

И.К. РОДИОНОВ**УСИЛЕНИЕ СТАЛЬНОЙ ФЕРМЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ СВАРКИ****REINFORCEMENT OF STEEL TRUSS BY WELDING**

Представлена экспериментально полученная информация об особенностях работы стальной фермы, усиливаемой под нагрузкой путём увеличения сечения сжатых стержней с применением сварки. Испытания проводились на стенде с использованием имеющейся оснастки. Усилению подвергались два раскоса и две панели верхнего пояса уголкового фермы с параллельными поясами пролётом 24 м. Увеличение сечения стержней достигалось путём присоединения на сварке стержневых элементов усиления. Сварка выполнялась вручную; контролировались её ток, напряжение и скорость. После усиления конструкция нагружалась до потери несущей способности. На всем протяжении испытаний проводилось наблюдение за работой фермы. С помощью тензодатчиков регистрировались напряжения в стержнях фермы, элементах усиления и фасонках. Контроль за выгибамися стержней, прогибамися фермы производился с помощью прогибомеров Максимова.

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

Подъем промышленности в России невозможен без реконструкции производственных зданий. В большинстве это здания с каркасом из стали. Многие претерпели износ. Доведение их до современного уровня требует, как правило, усиления отдельных несущих конструкций, в том числе ферм покрытия. В основном это фермы со стержнями из парных уголков. Усиление таких ферм наиболее часто достигается увеличением сечений отдельных стержней путем присоединения на сварке дополнительных стержневых элементов.

Вопросы работы и расчета стальных ферм получили отражение в технической литературе [1–8]. В области усиления стержней методом увеличения сечения наиболее известны работы Б.И. Десятова [9], Р. Кизингера [10], В.М. Колесникова [11], И.С. Реброва [12]. Авторы исследовали в основном напряженное состояние усиленных элементов с экспериментальным подтверждением теоретических положений на отдельных стержневых элементах. Сам процесс усиления и его технологические моменты не исследовались. Экспериментальное исследование на конструкции фермы проводилось только Р. Кизингером, и лишь при усилении растянутых стержней. И.С. Ребровым на математической модели исследовалось влияние сварки на работу фермы: была получена

The paper presents experimentally obtained information about the features of the steel truss, reinforced under load by increasing the cross-section of compressed rods by welding. The tests were conducted on the bench using existing tooling. Two crossbeams and two panels of 24 m span corner truss upper chord with parallel chords were exposed to reinforcement. Increase of rods in thickness was obtained by welding of amplifier rod elements. The welding operation was conducted in a manual way to control its voltage and speed. After reinforcement the structure was loaded up to strength loss. During tests truss work was carefully controlled. Truss rods, amplifier elements and corner plates stresses were registered with tensiometers. Maximov deflection indicators werw used to control reinforced rods and truss curves

Key words: experiment, steel truss, reinforcement under load, increase rods section, manual welding

информация об увеличении прогибов фермы при усилении ее стержней.

Цель исследования данной работы – подтверждение на конструкции теоретически полученных закономерностей, в особенности главной из них: возможности регулирования сварочных деформаций путем варьирования технологических параметров сварки при усилении сжатых стержней [13]. Кроме того, необходимо было получить информацию о работе стержней, усиливаемых в составе конструкции, о влиянии производимой сварки на напряжённое состояние остальных элементов фермы и в целом конструкции.

Исследование проводилось в два этапа на уголкового ферме с параллельными поясами, пролётом 24 м, на стенде с использованием имеющейся оснастки (рис. 1).

Первый этап включал в себя обкатку фермы с целью выяснения вопроса соответствия ее работы теоретическим предпосылкам. На втором этапе производилось усиление конструкции.

Усилению методом увеличения сечения подвергались четыре стержня (рис. 2): третьи от опор раскосы (P_3 и P_3^1) и средние панели верхнего пояса (B_4 и B_4^1) при усилиях, равных 0,8 (для P_3^1 , B_4 и B_4^1) и 0,9 (для P_3)

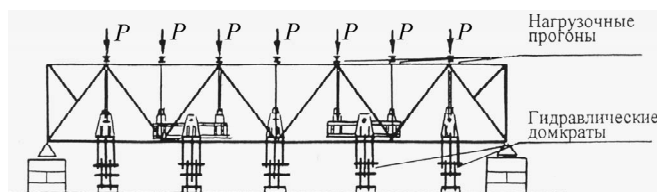


Рис. 1. Схема стэнда

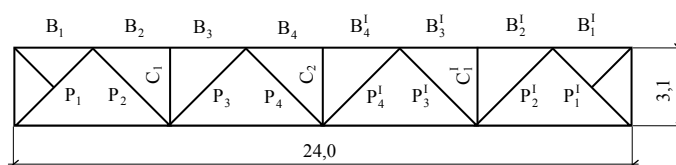


Рис. 2. Маркировочная схема фермы

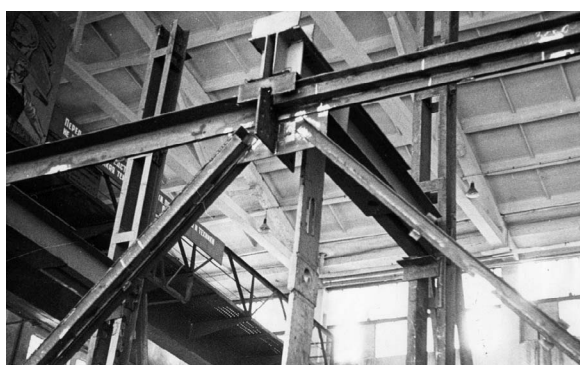


Рис. 3. Узел усиленной фермы

от нормативной (по σ_T) величины несущей способности. Усиливающие элементы – уголки; схема усиления – «коробочка» (рис. 3).

Каждый уголок усиления с двумя датчиками присоединялся сначала на прихватках, с последующей наплавкой связующих швов: первоначально по концам, сплошные в пределах фасонки, затем прерывистые промежуточные швы. Порядок наплавки промежуточных швов варьировался при усилении разных стержней. Сварка велась вручную при этом контролировались параметры режима – ток, напряжение, скорость.

Напряжённое состояние стержней и фасонки наблюдалось с помощью тензодатчиков. Тензодатчики с базой 20 мм были закреплены после установки фермы на стэнде в средних сечениях стержней (всего 6 датчиков – 4 по перьям и 2 по обухам) и на фасонках, примыкающих к усиливаемым элементам (розетки из 3-х датчиков). Общее количество тензодатчиков на ферме составило 120 штук (рис. 4).

Изменения прогибов усиливаемых стержней в плоскости и из плоскости фермы регистрировались с помощью прогибомеров Максимова. Прогибы фермы контролировались в пяти нижних узлах, включая опорные (рис. 4). Снятие показаний по приборам производилось после выполнения каждого этапа

сварки (отмечено цифрами на рис. 5, а). Максимальный отсчёт снимался в течение 4–5 мин. наблюдений.

Предварительные испытания (обкатка) усиленной конструкции дали результаты, свидетельствующие о достоверности проводимого эксперимента: экспериментальные значения усилий $N_{\text{Э}}$ в стержнях, определённые с учётом собственного веса фермы, лишь незначительно отличались от теоретически полученных значений N_T . Максимальная конструктивная поправка $K_{\text{Э}} = N_{\text{Э}}/N_T$ составила $K_{\text{Э}} = 0,934$ в раскосе P_4^1 , минимальная – $K_{\text{Э}} = 0,997$ в панели нижнего пояса H_2 .

Как показали испытания, в процессе сварки изменялось напряжённое состояние усиливаемых стержней. При наплавке концевых швов, в подтверждение теории, это изменение – минимальное: напряжения изменялись незначительно, прогибы практически не изменялись. При наплавке промежуточных швов изменения были более значительные: идёт перераспределение напряжений в среднем сечении, изменяются прогибы.

По мере увеличения длины промежуточных швов происходило уменьшение сжимающих напряжений (и даже переход в растягивающие) в перьях основных уголков и увеличение сжимающих напряжений в обухах. Такое перераспределение

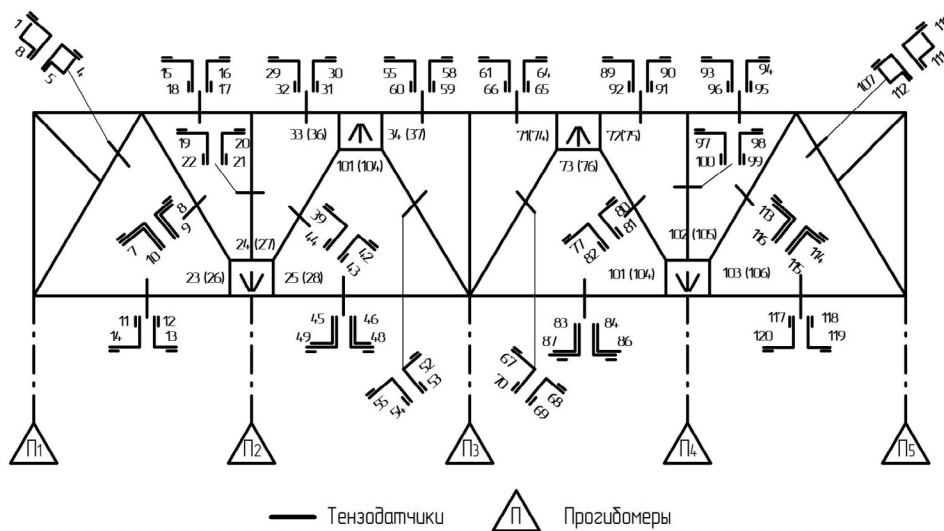


Рис. 4. Схема расстановки тензодатчиков и прогибомеров

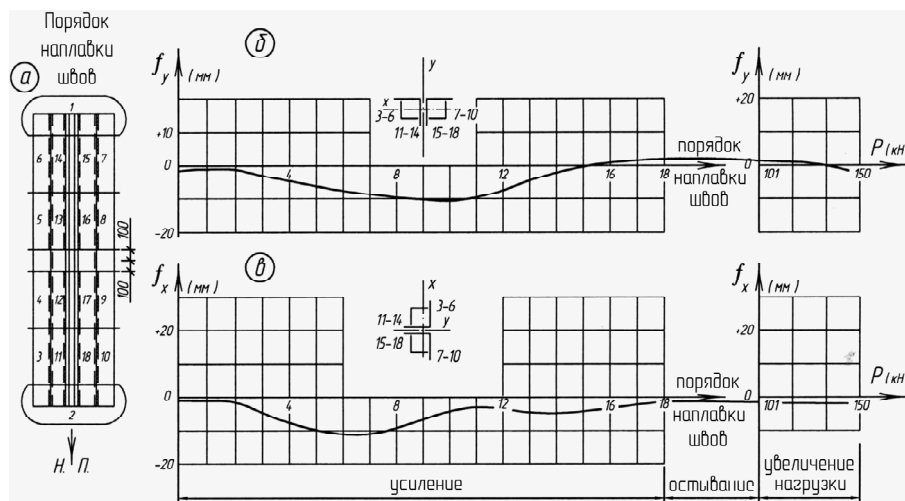


Рис. 5. Графики изменения прогибов раскоса P₃:
а – порядок сварки; б – прогибы в направлении оси «Y»; в – прогибы в направлении оси «X»

напряжений, происходящее при усилении сжатых стержней, объясняется наложением полей сварочных напряжений на эпюры напряжений, имеющих в усиливаемых стержнях от нагрузки. В большей степени оно имело место при усилении раскосов. В среднем в результате усиления (после остывания элементов) уменьшение сжимающих напряжений в перьях уголков раскосов составило 10 кН/см². Увеличение сжимающих напряжений в обухах уголков усиливаемых раскосов в результате усиления составило порядка 10–14 кН/см².

При усилении стержней верхнего пояса В₄ и В₁₄ такое перераспределение напряжений носило менее выраженный характер, что объясняется, во-первых, более мощным сечением уголков основных стержней (2L140×10 по сравнению с 2L90×8 для раскосов) и, во-вторых, большим удалением сварных швов от кромок перьев уголков.

Изменения прогибов носили выраженный характер остаточных, что определяется, по-видимому, быстрым остыванием металла швов (рис. 5). Направление их довольно чётко зависело от положения швов в сечении. Так, наплавка швов 3–10 ($\Sigma l_w \approx 445$ см, $k_f = 5-6$ мм) при усилении раскоса P₃ (2L90×8 двумя L63×6) приводила к появлению прогибов в направлении отрицательной оси «Y». Швы 11–18 ($\Sigma l_w \approx 441$ см, $k_f = 5-6$ мм) создавали прогибы в направлении положительной оси.

Все эти характерные моменты напряжённого состояния подтверждались в целом на всех усиливаемых стержнях.

Наблюдения за работой фасонки и стержней, примыкающих к усиливаемым элементам, показали лишь незначительные изменения напряжений в фасонках при наплавке концевых швов, исчезающие с остыванием усиливаемых стержней. Прогибы

фермы в процессе сварки не изменялись, что не подтверждает результаты, полученные на математической модели автором работы [9].

Полученные результаты позволили сделать следующие выводы:

1) процесс усиления (наложения сварных швов) приводит к изменению напряженно-деформированного состояния сжатых, усиливаемых методом увеличения сечения стержней стальных уголковых ферм: происходит перераспределение напряжений в сечениях; появляются общие деформации изгиба усиливаемых сжатых элементов;

2) перераспределение напряжений и изгиб связаны с наложением промежуточных сварных швов; при наплавке концевых швов изменения напряжений в усиливаемых стержнях крайне незначительны, изгиб не наблюдается;

3) величина изменений напряжений и стрелок выгиба усиливаемых стержней прямо пропорциональна размерам накладываемых связующих швов;

4) величина стрелок сварочных выгибов усиливаемых сжатых стержней зависит от их расчётной длины и жёсткости сечений: чем больше длина и меньше жёсткость, тем больше стрелки выгиба, и наоборот;

5) направление стрелок выгиба сжатых усиливаемых стержней зависит от положения связующих швов в сечении; это может быть использовано при усилении в качестве фактора регулирования амплитуды прогиба путём варьирования порядка наплавки связующих швов по сечению;

6) процесс усиления практически не оказывает влияния на прогибы усиливаемой конструкции фермы, на работу фасонки, примыкающих к усиливаемым сжатым стержням, и стержней, смежных с усиливаемыми.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Галабурда М.А.* Расчёт ферм на неподвижную нагрузку: учебное пособие [Электронный ресурс]. М.: Московская государственная академия водного транспорта, 2006. 59 с. Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/46757> (дата обращения: 15.01.2017).

2. *Демидов Н.Н.* Усиление стальных конструкций [Электронный ресурс]: учебное пособие. М.: Московский

государственный строительный университет, Ай Пи Эр Медиа, ЭБС АСВ, 2016. 85 с. Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/49869> (дата обращения: 15.01.2017).

3. *Дмитриева Т.Л.* Методика и алгоритмы решения задач строительной механики с использованием программных средств. Ч. 2. Расчет плоских ферм в программах EXCEL, MATHCAD, COMPASS // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2014. №2. С.126–134.

4. *Иванов Ю.В.* Реконструкция зданий и сооружений: усиление, восстановление и ремонт. М.: АСВ, 2012. 312 с.

5. *Мандриков А.П.* Примеры расчета металлических конструкций: учебное пособие. 3-е изд., стер. СПб.: Изд-во «Лань», 2012. 432 с.: ил. (Учебники для вузов. Специальная литература).

6. Строительство, реконструкция, капитальный ремонт объектов капитального строительства. Нормативные документы на строительные конструкции и изделия. Металлические конструкции [Электронный ресурс]: сборник нормативных актов и документов/Электрон. текстовые данные. Саратов: Ай Пи Эр Медиа, 2015. 469 с. Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/30248> (дата обращения: 16.01.2017).

7. *Яковлева М.В., Фролов Е.А., Фролов А.Е.* Строительные конструкции. Подготовка, усиление, защита от коррозии: учебное пособие. М.: Форум: НИЦ ИНФРА-М, 2015. 208 с.

8. *Яковлева М.В., Фролов Е.А., Фролов А.Е.* Строительные конструкции. Подготовка, усиление, защита от коррозии. Самара, 2010. 196 с.

9. *Десятов Б.И.* Исследование работы усиленных под нагрузкой элементов сварных стальных ферм: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М.: МИСИ, 1968.

10. *Кизингер Р.* Исследование напряжённого состояния растянутых стержней металлических ферм при их усилении под нагрузкой: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М.: МИСИ, 1973.

11. *Колесников В.М.* Исследование работы некоторых стальных конструкций и отдельных элементов, усиленных под нагрузкой: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Л.: ЛИСИ, 1967.

12. *Ребров И.С.* Усиление стержневых металлических конструкций. (Методы расчета, анализ работы конструкций, проектирование усиления): автореф. дис. ... докт. техн. наук. Л.: ЛИСИ, 1988.

13. *Родионов И.К.* Сварочные технологии регулирования напряженного состояния усиливаемых сжатых стержней стальных ферм покрытий: монография. Самара, 2006.

Об авторе:

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,
тел. 8-917 129-71-55
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

Для цитирования: Родионов И.К. Усиление стальной фермы с применением сварки // Градостроительство и архитектура. 2017. Т. 7, № 1. С. 26-29. DOI: 1017673/Vestnik.2017.01.4.

For citation: Rodionov I.K. Reinforcement of steel truss by welding // Urban Construction and Architecture. 2017. V. 7, № 1. Pp. 26-29. DOI: 1017673/Vestnik.2017.01.4.