемента с таким расчетом, чтобы после заварки разреза получить величину стрелки выгиба элемента усиления, равную величине замеренного погиба стержня.

Следует отметить, что такое техническое решение отсутствует в известных источниках по усилению.

Решение усиления стержня при выгибе его из плоскости фермы приведено на рис. 2. Уголки усиления принимаются одного калибра с основными. Один из уголков прямой, другой подготавливается описанным выше

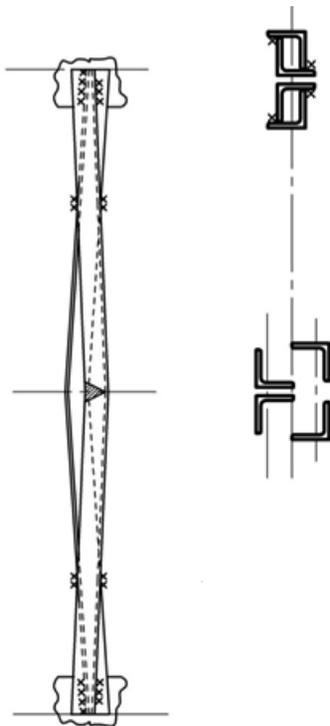


Рис. 1. Техническое решение усиления стержня, погнутого в плоскости фермы (заводская сварка условно не показана)

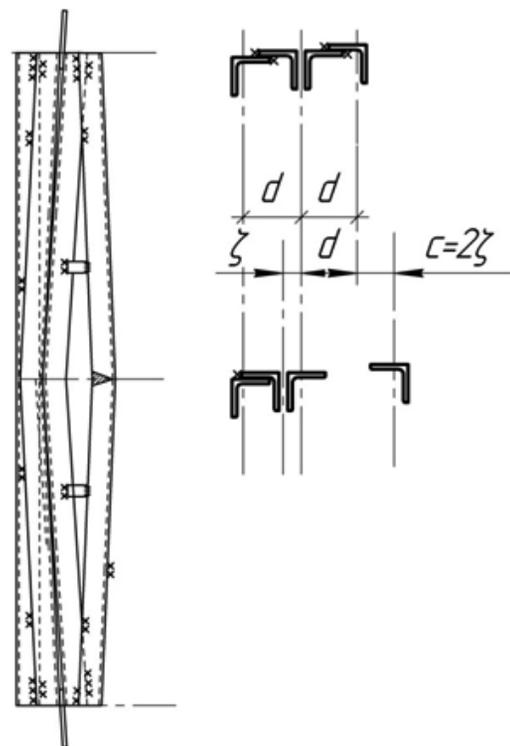


Рис. 2. Техническое решение усиления стержня, погнутого из плоскости фермы (заводская сварка условно не показана)

образом. При этом, в отличие от предыдущего случая, стрелка C по величине принимается равной удвоенной величине замеренного погиба стержня ζ . Величина стрелки выгиба уголков усиления C определяется из условия приведения оси отремонтированного стержня в проектное положение. При относительно небольшой стрелке погнутия, т. е. в большинстве случаев, соединительные планки из полосовой стали не нужны.

Следует отметить, что такое техническое решение, так же как в первом случае, отсутствует в известных источниках по усилению.

Элементы усиления прикрепляются к основному прерывистыми сварными швами длиной около 50 мм через 40 радиусов инерции уголка относительно оси, проходящей через его центр тяжести и параллельной вертикальной полке.

Усиление стержней с местным размалкованием полки одного из уголков производится приваркой в зоне погнутия двух коротышей из уголка (одного калибра с основными) (рис. 3). Из рисунка видно, что горизонтальная полка одного из уголков усиления располагается под погнутой полкой основного элемента, а горизонтальная полка второго коротыша лежит на полке соседнего уголка стержня. Длина

элементов усиления равна сумме длины волны погиба и удвоенной длины сварных швов, вычисленных по «площади» поврежденного сечения.

Усиление стержня при местном смалковании полки одного из уголков показано на рис. 4. Площадь сечения полосы усиления равна или несколько больше площади сечения поврежденной полки. Ширина полосы b подбирается из условия равенства радиусов инерции её сечения и уголка стержня относительно горизонтальной оси. Усиление стержня при местном смалковании может быть произведено только в соответствии с решением, приведенным на рис. 4.

С целью проверки надежности и эффективности предложенных решений усиления деформированных сжатых стержней ферм под нагрузкой был проведен эксперимент.

При решении основной задачи имелась возможность получить качественную оценку влияния различных типов погибов на снижение несущей способности стержней.

При планировании эксперимента старались выполнить следующие условия:

- приблизить характер работы опытных стержней к таковому рядовых сжатых (не опорных) стержней решетки обследованных стро-

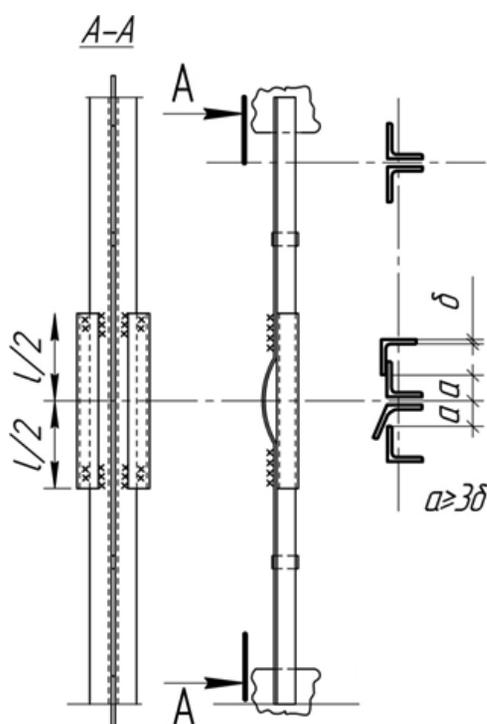


Рис. 3. Техническое решение усиления стержня с местным размалкованием полки уголка (заводская сварка условно не показана)

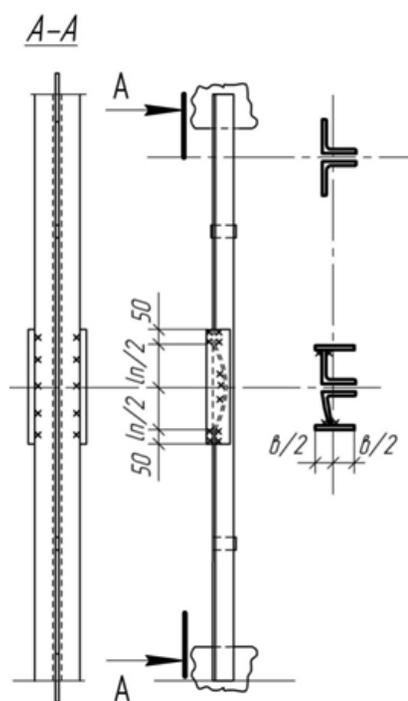


Рис. 4. Техническое решение усиления стержня с местным размалкованием полки уголка (заводская сварка условно не показана)

пильных ферм (по гибкости, закреплению в поясах, напряжению во время усиления);

– качество материалов опытных образцов по химическому составу и механическим свойствам должно быть возможно более близким к качеству обследованных конструкций.

Учитывались также возможности постановки опыта:

– 50-тонный пресс ГРМ-1 с наибольшим рабочим расстоянием в свету по высоте 1200 мм;

– наличие уголкового проката калибра L32x4, материал которого был классифицирован как сталь марки СтЗкп со среднестатистическим значением предела текучести 27,53 кН/см² (по результатам 6 образцов).

Принятая схема экспериментальной установки и основные размеры опытных образцов приведены на рис. 5.

Опытные образцы были изготовлены в виде стержней: таврового сечения – 30 шт., крестового сечения – 9 шт. Из них – 24 шт. и 6 шт. со стержнями соответственно таврового и крестового сечений были изготовлены с первоначальными деформациями (характер и величина приведены в таблице).

Образцы изготавливали в следующем порядке:

1) путём сварки отрезков L 32x4 с фасонками и прокладками получали стержни;

2) часть стержней деформировали, используя специальные приспособления;

3) к фасонкам стержней приваривали опорные части, состоящие из двух отрезков уголка L50x5 (имитирующие верхний и нижний пояса ферм).

Горизонтальные плоскости опор образцов были нормальны к проектной оси неповрежденного стержня.

Были изготовлены также элементы усиления. Для усиления погнутых стержней использовались отрезки уголка L32x4 длиной 1040 мм. При этом для серий образцов:

– со стержнями, погнутыми в плоскости фасонки, для каждого образца изготавливалось по два уголка, согнутых по середине их длины с $C = 8$ мм;

– со стержнями, погнутыми из плоскости фасонки, для каждого образца изготавливалось по два уголка, один из которых был согнут по середине его длины с $C = 16$ мм.

Для усиления стержней с местным размалкованием одной из полок уголка (по типу, приведенному на рис. 4) использовались полосы 32x4 длиной 125 мм (средняя длина волны погиба).

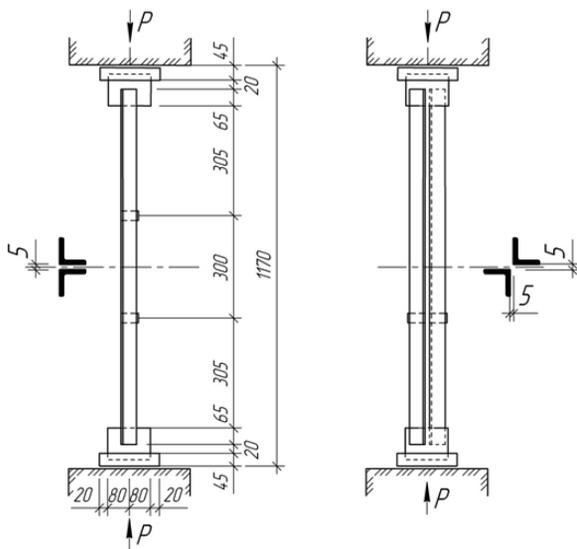


Рис. 5. Схема установки для испытания образцов со стержнями:
а – таврового сечения; б – крестового сечения

Возможность эксперимента обусловила некоторую нечёткость условия закрепления опытных стержней в поясах в плоскости и из плоскости фасонок (фермы). Неопределённость закрепления концов стержней не позволила произвести теоретическое обоснование полученных величин их несущей способности.

При производстве испытаний фиксировали величину критической нагрузки, поль-

зуюсь шкалой прессы 0-20 тс с ценой деления 50 кгс.

При испытании образцов с деформированными стержнями, подлежащими усилению, нагрузка доводилась до 3300 кгс и поддерживалась на этом уровне (с наибольшими колебаниями по величине ± 25 кгс). Под этой нагрузкой к образцам приваривали элементы усиления. Использовались электроды типа Э-42 с толщиной проволоки 4 мм.

Усиление по схемам, показанным на рис. 1 и 2, производилось путём наложения сварных швов длиной 50 мм у концов стержней и двух промежуточных швов длиной 20 мм в районе прокладок.

Стержни крестового сечения, погнутые из плоскости фасонок, усиливали в соответствии с решением, приведенным на рис. 2.

Усиление по типу, показанному на рис. 4, производилось в следующем порядке:

1) полосы прикладывались к образцу у вмятины, согласно ранее нанесенным мелом отметкам, и «прихватывались» у концов со стороны, противоположной обушкам уголков;

2) накладывались сварные швы, прикрепляющие полосы к уголкам со стороны их обушков.

Выполнение сварных швов на каждом образце производилось один за другим без перерыва. Затем после остывания металла стержней до 60–80 °С нагрузка увеличивалась до потери несущей способности. Среднестатистические значения полученных величин критических нагрузок P (по сериям образцов) приведены в таблице.

Результаты эксперимента

№ серии	Тип сечения стержней	Вид начальных деформаций	Количество стержней в серии	Наличие усиления	Критические нагрузки P , кгс
1	Тавровое	Без деформаций	6	Нет	10080
2	Тавровое	Стержни погнуты в плоскости фасонок с $\zeta=8$ мм	3	Нет	8180
3	Тавровое	Стержни погнуты в плоскости фасонок с $\zeta=8$ мм	3	Есть	15450
4	Тавровое	Стержни погнуты из плоскости фасонок с $\zeta=8$ мм	3	Нет	7800
5	Тавровое	Стержни погнуты из плоскости фасонок с $\zeta=8$ мм	3	Есть	13150
6	Тавровое	Местное размалкование полки уголка с $\zeta=16$ мм	3	Нет	9050

Окончание таблицы

7	Тавровое	Местное размалкование полки уголка с $\zeta=12$ мм	3	Нет	9540
8	Тавровое	Местное смалкование полки уголка с $\zeta=12$ мм	3	Нет	8340
9	Тавровое	Местное смалкование полки уголка с $\zeta=12$ мм	3	Есть	9990
10	Крестовое	Без деформаций	3	Нет	11040
11	Крестовое	Стержни погнуты из плоскости фасонок с $\zeta=8$ мм	3	Нет	7170
12	Крестовое	Стержни погнуты из плоскости фасонок с $\zeta=8$ мм	3	Есть	14240

Как показал эксперимент, наличие дефектов, общих выгибов и местных погибей негативно влияет на работу сжатых стержней. В частности, общий выгиб стержней в плоскости и из плоскости фасонок $\zeta=8$ мм приводит к уменьшению несущей способности порядка 20–35 % (последнее для стержней крестового сечения). Местное размалкование со стрелкой 12 мм даёт уменьшение несущей способности около 5 %, в то время как такое же смалкование уменьшает критическую силу на 17 %. Критические силы стержней с местными погибями полков уголков уменьшаются при увеличении стрелки погибей.

Следует отметить, что предложенные решения усиления показали довольно хорошую эффективность. В частности, критические силы усиленных стержней с общими выгибами (и таврового, и крестового сечений) оказались порядка на 30–40 % выше критических сил эталонных стержней (без деформаций).

Таким образом, результаты проведенной работы дают возможность сделать следующие **выводы**:

1. Предложенные технические решения усиления под нагрузкой деформированных сжатых стержней стальных стропильных ферм надёжны и легко выполнимы.

2. Несущая способность стержня зависит от величины стрелки местного погиба полки уголка: при большем погипе наблюдается меньшая несущая способность.

3. Местное смалкование полков уголков стержней в большей степени снижает их несущую способность, чем размалкование, при одинаковой стрелке и длине волны погиба.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Иванов Ю.В. Реконструкция зданий и сооружений: усиление восстановление и ремонт. М.: изд-во АСВ, 2012. 312 с.

2. 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. 100 с.

3. Пособие по проектированию усиления стальных конструкций (к СНиП II-23-81*) / Укрниипроект-стальконструкция. М.: Стройиздат, 1989. 98 с.

4. Руководство по усилению элементов металлоконструкций с применением сварки / ЦНИИпроект-стальконструкция. М., 1979. 60 с.

5. 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.

6. 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.

7. Родионов И.К. Усиление сжатых стержней стальных ферм покрытия и сварочные деформации // Градостроительство и архитектура. 2017. Т.7, № 3. С. 10–13. DOI: 10.17673/Vestnik.2017.03.2.

REFERENCES

1. Ivanov Yu.V. *Rekonstrukciya zdaniy i sooruzhenij: usilenie vosstanovlenie i remont* [Reconstruction of build-

ings and structures: strengthening restoration and repair]. M., ASV, 2012. 312 p.

2. *Metallicheskie konstrukcii. V 3 T. T 3. Stal'nye sooruzheniya, konstrukcii iz alyu-minievoyh splavov. Rekonstrukciya, obsledovanie, usilenie i ispytanie konstrukcij zdaniy i sooruzhenij. (Spravochnik proekti-rovshchika). Pod obshch. red. V.V. Kuznecova (CNII proektstal'-konstrukciya im. N.P. Mel'nikova)* [Metal structures: 3 V. vol. 3. Steel structures, structures from aluminum alloys. Reconstruction, inspection, strengthening and testing of structures of buildings and structures: (designer's guide) / under total. ed. V.V. Kuznetsov (TsNII proektstal'-konstruktsiya named after N.P. Melnikov)]. M., ASV, 1999.

3. *Posobie po proektirovaniyu usileniya stal'nyh konstrukcij (k SNIp II-23-81*) / Ukrmiiproektstal'konstrukciya* [Manual for the design of reinforcement of steel structures (to SNIp II-23-81 *)]. M., Strojizdat, 1989.

4. *Rukovodstvo po usileniyu elementov metallokonstrukcij s primeneniem svarki. CNIIproektstal'konstrukciya* [Guidelines for strengthening elements of metal structures using welding]. M., 1979.

5. 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. DOI: 10.17673/Vestnik.2020.02.1. (in Russian)

6. Rodionov I.K., Rodionov I.I. Results of experimental research of the work of compressed rods with general deformations, strengthened with welding. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2019, vol. 9, no. 1, pp. 10–14. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.01.2. (in Russian)

7. Rodionov I.K. Enhancing compressed rods of steel coating farms and their welding deformations *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2017, vol. 7, no. 3, pp.10–13. DOI: 10.17673/Vestnik.2017.03.2. (in Russian)

Об авторах:

РОДИОНОВ Игорь Константинович

кандидат технических наук, доцент кафедры городского строительства и хозяйства 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 Urban Construction and Management Chair
Togliatti State University
Institute of Architecture and Civil Engineering
445020, Russia, Togliatti, st. Ushakov, 59,
tel.: 8 917 129-71-55
E-mail: riklt@mail.ru

САФРОНОВ Евгений Геннадьевич

кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры экономики промышленности и производственного менеджмента
Самарский государственный технический университет
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244
E-mail: ewgenijsafronow@yandex.ru

SAFRONOV Evgeniy G.

PhD in Economic Sciences, Associate Professor the Industrial Economics and Industrial Management Chair
Samara State Technical University
443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244
E-mail: ewgenijsafronow@yandex.ru

Для цитирования: Родионов И.К., Сафронов Е.Г. Усиление под нагрузкой деформированных сжатых стержней стальных стропильных ферм // Градостроительство и архитектура. 2021. Т.11, № 3. С. 26–31. DOI: 10.17673/Vestnik.2021.03.04.

For citation: Rodionov I.K., Safronov E.G. Reinforcement Under Load of Deformed Compressed Steel Rail Truss. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2021, vol. 11, no. 3, pp. 26–31. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2021.03.04.