

И. К. РОДИОНОВ
И. И. РОДИОНОВ

К ВОПРОСУ ТЕПЛОВОГО ОСЛАБЛЕНИЯ РАСТЯНУТЫХ СТЕРЖНЕЙ СТАЛЬНЫХ ФЕРМ ПОКРЫТИЙ, УСИЛИВАЕМЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ СВАРКИ

TO THE QUESTION OF THERMAL WEAKENING OF STRETCHED RODS
OF STEEL TRUSSES OF COATINGS REINFORCED BY WELDING

Рассмотрены вопросы теплового ослабления, развивающегося в процессе усиления методом увеличения сечения с применением сварки растянутых стержней стальных ферм покрытия. Решая вопрос о порядке наплавки швов, указано, что все возможные предлагаемые в разных источниках технологии присоединения элементов усиления можно свести к двум основным, принципиально разным сварочным технологиям. Приведено теоретическое обоснование рациональной сварочной технологии усиления растянутых элементов, позволяющей сваривать усиливаемые и усиливающие стержни при полной расчётной нагрузке. Даны критерии безопасного проведения сварочных работ при усилении растянутых стержней методом увеличения сечений.

Ключевые слова: стальные фермы, растянутые стержни, усиление, сварка, критерии безопасного проведения усиления

Российская Федерация обладает огромным количеством промышленных предприятий, требующих реконструкции. В значительном большинстве это здания каркасного типа с несущими конструкциями из стали. Многие претерпели к настоящему времени определённый износ. Факторы износа и вероятного увеличения нагрузок на каркасы неизбежно потребуют усиления основных несущих конструкций, в том числе и стальных ферм покрытия.

Часто и эффективно усиление таких ферм достигается увеличением сечений отдельных, наиболее напряжённых, в том числе и растянутых, стержней путём присоединения к ним на сварке дополнительных стержневых элементов.

Сварка – это, с одной стороны, все её технологические моменты, с другой – все её последствия (разогрев, деформации), т. е. всё то, что негативным образом влияет на работу как свариваемых, так и сваренных стержней.

Влияние сварки на работу растянутых стержней комплексно не исследовалось ни в одной из известных работ в области усиления [1, 2]. Этим объясняется разноречивость различ-

The issues of thermal weakening, which develops in the process of strengthening by the method of increasing the section with the use of welding of tensioned rods of steel roof trusses, are considered. Solving the issue of the order of surfacing of seams, it is indicated that all possible technologies for attaching reinforcement elements proposed in different sources can be reduced to two main, fundamentally different welding technologies. The theoretical substantiation of a rational welding technology for strengthening stretched elements is given: it allows welding reinforced and reinforcing rods at full design load. Criteria are given for the safe conduct of welding operations when strengthening stretched rods by the method of increasing sections.

Keywords: steel trusses, tension rods, reinforcement, welding, criteria for safe reinforcement

ных рекомендаций по технологиям усиления [1–7], создающая серьёзные проблемы для эксплуатационников. Особо следует отметить, что без привязки к технологиям сварки предлагаются разные величины предельно допускаемых при усилении нагрузок: 0,4–0,8 от предельных расчётных для усиливаемых элементов.

Анализ результатов многочисленных исследований показывает, что при эксплуатации промышленных зданий довольно часто имеет место скопление пыли на покрытиях, образование плотных, тяжёлых корок, увеличивающих постоянную составляющую нагрузок. При этом фермы могут работать под нагрузками, близкими к предельным расчётным. Учитывая ещё и проблему коррозии, выполнение существующих рекомендаций по ограничению уровня нагрузок при усилении, в большинстве случаев требует разгрузку ферм от части покрытия, что влечёт за собой не только расходы, но и потери от остановки производственных процессов внутри реконструируемых зданий.

В данной статье приводятся некоторые результаты исследований напряженно-

деформированного состояния растянутых стержней в процессе их усиления методом увеличения сечения. Целью их являлась разработка рациональной сварочной технологии усиления высоконапряженных растянутых стержней из парных уголков стальных стропильных ферм, а также выявление критериев определения предельно допустимой при усилении нагрузки.

Задачу определения тепловых ослаблений можно рассмотреть на простейшем примере наплавки шва на полосовой элемент (рис. 1), учитывая то, что уголкового стержня фермы фактически представляет собой полосовые пластины, жёстко соединенные друг с другом в единое целое.

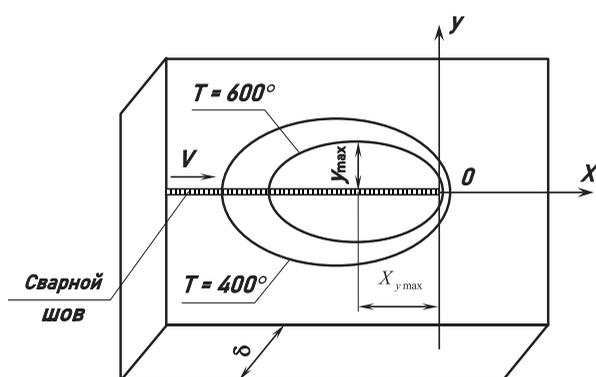


Рис. 1. К вопросу определения разогрева полосы

В процессе перемещения сварочной дуги будет иметь место разогрев полосы и в продольном, и в поперечном направлении. Температуру каждой точки в данном случае можно определить с достаточной для инженерных расчётов точностью по схеме подвижного линейного источника постоянной погонной мощности $q_{\text{п}}$ [8]:

$$T(y, t) = \frac{q_{\text{п}}}{\delta \sqrt{4\pi\lambda c\eta}} \cdot e^{-\frac{y^2}{4at}}, \quad (1)$$

где δ – толщина полосы; a – коэффициент теплоотдачи; c – удельная массовая теплоёмкость; γ – объёмная плотность материала; λ – коэффициент теплопроводности.

Величина погонной тепловой мощности сварки $q_{\text{п}}$ может быть определена как

$$q_{\text{п}} = \frac{0,24\eta UJ}{V}, \quad (2)$$

где η – эффективный КПД процесса нагрева (при сварке металлическими электродами $\eta = 0,7-0,85$ [9]; U – падение напряжения на дуге; J – сварочный ток; V – скорость сварки.

Таким образом, в конкретный момент времени t разогрев элемента будет определяться соответствующим распределением изотерм (см. рис. 1).

Величина теплового ослабления полосы может быть определена площадью сечения, которая выключается в процессе сварки из работы, т. е. потеряет способность сопротивляться развитию деформаций. Температура, при которой материал становится неспособным к сопротивлению, называется расчётной. Для низкоуглеродистой стали такой расчётной температурой считается $T_p = 600$ °С [8].

Исходя из вышеизложенного, величина площади ослабления сечения будет определяться как

$$A = 2Y_{\text{max}} \delta, \quad (3)$$

где $2Y_{\text{max}}$ – искомая максимальная ширина развития «пятна» ослабления, т. е. площади, ограниченной изотермой $T = 600$ °С (см. рис. 1).

Примем в выражении (1) $T(y, t) = 600$ °С, $t = x/V$, подставим численные значения $c = 0,16$ кал/г·°С, $\gamma = 7,87$ г/см³, $\lambda = 0,107$ кал/см·с·°С, $a = 0,0845$ см²/с и из полученного уравнения найдём y :

$$y = \pm \sqrt{\frac{x \ln(q_{\text{п}}/774\delta\sqrt{x/V})}{\pi V}}. \quad (4)$$

Продифференцируем функцию (4) по x , приравняем полученное выражение нулю, т. е. $dy/dx = 0$, и определим x , при котором Y имеет экстремальное значение:

$$X_{y \text{ max}} = \frac{q_{\text{п}}^2 V}{774^2 \delta^2 e}. \quad (5)$$

Подставив (5) в (4), получим выражение для определения Y_{max} , т. е. максимальной ординаты «пятна» ослабления, заключённого внутри изотермы 600 °С (см. рис. 1):

$$Y_{\text{max}} = \pm \frac{q_{\text{п}}}{3200\delta}. \quad (6)$$

Как видно из выражения (6), величина Y_{max} зависит от погонной энергии сварки и толщины элемента, что позволяет сделать вывод о принципиальной возможности регулирования «пятна» ослабления путём варьирования технологическими параметрами сварочного процесса.

В случае усиления при наплавке связующих сварных швов, тепловая энергия дуги распределяется на основной (усиливаемый) и дополнительный (усиливающий) элементы. При

сварке угловых сварных соединений части погонной энергии, вводимой в свариваемые элементы, могут быть определены в зависимости от соотношения толщин. В частности, в случае таврового соединения (рис. 2) погонные энергии, вводимые в основной и усиливающий элементы, могут быть вычислены в соответствии с [9] по формулам:

$$q_{\Pi}^0 = q_{\Pi} \frac{2\delta_0}{2\delta_0 + \delta_y}; \quad (7)$$

$$q_{\Pi}^y = q_{\Pi} \frac{\delta_y}{2\delta_0 + \delta_y}, \quad (8)$$

где q_{Π} – полная погонная энергия сварки; δ_0 , δ_y – толщина соответственно полос или полок уголков основного стержня и элемента усиления (см. рис. 2).

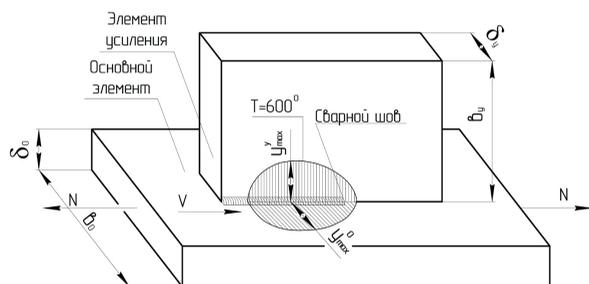


Рис. 2. К расчёту тепловых ослаблений в соединении

Приведённые формулы справедливы и для низколегированных, и для низкоуглеродистых сталей и дают достаточно точные результаты при соотношении толщин $\delta_0/\delta_y \leq 1,7$. Учитывая (6) – (8), максимальная ширина «пятен» теплового ослабления сваркой основного и усиливающего элементов (см. рис. 2) может быть определена как

$$Y_{\max}^0 = \pm \frac{q_{\Pi}^0}{3200\delta_0}; \quad (9)$$

$$Y_{\max}^y = \frac{q_{\Pi}^y}{3200\delta_y}. \quad (10)$$

Общий подход к решению проиллюстрируем на конкретном примере усиления. Основной стержень примем в виде полосы с пластинами по концам, имитирующими фасонки ферм. Элемент усиления примем также полосовой, с присоединением к основному на сварке втавр (рис. 3).

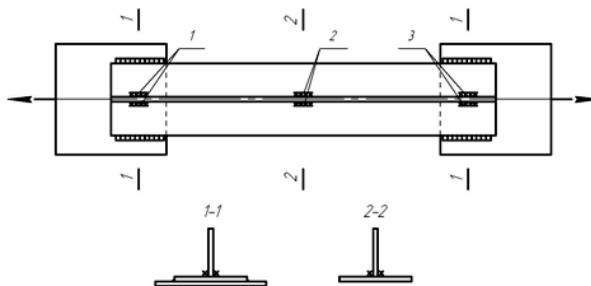


Рис. 3. К вопросу о порядке наплавки сварных швов

Несущая способность растянутых стержней определяется прочностью в пределах упругой работы. В процессе усиления важнейшим моментом являются их тепловые ослабления: выпадение из работы частей сечений, разогретых выше температуры, при которой сталь перестает сопротивляться деформациям.

Решая вопрос о порядке наплавки швов, можно заметить, что все возможные (предлагаемые в разных источниках) технологии присоединения элементов усиления можно свести к двум основным, принципиально разным сварочным технологиям (см. рис. 3):

- первая – с наплавкой первоначально сварных швов поз. 2, а затем швов поз. 1 и 3 по концам усиливаемого элемента;
- вторая, наоборот, – с первоначальной наплавкой швов поз. 1 и 3 по концам основного стержня (в пределах фасонки) и последующим нанесением швов поз. 2.

Рассмотрим влияние каждой технологии на напряженное состояние усиливаемого стержня.

При усилении по первой технологической схеме первоначальная наплавка швов поз. 2 приводит к появлению теплового ослабления основного стержня («пятно» внутри изотермы 600 °С) и, таким образом, уменьшению его несущей способности. Элемент усиления ещё не работает: совместная работа обоих стержней достигается лишь наплавкой швов по концам.

Отсюда, условие обеспечения несущей способности стержня в процессе усиления (сварки) следует рассматривать по сечению 2–2; оно будет иметь вид:

$$(A_0 - A_0^{CB})\sigma_T^0 \geq N, \quad (11)$$

где N – усилие, действующее в основном стержне; σ_T^0 – предел текучести материала основного стержня; A_0 – площадь сечения основного стержня; A_0^{CB} – площадь теплового ослабления сечения основного стержня; определяется в зависимости от погонного тепловложения, типа соединения, толщин свариваемых элементов.

При усилении по второй технологической схеме наплавка швов поз. 1 и 3 приводит к тепловому ослаблению основного стержня, но оно может быть компенсировано сечениями фасонки; при последующей наплавке швов поз. 2 (после остывания швов поз. 1 и 3) основной и усиливающий элементы получают ослабление, но работают совместно.

В этой связи несущую способность усиливаемого стержня в данном случае необходимо рассматривать по сечениям 1-1 и 2-2 (см. рис. 3). Условие обеспечения несущей способности усиливаемого стержня по сечению 1-1 будет выражаться следующей формулой:

$$(A_0 - A_0^{CB})\sigma_T^o + A_\phi\sigma_T^\phi \geq N, \quad (12)$$

где σ_T^ϕ – предел текучести материала фасонки; A_ϕ – минимальная площадь сечения фасонки (сечение 1-1).

Условие обеспечения несущей способности усиливаемого стержня по сечению 2-2 будет иметь вид:

$$(A_0 - A_0^{CB})\sigma_T^o + (A_y - A_y^{CB})\sigma_T^y \geq N, \quad (13)$$

где σ_T^y – предел текучести материала элемента усиления; A_y – площадь сечения элемента усиления; A_y^{CB} – площадь ослабления сваркой сечения элемента усиления; определяется в зависимости от погонного тепловложения, типа соединения, толщин свариваемых элементов.

Рассмотрим теперь неравенства (11)–(13) с позиции назначения предельно допустимой при усилении нагрузки. Для этого произведём преобразование, введя в неравенства выражение несущей способности основного стержня до усиления $[N] = \sigma_T^o A_0$.

Неравенство (11) в этом случае примет вид:

$$[N] (1 - A_0^{CB}/A_0) \geq N. \quad (14)$$

Таким образом, рассматривая неравенство (14), можно сделать вывод, что усиление растянутого стержня в случае наплавки соединительных швов сначала между фасонками с последующим соединением концов основного и усиливающего стержней возможно лишь при усилении в нём N , находящемся в пределах определенной доли несущей способности, т. е. $N \leq K[N]$, где коэффициент ослабления $K = 1 - A_0^{CB}/A_0$, $0 \leq K < 1$ зависит от погонного тепловложения при сварке, геометрических размеров сечений элементов, схем их соединения.

Неравенства (2) и (3) в результате преобразований примут следующий вид:

$$N \leq [N] + (A_\phi\sigma_T^\phi - A_0^{CB}\sigma_T^o), \rightarrow \quad (15)$$

$$N \leq [N] + (A_y\sigma_T^y - A_y^{CB}\sigma_T^y - A_0^{CB}\sigma_T^o). \quad (16)$$

Выражения (15) и (16) определяют критерии возможности проведения усиления растянутых стержней по 2-й технологической схеме, т. е. с соединением сначала концов основного и усиливающего стержней наплавкой швов в пределах фасонки с последующим нанесением остальных соединительных швов.

В данном случае возможно проведение усиления практически при усилении в стержне, равном его несущей способности. Для этого необходимо выполнение двух условий:

$$A_0^{CB}\sigma_T^o \leq A_\phi\sigma_T^\phi, \quad (17)$$

$$A_0^{CB}\sigma_T^o \leq (A_y - A_y^{CB})\sigma_T^y, \quad (18)$$

то есть ослабление сваркой основного стержня должно быть компенсировано, во-первых, сечениями фасонки и, во-вторых, неразогретой (выше 600 °C) частью сечения элемента усиления.

Приведенные выше теоретические выкладки были проверены экспериментально, на натуральных стержнях (см. рис. 3). Усиление стержней проводилось по 2-й технологической схеме при нагрузках, вызывающих усилия, абсолютно близкие к нормативным (определенным по σ_T) значениям несущей способности. Стержни были поделены на две группы. При испытании стержней 1-й группы сварка выполнялась на режимах, при которых по теории (формулы (17), (18)) должна была обеспечиваться (на пределе) их несущая способность. Образцы 2-й группы усиливались при более высоких значениях величин погонного тепловложения. По теории они должны были «потечь» при наплавке промежуточных швов (см. рис. 3, поз. 2).

На рис. 4 и 5 представлены графики продольных деформаций двух образцов (1-й и 2-й групп) в процессе их испытаний до потери несущей способности. Оба образца нагружались до текучести (0–1). Далее нагрузка немного сбрасывалась до стабилизации стержней (1–2) и производилась наплавка соединительных швов: сначала по концам в пределах фасонки, затем промежуточных.

Как видно из графиков, при наплавке всех швов на стержень 1-й группы удлинения не отмечались (точка 2). При наплавке же промежуточных швов на стержень 2-й группы имели место удлинения (площадка 2–3).

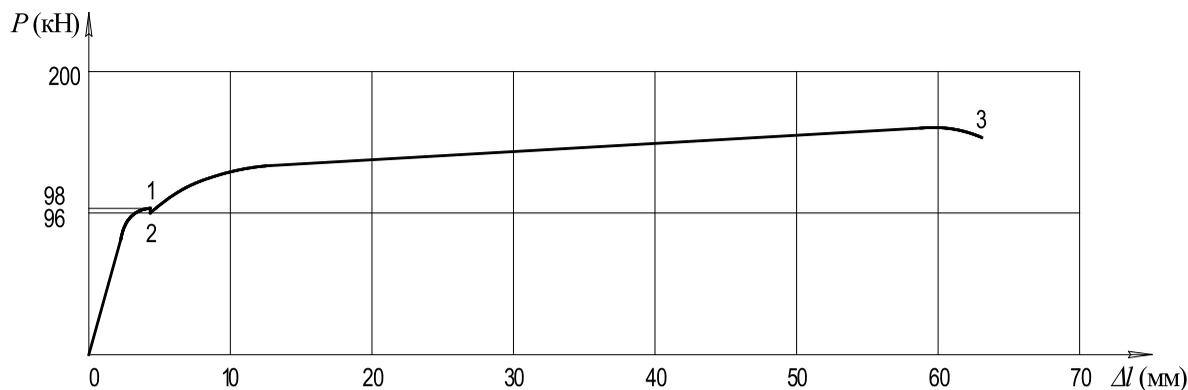


Рис. 4. Работа одного из стержней 1-й группы

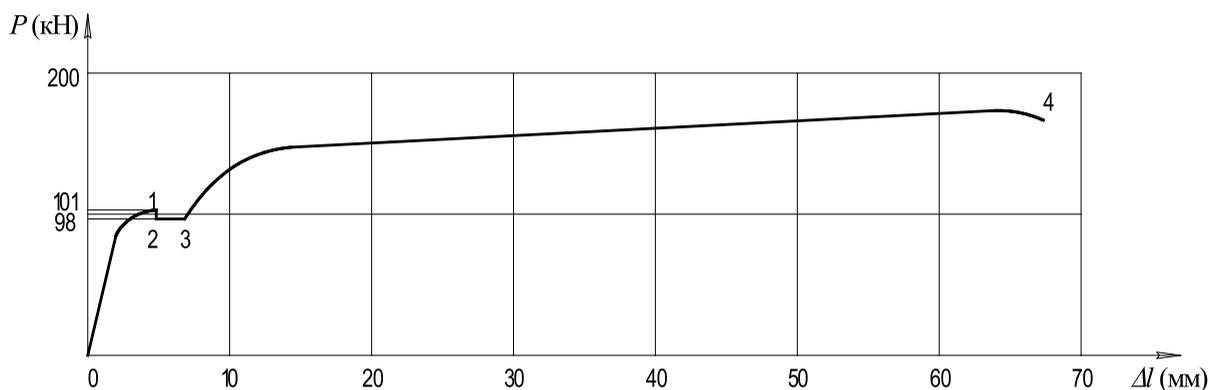


Рис. 5. Работа одного из стержней 2-й группы

Таким образом, полученные экспериментально результаты подтвердили теоретические обоснования, что дало возможность сделать следующие **выводы**:

1. Величины усилий, при которых возможно безопасное проведение усиления растянутых стержней, зависят от их сечений, сечений элементов усиления, прочностных характеристик основных и усиливающих элементов, а также технологических параметров сварки.

2. Усиление растянутых стержней стальных уголкового сварных ферм возможно при полной для них расчётной нагрузке. Для этого необходимо применение порядка сварки с наплавкой связующих швов сначала по концам (в пределах фасонки) и только затем, после их остывания, в промежуточных сечениях, а также применение режимов сварки, при которых величина теплового ослабления сечений усиливаемых стержней компенсируется сечениями фасонки и неразогретыми (выше 600 °С) частями сечений элементов усиления.

3. В случае применения порядка сварки с первоначальной наплавкой связующих швов по концам стержней и при известных сечениях

элементов усиления, безопасные режимы сварки при усилении растянутых уголкового стержней ферм вполне могут быть определены по предлагаемой методике.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Десятков Б.И. Исследование работы усиливаемых под нагрузкой элементов сварных стальных ферм: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М.: МИСИ, 1968. 26 с.
2. Кизингер Р. Исследование напряжённого состояния растянутых стержней металлических ферм при их усилении под нагрузкой: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М.: МИСИ, 1973. 26 с.
3. Бельский М.Р., Лебедев А.И. Усиление стальных конструкций. Киев: Будівельник, 1981. 100 с.
4. Валь В.Н., Горохов Е.В., Уваров Б.Ю. Усиление стальных конструкций одноэтажных производственных зданий при их реконструкции. М.: Стройиздат, 1987. 100 с.
5. Металлические конструкции: в 2 т. Т 2. Конструкции зданий / под ред. В.В. Горева. М.: Высшая школа, 1999. 100 с.
6. 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. М.: изд-во АСВ, 1999.

7. Ребров И.С. Усиление стержневых металлических конструкций. (Методы расчета, анализ работы конструкций, проектирование усиления): автореф. дис. ... докт. техн. наук. Л.: ЛИСИ, 1988. 28 с.

8. Рыкалин Н.Н. Расчёты тепловых процессов при сварке. М.: Mashgiz, 1951. 100 с.

9. Сварка. Резка. Контроль: в 2 т. / Н.П. Алёшин, Г.Г. Чернышёв, А.И. Акулов и др. ; под ред. Н.П. Алёшина, Г.Г. Чернышёва. М.: Машиностроение, 2004. 200 с.

10. Родионов И.К. Усиление сжатых стержней стальных ферм производственных зданий // Сварочное производство. 2009. №4. С. 25–29.

11. 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. 47–51.

12. Родионов И.К., Прошин И.В., Грак М.В. К вопросу усиления растянутых стержней стальных ферм покрытий промышленных зданий // Вестник НГИЭИ. 2014. №12(43). С. 69–74.

REFERENCES

1. Desjatov B.I. *Issledovanie raboty usiljaemyh pod nagruzkoy jelementov svar-nyh stal'nyh ferm*. Kand, Diss. [Study of operation of load-reinforced elements of welded steel trusses. Kand, Diss.]. Moscow, 1968. 26 p.

2. Kizinger R. *Issledovanie naprjazhjonogo sostojaniya rastjanutyh sterzhnej metal'licheskih ferm pri ih usilenii pod nagruzkoy*. Kand, Diss. [Stress study of stretched rods metal-licheskih trusses at their strengthening under load. Kand, Diss.]. Moscow, 1973. 26 p.

3. Belskij M.R. Lebedev A.I. *Usilenie stalnyx konstrukcij* [Reinforcement of steel structures]. Kiev, Budivelnik, 1981.

4. Val V.N., Goroxov E.V., Uvarov B.Yu. *Usilenie stalnyx konstrukcij odno-etaznyx proizvodstvennyx zdaniy pri ix rekonstrukcii* [Reinforcement of steel structures of single-storey industrial buildings during their reconstruction]. Moscow, Strojizdat, 1987.

5. *Metallicheskie konstrukcii. v 2t. T 2. Konstrukcii zdaniy. Pod red. zasl. deyat. nauki RF d.t.n. prof. V.V. Goreva* [Metal structures. In 2 v. V. 2. Constructions of buildings. Under the editorship of the Merit of the Deed of Science of the Russian Federation, Doctor of Technical Sciences, prof. V.V. Goreva]. Moscow, Vysshaya shkola, 1999.

6. *Metallicheskie konstrukcii. v 3t. T 3. Stalnye sooruzheniya konstrukcii iz alyuminievyx splavov. Rekonstrukciya obsledovanie usilenie i ispytanie konstrukcij zdaniy i sooruzhenij. (Spravochnik projektirovshhika). Pod obshh. red. V.V. Kuznecova (CNII proektstalkonstrukciya im. N.P. Melnikova)* [Metal structures. In 3 v. V. 3. Steel structures, constructions made of aluminum alloys. Reconstruction, inspec-

tion, reinforcement and testing of structures of buildings and structures. (Designer's Handbook). Under the general editorship of V.V. Kuznetsov (Central Research Institute of Projectstalconstruction named after N.P. Melnikov)]. Moscow, Izd-vo ASV, 1999.

7. Rebrov I.S. *Usilenie sterzhnevyyh metallicheskih konstrukcij (Metody rascheta analiz raboty konstrukcij proektirovanie usileniya) Avtoref. diss. ... doct. texn. nauk* [Reinforcement of rod metal structures (Calculation methods, analysis of the work of structures, reinforcement design). Autoref. diss. ... Doctor of Technical Sciences]. Leningrad, LISI, 1988.

8. Rykalin N.N. *Raschyoty teplovyx processov pri svarke* [Calculations of thermal processes during welding]. Moscow, Mashgiz, 1951.

9. *Svarka. Rezka. Kontrol. v 2 t. Sprav. T 1 N.P. Alyoshin G.G. Chernyshyov A.I. Aku-lov i dr. pod red. N.P. Alyoshina G.G Chernyshyova* [Welding. Cutting. Control. In 2 v.: Reference. V. 1 / N.P. Aleshin, G.G. Chernyshev, A.I. Akulov, etc.; edited by N.P. Aleshin, G.G. Chernyshev]. Moscow, Mashinostroenie, 2004.

10. Rodionov I.K. Reinforcement of compressed rods of steel trusses of industrial buildings. *Svarochnoe proizvodstvo* [Welding fabrication], 2009, no. 4, pp. 25–29. (in Russian)

11. Rodionov I.K. On the experimental study of a steel truss reinforced under load using welding. *Vektor nauki Tol'jattinskogo gosudarstvennogo universiteta* [Science vector of Togliatti State University], 2015, no. 2–1 (32–1), pp. 47–51. (in Russian)

12. Rodionov I.K., Proshin I.V., Grak M.V. On the issue of strengthening the stretched rods of steel trusses of coatings of industrial buildings. *Vestnik NGIIEI* [Bulletin NGIIEI], 2014, no. 12(43), pp. 69–74. (in Russian)

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

РОДИОНОВ Игорь Игоревич

специалист
ПАО «РОСБАНК»
443080, Россия, г. Самара, Московское шоссе, 23
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: riklt@mail.ru

RODIONOV Igor I.

Specialist
PJSC ROSBANK
443013, Russia, Samara, Moskovskoye hw, 23
E-mail: inmylave@mail.ru

Для цитирования: Родионов И.К., Родионов И.И. К вопросу теплового ослабления растянутых стержней стальных ферм покрытий, усиливаемых с применением сварки // Градостроительство и архитектура. 2023. Т. 13, № 2. С. 10–16. DOI: 10.17673/Vestnik.2023.02.2.

For citation: Rodionov I.K., Rodionov I.I. To the Question of Thermal Weakening of Stretched Rods of Steel Trusses of Coatings Reinforced by Welding. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2023, vol. 13, no. 2, pp. 10–16. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2023.02.2.