

УДК 624.07

© В. В. Михаськин, канд. техн. наук, доцент

© И. В. Астахов, канд. техн. наук, доцент

(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет,
Санкт-Петербург, Россия)

E-mail: mikhasvv81@rambler.ru, 3557710@mail.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2023-20-2-30-37

© V. V. Mikhaskin, PhD in Sci. Tech., Associate Professor

© I. V. Astakhov, PhD in Sci. Tech., Associate Professor

(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering,
St. Petersburg, Russia)

E-mail: mikhasvv81@rambler.ru, 3557710@mail.ru

К УСИЛЕНИЮ ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ, НАХОДЯЩИХСЯ ПОД НАГРУЗКОЙ

REGARDING THE REINFORCEMENT OF BENDING ELEMENTS OF STEEL STRUCTURES UNDER LOAD

Изложены основные факторы, сопутствующие процессам усиления стальных конструкций под эксплуатационной нагрузкой и снижающие его эффективность (начальные напряжения, деформативность элементов под нагрузкой, наличие потолочных швов и др.). Приведено описание предлагаемого метода усиления изгибаемых элементов на примере стальных прокатных двутавровых балок. Усиление предполагается полосой, привариваемой к нижним полкам двутавров через промежуточные П-образные элементы. Данная полоса, таким образом, играет роль своего рода затяжки. Метод позволяет снять проблему различной кривизны усиливаемого и усиливающего элементов, избежать наложения монтажных потолочных сварных швов и выполнить большинство сварных швов в заводских условиях.

Ключевые слова: усиление, сварочные напряжения, стальные конструкции, изгибаемые элементы, сварные швы.

The main factors accompanying the processes of reinforcement of steel structures under operational load and those reducing its effectiveness (initial stresses, deformability of elements under load, the presence of ceiling seams, etc.) are described. The proposed method of strengthening the bending elements on the example of steel I-beams is analyzed. Reinforcement is assumed to be a strip welded to the lower shelves of the I-beams through intermediate U-shaped elements. This strip, therefore, plays a kind of tightening role. The method allows solving the problem of different curvature of reinforced and reinforcing elements, avoiding overlapping of ceiling joints and performing most of the welding joints in factory conditions.

Keywords: reinforcement, welding stresses, steel structures, bending elements, welding joints.

Введение

Усиление стальных конструкций является достаточно непростой процедурой в связи с ее выполнением в условиях эксплуатируемых объектов различного назначения, неизбежно находящихся под определенным уровнем нагрузки.

Прежде всего определим, что исторически сложились и в настоящее время существуют три основных метода усиления:

1) увеличение площади поперечного сечения отдельных элементов конструкций;

2) изменение конструктивной схемы всего сооружения или отдельных его элементов;
3) регулирование напряжений.

Известно довольно много исследований в данном направлении [1–20], в том числе автора настоящей статьи. Прокомментируем некоторые из них.

На основе накопленного опыта усиления металлических конструкций М. Н. Лащенко заложены основы комплексного подхода к этой проблеме [9]. Им же выполнена достаточно подробная классификация видов одного из методов усиления — метода ре-

гулирования напряжений, позволяющего перераспределять усилия в элементах в выгодном направлении [10].

М. Р. Бельским исследована работа сжатых стержней, усиленных под нагрузкой предварительно напряженными элементами [1, 2]. Учитывались такие факторы, как упругопластическая работа и релаксация предварительного напряжения.

И. С. Ребровым рассматривались вопросы расчета усиления плоских стержневых конструкций произвольного типа, в том числе работа сжатых элементов, усиленных под нагрузкой. Одним из первых он исследовал влияние сварки на работу усиленных строительных конструкций. Однако рассматривался лишь частный случай — симметричные усиление и наложение швов [13, 14].

Наиболее общий случай усиления методом увеличения сечения рассмотрен Г. И. Белым и его учениками — несимметричное усиление сечения, в том числе с учетом сварочных напряжений и деформаций [3–5, 12]. Работа стали рассматривалась в упругопластической стадии, предельное состояние фиксировалось по критерию ограниченных пластических деформаций.

Работе под нагрузкой усиленных элементов ферм посвящены исследования Б. И. Десятова [8] и И. К. Родионова [15, 16].

В настоящее время применительно к стальным конструкциям проводятся исследования, например А. Р. Тусниным [20], по вопросу усиления композитными материалами (углеволокно, стекловолокно), преимуществом которых является отсутствие сварки, порождающей напряжения и деформации, снижающие эффективность усиления.

Известно, что усиление под нагрузкой существующего элемента, как правило, обладает рядом особенностей, негативно влияющих на эффективность усиления:

- усиливаемый элемент имеет начальные напряжения от эксплуатационной нагрузки, поскольку полноценная разгрузка редко

полностью возможна; при этом, согласно п. 18.3.9 СП 16.13330.2017, для элементов, подверженных тепловому воздействию сварки, напряжения в наиболее напряженном волокне в зависимости от номера группы конструкций не должны превышать $(0,2 \dots 0,8)R_y$;

- образование сварочных напряжений и деформаций вследствие практически мгновенного высокотемпературного нагрева и довольно быстрого охлаждения, которые возможно минимизировать последующими технологическими процессами лишь в условиях заводов металлических конструкций;

- в зоне действия дуги образуется зона расплава, формирующая кратковременное ослабление сечения, сопровождающееся появлением дополнительных деформаций, что может иметь значение при высоких уровнях напряжений, особенно характерных для крайних волокон, которые испытывают воздействие сварки;

- усиливаемый элемент имеет криволинейное очертание вследствие наличия прогибов, что препятствует полноценному сопряжению с ним прямолинейных элементов усиления фасонного проката (двутавров, швеллеров, уголков), обладающих значительной жесткостью в направлениях обеих главных осей (в отличие от листового проката);

- возможное наличие потолочных сварных швов (как правило, значительно худшего качества по сравнению со сварными швами, выполненными в нижнем положении) для присоединения элемента усиления, выполняемых в построечных условиях при отсутствии возможности кантования элемента.

Отсюда вытекают значительные трудности в снижении влияния данных эффектов и соблюдении предписаний нормативных документов, что диктует необходимость совершенствования конструктивных решений по усилению. Это позволит снизить негативное влияние некоторых приведенных факторов и тем самым повысить несущую способность усиленного элемента. В свете ска-

занного в данной статье предложен один из возможных методов.

Методы

Предлагаемый метод повышения несущей способности будем рассматривать на примере усиления несущих стальных балок, служащих для опирания конструкций второго света (рис. 1) Кухонного флигеля СПб ГБУК «Санкт-Петербургский государственный музей театрального и музыкального искусства» (Шереметьевский дворец).

Данные балки пролетом 10 м опираются на поперечные кирпичные стены. Балки составного сечения являются спаренными из двух пар двутавров I22a по ОСТ 16-1932, объединенных для обеспечения совместной работы стальными планками толщиной 6 мм, расположенными с шагом 1 м в трех уровнях (рис. 2). Общая устойчивость обеспечена за счет раскрепления соседних балок горизонтальными связями. На балки опираются кирпичные стены толщиной 400 мм и покрытие второго света, а также покрытие нижнего яруса. По результатам механических испытаний вырезанных образцов расчетное сопротивление стали составило 2100 кгс/см².

Проверочные расчеты показали, что несущая способность балок по прочности на действие максимального изгибающего момента



Рис. 1. Вид на перекрытие второго света

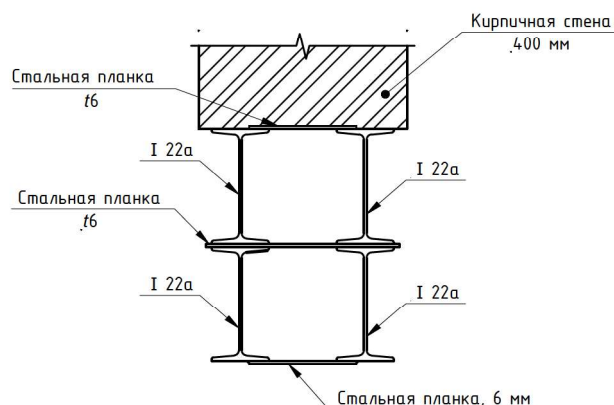


Рис. 2. Поперечное сечение несущей стальной составной балки

(43,03 тм) от действия расчетных нагрузок (вес покрытия, стенового ограждения, а также снеговая нагрузка) не обеспечена, коэффициент использования (отношение максимальных напряжений к расчетному сопротивлению) составил 1,29, максимальные напряжения составили 2700 кгс/см² (рис. 6), а момент сопротивления крайних (по высоте) волокон — 1594 см³. При этом широко применяемый прием снижения нагрузки, заключающийся в чистке снега, в данном случае не приводит к существенному снижению общей нагрузки и, соответственно, к снижению коэффициента использования до приемлемого уровня (меньше 1,0), вследствие того что решающей будет нагрузка от веса кирпичной стены, составляющая около 40 % от общей нагрузки. Таким образом, единственный способ увеличения несущей способности в данном случае — усиление. Поскольку помещение предполагается под экспозиционный зал, устройство дополнительных опор или подкосов (в чистом виде метод усиления путем изменения конструктивной схемы), уменьшающих свободный объем, исключается.

Наиболее подходящим методом, на наш взгляд, здесь является метод увеличения сечения в сочетании с методом изменения конструктивной схемы. При этом выполнение

максимального количества сварных швов предусмотрено в заводских условиях. Изложим суть метода (рис. 3–5).

Так как верхняя полка двутавров недоступна в связи с опиранием на нее по всей ширине кирпичной кладки, в качестве составляющих сечения, к которым предполагалось присоединение дополнительных элементов, выбраны нижние полки нижних двутавров.

В качестве элемента усиления применена стальная полоса сечением 350×12 мм, отнесенная на некоторое расстояние (130 мм) от нижних полок существующих двутавров по двум причинам:

- наличие прогиба (в середине пролета — около 45 мм), не позволяющего плотно прижать фасонный элемент, и в то же время

податливость из плоскости листа (для принятия кривизны балки) даже относительно большой толщины на такой значительной длине будет достаточной;

- крепление по всей длине балки элемента усиления в качестве двутавра или швеллера непосредственно по низу нижних полок существующих двутавров приведет к образованию «корытного сечения», при этом попадающая сверху влага не будет иметь возможности свободно стекать.

Усиление запроектировано таким образом, чтобы исключить монтажные потолочные швы. Сечение элемента усиления и его «относ» от нижней полки (130 мм) подбирались таким образом, чтобы минимальный момент сопротивления усиленного сечения

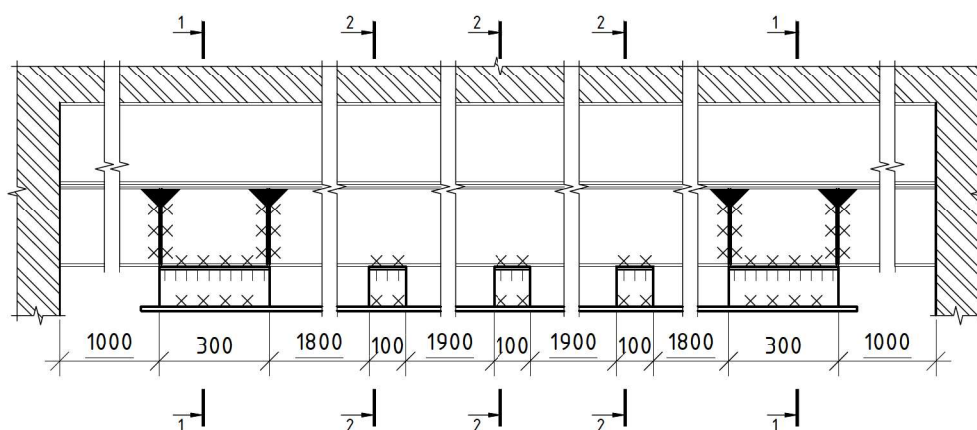


Рис. 3. Схема усиления стальной составной двутавровой балки

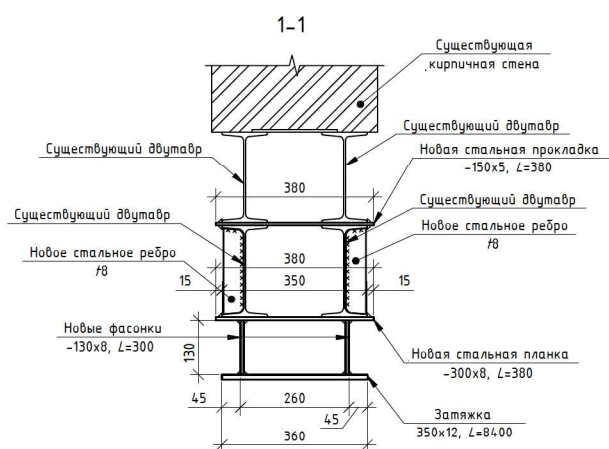


Рис. 4. Разрез по элементам анкеровки вблизи торцов балки

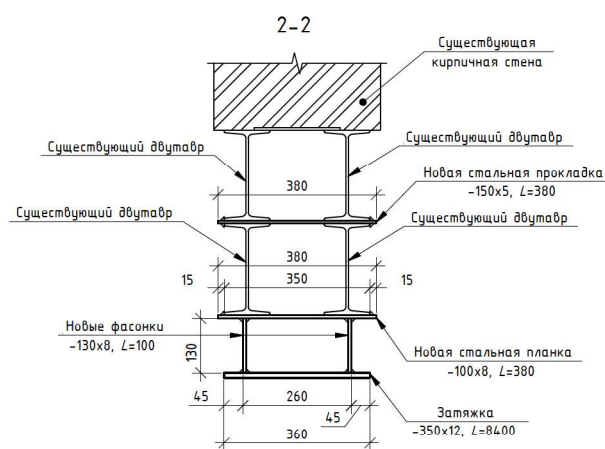


Рис. 5. Разрез по соединительным элементам

был не менее требуемого (с некоторым запасом) для обеспечения несущей способности под полной расчетной нагрузкой (для верхних волокон момент сопротивления составил 2820 см^3). При этом коэффициент использования по максимальным напряжениям (в верхних волокнах) составил 0,73. На рис. 6 показаны эпюры напряжений до усиления (слева), где залитыми треугольниками обозначены зоны появления пластических деформаций, и эпюры напряжений после усиления (справа).

Результаты

На основе предложенного метода выполнены работы по усилению в следующей технологической последовательности:

- под усиливаемые балки подведены страховочные стойки (снеговая нагрузка во время усиления должна отсутствовать; после усиления при наличии снеговой нагрузки элемент усиления сразу включится в работу);

- поскольку при обследовании выявлено, что сварные швы крепления соединительных планок между вертикальными двутаврами невысокого качества, для более надежного обеспечения совместной работы каждой пары вертикальных двутавров предусмотрена постановка новых планок в двух уровнях (шаг постановки планок определяется расчетом швов их крепления к двутаврам на действие максимальной поперечной силы, но не более $40i$, где i — радиус инерции элемента усиления относительно оси постановки планок); постановка планок осуществляется симметрично от торцов к середине;

- к нижним полкам нижних двутавров приварены П-образные элементы заводского изготовления (горизонтальные полосы 300×8 (крайние) и 100×8 в сочетании с двумя вертикальными 130×8), постановка от торцов к середине, при этом монтажные швы выполнены в нижнем положении;

- к нижним торцам вертикальных полос 130×8 прижата и затем приварена сталь-

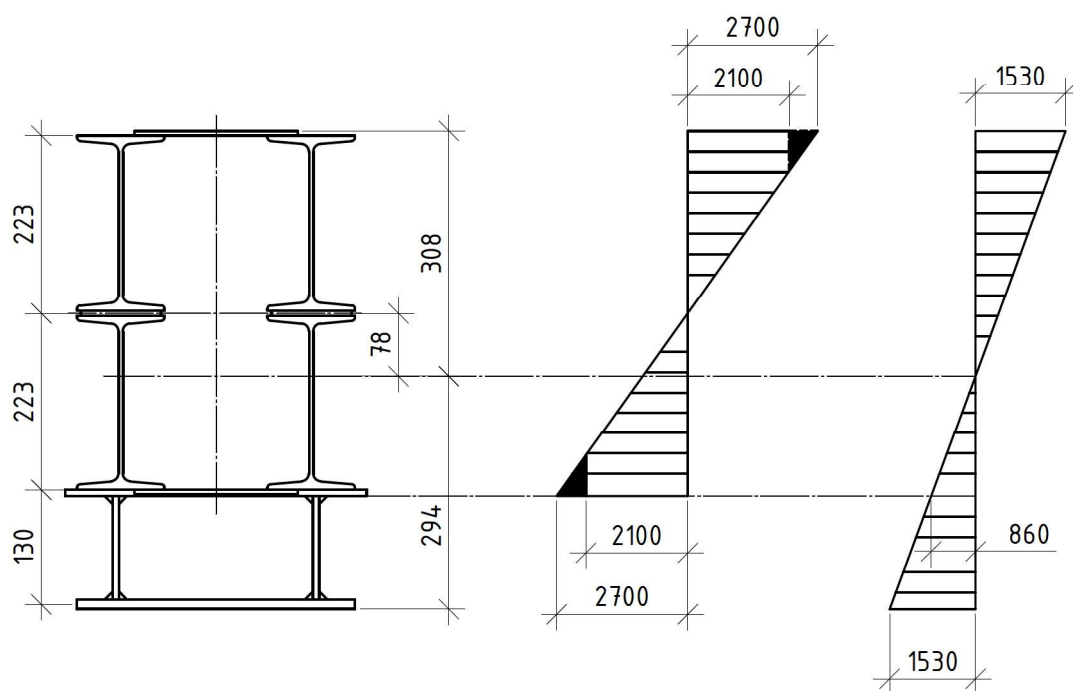


Рис. 6. Смещение центра тяжести усиленного сечения и эпюры напряжений (кгс/см^2) до усиления (слева) и после усиления (справа)

ная затяжка 350×12 , приварка от торцов к середине с выдерживанием между швами не менее 10 мин. для минимального набора прочности швов, при этом монтажные швы также выполнены в нижнем положении.

Таким образом, затяжка прикреплена с помощью прерывистых (шпоночных) швов, включающих концевые длиной 300 мм и промежуточные длиной 100 мм (см. рис. 3). В случае выполнения прерывистых швов основными рабочими швами, через которые избыточное усилие с усиливаемого элемента передается на элемент усиления, являются концевые швы. С целью минимизации сварочных напряжений катеты угловых сварных швов приняты минимальными согласно табл. 38 СП 16.13330.2017.

Расчет непрерывных участков шпоночных швов осуществляется на сдвигающее усилие по формуле (29) «Пособия по проектированию усиления стальных конструкций (к СНиП II-23-81*)»:

$$T = \frac{Q_{\max} \cdot S}{I} a_w,$$

где $Q_{\max}$ — максимальная поперечная сила в пределах длины элементов усиления; S — статический момент элемента усиления относительно центральной оси усиленного сечения; I — момент инерции неусиленного сечения; a_w — шаг шпонок шва.

Длины швов определяются по формулам (30) и (31) «Пособия по проектированию усиления стальных конструкций (к СНиП II-23-81*)».

Длина концевых швов

$$l_{wk} = \frac{\alpha_w (T + N_r)}{\beta_{f(z)} k_f R_{wf(z)}},$$

где $\alpha_w = 0,5$, так как каждый непрерывный шов является парным; $N_r = 0,5 A_r R_{yr}$, A_r — площадь элемента усиления, R_{yr} — расчетное сопротивление стали элемента усиления; $\beta_{f(z)}$ — коэффициенты согласно табл. 39 СП 16.13330.2017; k_f — катет углового сварного шва; $R_{wf(z)}$ — расчетное сопротивление

углового сварного шва по металлу шва (металлу границы сплавления).

Длина промежуточных швов

$$l_w = \frac{\alpha_w T}{\beta_{f(z)} k_f R_{wf(z)}}.$$

Выводы

Таким образом, по нашему мнению, предложенный метод усиления имеет следующие преимущества (снимает часть негативных факторов, приведенных выше):

- отсутствует необходимость «силовой подгонки» прямолинейного элемента усиления к деформированному усиливаемому элементу (которая может возникнуть в случае применения профилей (двутавров, швеллеров, уголков)), поскольку полоса, особенно на значительном расстоянии, легко принимает кривизну исходного элемента;
- отсутствуют потолочные швы, качественное выполнение которых для обеспечения требуемой несущей способности технологически весьма затруднительно;
- максимальное количество швов предусмотрено в заводских условиях.

Библиографический список

1. Бельский М. Р., Лебедев А. Н. Усиление стальных конструкций. Киев: Будивельник, 1981. 118 с.
2. Бельский М. Р. Усиление сжатых стержней стальных конструкций под эксплуатационной нагрузкой. М.: Стройиздат, 1984. 152 с.
3. Белый Г. И., Михаськин В. В. Влияние сварочных процессов на пространственные деформации и устойчивость усиливаемых под нагрузкой стержневых элементов // Изв. высш. учеб. заведений. Строительство. 2009. № 11–12 (611–612). С. 3–11.
4. Белый Г. И., Михаськин В. В. Экспериментальные исследования пространственных деформаций и устойчивости усиливаемых под нагрузкой двутавровых стержней с применением сварки // Вестник гражданских инженеров. 2013. № 2 (37). С. 61–64.
5. Белый Г. И. «Обратный» метод расчета усиливаемых под нагрузкой стержневых элементов стальных конструкций путем увеличения сечений // Вестник гражданских инженеров. 2020. № 6 (83). С. 46–55.
6. Беляева С. Ю., Кузнецов Д. Н., Сазыкин В. Г. Выбор конструктивного решения усиления стальных ба-

лок покрытия // Строительная механика и конструкции. 2018. № 3 (18). С. 73–80.

7. Винокуров В. А., Григорьянц А. Г. Теория сварочных деформаций и напряжений. М.: Машиностроение, 1984. 280 с.

8. Десятов Б. И. Исследование работы усиленных под нагрузкой элементов сварных стальных ферм: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 1969. 11 с.

9. Лащенко М. Н. Усиление металлических конструкций. Л.; М.: Стройиздат, 1954. 155 с.

10. Лащенко М. Н. Регулирование напряжений в металлических конструкциях. Л.; М.: Стройиздат, 1966. 191 с.

11. Леонова А. Н., Софьяников О. Д., Скрипкина И. А. Особенности усиления металлических конструкций композитными материалами при воздействии агрессивной среды // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15, № 4. С. 496–509.

12. Михаськин В. В., Пяткин П. А. К вопросу о влиянии сварочных деформаций на напряженно-деформированное состояние усиленных сжатых элементов // 64-я науч. конф. проф., преподавателей, науч. работников, инженеров и аспирантов ун-та: сб. докл. СПб.: СПбГАСУ, 2007. Ч. 1. С. 53–58.

13. Ребров И. С. К расчету стержневых систем, усиленных под нагрузкой // Изв. высш. учеб. заведений. Стр-во и архитектура. 1979. № 1. С. 52–57.

14. Ребров И. С. Проектирование и расчет усиления стальных балок. Л.: Ленингр. дом науч.-техн. пропаганды, 1984. 28 с.

15. 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 (34). С. 10–14.

16. 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.

17. Серазутдинов М. Н., Убайдуллоев М. Н. Метод расчета упругопластического деформирования усиленных стержневых конструкций при различных режимах // Известия Казанского гос. архитектурно-строительного ун-та. 2018. № 4 (46). С. 370–377.

18. Сильвестров А. В. Усиление металлических конструкций. Новосибирск: Новосиб. инж.-строит. ин-т, 1981. 47 с.

19. Сова Н. С., Алирзаев И. Ш. Усиление под нагрузкой стальных колонн несущих каркасов производственных зданий // Научный вестник Воронежского гос. архитектурно-строительного ун-та. Матлы межрег. науч.-практ. конф. «Высокие технологии в экологии». 2011. № 1. С. 47–51.

20. Туснин А. Р., Щуров Е. О. Экспериментальные исследования клеевого соединения элементов из стали и углепластиковых композиционных материалов // Промышленное и гражданское строительство. 2017. № 7. С. 69–73.

References

1. Bel'skiy M. R., Lebedev A. N. *Usilenie stal'nykh konstruktsey* [Strengthening of steel structures]. Kiev, Budivel'nik Publ., 1981, 118 p.

2. Bel'skiy M. R. *Usilenie szhatykh sterzhney stal'nykh konstruktsey pod ekspluatatsionnoy nagruzkoy* [Strengthening of compressed bars of steel structures under operational load]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1984, 152 p.

3. Beliy G. I., Mikhas'kin V. V. *Vliyanie svarochnykh protsessov na prostranstvennyye deformatsii i ustoychivost' usilivaemykh pod nagruzkoy sterzhnevyykh elementov* [Influence of welding processes on spatial deformations and stability of rod elements reinforced under load]. *Izvestiya vyssh. ucheb. zavedeniy. Stroitel'stvo – Proceedings of higher educational institutions. Construction*, 2009, no. 11–12 (611–612), pp. 3–11.

4. Beliy G. I., Mikhas'kin V. V. *Eksperimental'nye issledovaniya prostranstvennykh deformatsiy i ustoychivosti usilivaemykh pod nagruzkoy dvutavrovyykh sterzhney s primeneniem svarki* [Experimental studies of spatial deformations and stability of reinforced under load I-beams using welding]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2013, no. 2 (37), pp. 61–64.

5. Beliy G. I. *“Obratniy” metod rascheta usilivaemykh pod nagruzkoy sterzhnevyykh elementov stal'nykh konstruktsey putem uvelicheniya secheniy* [“Reverse” method of calculating steel structure rod elements reinforced under load by increasing cross sections]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2020, no. 6 (83), pp. 46–55.

6. Belyaeva S. Yu., Kuznetsov D. N., Sazykin V. G. *Vybor konstruktivnogo resheniya usileniya stal'nykh balok pokrytiya* [Selection of constructive solution of strengthening steel beams of the covering]. *Stroitel'naya mekhanika i konstruktii – Construction Mechanics and Structures*, 2018, no. 3 (18), pp. 73–80.

7. Vinokurov V. A., Grigor'yants A. G. *Teoriya svarochnykh deformatsiy i napryazheniy* [Theory of welding strains and stresses]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1984, 280 p.

8. Desyatov B. I. *Issledovanie raboty usilennykh pod nagruzkoy elementov svarnykh stal'nykh ferm. Avtoref. diss. kand. tekhn. nauk* [Investigation of work of welded steel truss elements reinforced under load. Author's thesis of PhD in Sci. Tech. diss.]. Moscow, 1969, 11 p.

9. Lashchenko M. N. *Usilenie metallicheskih konstruktsiy* [Reinforcement of metal structures]. Leningrad, Moscow, Stroyizdat Publ., 1954, 155 p.
10. Lashchenko M. N. *Regulirovanie napryazheniy v metallicheskih konstruktsiyakh* [Stress control in metal structures]. Leningrad, Moscow, Stroyizdat Publ., 1966, 191 p.
11. Leonova A. N., Sof'yanikov O. D., Skripkina I. A. *Osobennosti usileniya metallicheskih konstruktsiy kompozitnymi materialami pri voystvii agressivnoy sredy* [Features of strengthening of metal structures with composite materials under the effect of aggressive environment]. *Vestnik MGSU – Bulletin of MSCU*, 2020, vol. 15, no. 4, pp. 496–509.
12. Mikhas'kin V. V., Pyatkin P. A. *K voprosu o vliyaniy svarochnykh deformatsiy na napryazhenno-deformirovannoe sostoyaniye usilennykh szhatykh elementov* [On the effect of welding strains on the stress-strain state of reinforced compressed elements]. *Trudy 64-oy nauch. konf. prof., prepodavateley, nauch. rabotnikov, inzhenerov i aspirantov un-ta* [Proceedings of the 64-th scientific conference of professors, teachers, scientists, engineers and graduate students of the university]. St. Petersburg, SPbGASU Publ., 2007, Pt. 1, pp. 53–58.
13. Rebrov I. S. *K raschetu sterzhnevyykh sistem, usilennykh pod nagruzkoy* [To the calculation of rod systems reinforced under load]. *Izvestiya vyssh. ucheb. zavedeniy. Str-vo i arkhitektura – Proceedings of higher educational institutions. Building and architecture*, 1979, no. 1, pp. 52–57.
14. Rebrov I. S. *Proektirovanie i raschet usileniya stal'nykh balok* [Design and calculation of reinforcing steel beams]. Leningrad, Leningradskiy dom nauch.-tekhn. propagandy Publ., 1984, 28 p.
15. Rodionov I. K., Rodionov I. I. *O nekotorykh rezul'tatakh eksperimental'nogo issledovaniya raboty szhatykh sterzhney s obshchimi deformatsiyami, usilivaemykh s primeneniem svarki* [On some results of an experimental study of the performance of compressed rods with general deformations reinforced by welding]. *Gradostroitel'stvo i arkhitektura – Urban Planning and Architecture*, 2019, vol. 9, no. 1 (34), pp. 10–14.
16. Rodionov I. K., Safronov E. G. *Usilenie pod nagruzkoy deformirovannykh szhatykh sterzhney stal'nykh stropil'nykh ferm* [Reinforcement of deformed compressed rods of steel trusses under load]. *Gradostroitel'stvo i arkhitektura – Urban Planning and Architecture*, 2021, vol. 11, no. 3, pp. 26–31.
17. Serazutdinov M. N., Ubaydullov M. N. *Metod rascheta uprugoplasticheskogo deformirovaniya usilennykh sterzhnevyykh konstruktsiy pri razlichnykh rezhimakh* [Calculation method of elastic-plastic deformation of reinforced bar structures under different modes]. *Izvestiya Kazanskogo gos. arkhitekturno-stroitel'nogo un-ta – Proceedings of Kazan State University of Architecture and Construction*, 2018, no. 4 (46), pp. 370–377.
18. Sil'vestrov A. V. *Usilenie metallicheskih konstruktsiy* [Strengthening of metal structures]. Novosibirsk, Novosib. inzh.-stroit. in-t Publ., 1981, 47 p.
19. Sova N. S., Alirzaev I. Sh. *Usilenie pod nagruzkoy stal'nykh kolonn nesushchikh karkasov proizvodstvennykh zdaniy* [Strengthening of steel columns of industrial building bearing frames under load]. *Trudy mezhhreg. nauch.-prakt. konf. «Vysokie tekhnologii v ekologii»* [Proceedings of the Int. sci.-pract. conf. "High Technologies in Ecology"]. *Nauchniy Vestnik Voronezhskogo gos. arkhitekturno-stroitel'nogo un-ta – Bulletin of Voronezh State Architectural and Construction University*, 2011, no. 1, pp. 47–51.
20. Tusnin A. R., Shchurov E. O. *Eksperimental'nye issledovaniya kleeвого soedineniya elementov iz stali i ugleplastikovyykh kompozitsionnykh materialov* [Experimental studies of adhesive bonding of elements made of steel and carbon plastic composite materials]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo – Industrial and Civil Engineering*, 2017, no. 7, pp. 69–73.