УДК 624.074
doi: 10.33622/0869-7019.2023.10.49-54

Необходимость согласованных действий всех участников при изменении решений в процессе строительства

Иван Иванович ВЕДЯКОВ, доктор технических наук, профессор, директор института, зав. отделом металлических конструкций, vedykov@gmail.com

Михаил Романович УРИЦКИЙ, кандидат технических наук, зав. лабораторией расчетов и экспертиз металлических конструкций, m.uritsky@gmail.com

Олег Викторович КОРЖОВ, кандидат технических наук, зав. лабораторией обследования и мониторинга металлических конструкций промзданий, o.korzhov@mail.ru

Евгения Алексеевна КОЛОСОВА, научный сотрудник, jene4ka_galtsova@mail.ru

ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко НИЦ «Строительство», 1094289 Москва, 2-я Институтская ул., 6

Аннотация. *Данная статья призвана обратить внимание на недопустимость разграничения зон ответственности проектировщиков, изготовителей и монтажников конструкций, так как изменение проектных решений требует внимательной повторной проработки вопросов монтажа, конструирования, изготовления и расчета. Наиболее остро этот вопрос стоит для зданий и сооружений, имеющих повышенный уровень ответственности. Согласно нормативному документу по надежности строительных конструкций и оснований для уникальных зданий и сооружений должно предусматриваться научно-техническое сопровождение объектов на всех этапах строительства здания, начиная от проектирования и заканчивая мониторингом при эксплуатации. Рассмотрен прецедент внесения изменений в проектную документацию, повлекший за собой разрушение элементов конструкций. На натурных образцах узлов конструкций исследована несущая способность монтажных стыков раскосов рам покрытия футбольного манежа. По результатам испытаний установлены причины разрушения части конструкций.*

Ключевые слова: *большепролетные рамные конструкции, уровень ответственности зданий, разрушение раскосов, обследование, натурные испытания узлов, усиление каркаса*

Для цитирования: *Ведяков И. И., Урицкий М. Р., Коржов О. В., Колосова Е. А.* Необходимость согласованных действий всех участников при изменении решений в процессе строительства // Промышленное и гражданское строительство. 2023. № 10. С. 49–54. doi: 10.33622/0869-7019.2023.10.49-54

THE NEED FOR COORDINATED ACTIONS OF ALL PARTICIPANTS WHEN CHANGING DECISIONS IN THE CONSTRUCTION PROCESS

Ivan I. VEDYAKOV, vedykov@gmail.com

Mikhail R. URITSKY, m.uritsky@gmail.com

Oleg V. KORZHOV, o.korzhov@mail.ru

Evgenia A. KOLOSOVA, jene4ka_galtsova@mail.ru

Research Institute of Building Constructions (TSNIISK) named after V. A. Koucherenko, Research Center of Construction, 2-ya Institutskaya ul., 6, Moscow 109428, Russian Federation

Abstract. *This article is intended to draw attention to the inadmissibility of delimiting the areas of responsibility of designers, manufacturers and installers, since changing design decisions requires careful re-elaboration of issues of installation, design, manufacture and calculation. This issue is most acute for buildings and structures with an increased level of responsibility. According to the regulatory document for buildings and structures, scientific and technical support of objects at all stages of building construction, starting from design and ending with monitoring during operation. should be provided. The precedent of making changes to design documentation, which resulted in the destruction of structural elements, is considered. On full-scale samples of structural units, the bearing capacity of the assembly joints of the braces of the frames of the football arena cover was studied. Based on the test results, the reasons for the destruction of part of the structures were established.*

Keywords: *large-span frame structures, level of responsibility of buildings, destruction of braces, survey, natural testing of units, strengthening the frame*

For citation: Vedyakov I. I., Uritsky M. R., Korzhov O. V., Kolosova E. A. The Need for Coordinated Actions of All Participants When Changing Decisions in the Construction Process. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering], 2023, no. 10, pp. 49–54. (In Russ.). doi: 10.33622/0869-7019.2023.10.49-54

© ВЕДЯКОВ И. И., УРИЦКИЙ М. Р., КОРЖОВ О. В., КОЛОСОВА Е. А., 2023

Здание крытого футбольного манежа в г. Саранске прямоугольное в плане (180×100 м). С южной стороны к манежу примыкает двухэтажное монолитное здание *(рис. 1)*.

Стальной каркас покрытия выполнен по рамно-связевой системе. В поперечном направлении основная несущая конструкция — решетчатая рама *(рис. 2)*, изготовленная из круглых труб из стали С 345 по ГОСТ 27772—88 «Прокат для строительных стальных конструкций. Общие технические условия». Несущие рамы установлены с шагом 12 м и жестко связаны с фундаментом. Стойки и ригель представляют собой пространственную четырехветвевую конструкцию, объединенную раскосами с треугольной решеткой по четырем граням. Для обслуживания конструкций покрытия предусмотрены технологические мостки, расположенные внутри трапециевидного сечения рам.

Поперечные рамы в продольном направлении соединены связевыми и рядовыми фермами, которые одновременно выполняют функцию прогонов. Связевые фермы объединяют верхние и нижние пояса смежных поперечных рам, а рядовые фермы присоединяются к поперечным рамам в зоне их верхних поясов. Рядовые фермы для обеспечения проектного положения соединяются между собой стальными тяжами из круглой стали ∅20 мм по ГОСТ 2590—88 «Прокат стальной горячекатаный круглый. Сортамент».

Устойчивость каркаса в продольном направлении создает система вертикальных связей по стойкам рам. Общая пространственная жесткость покрытия обеспечивается системой горизонтальных и вертикальных связей и диском покрытия, который включает в себя стальной оцинкованный профнастил марки

Рис. 1. ***Крытый футбольный манеж в г. Саранске***

Рис. 2. ***Конструкции покрытия манежа***

Н75-750-0,9 (ГОСТ 24045—94 «Профили стальные листовые гнутые с трапециевидными гофрами для строительства. Технические условия»), прикрепленный к фермам самонарезающими винтами.

Стойки фахверка, связевые и рядовые фермы (прогоны), вертикальные и горизонтальные связи запроектированы из квадратных гнутосварных труб согласно ГОСТ 30245—2003 «Профили стальные гнутые замкнутые сварные квадратные и прямоугольные для строительных конструкций. Технические условия».

Стальной каркас манежа делится на два температурных блока.

Монтажные соединения элементов стального каркаса между собой выполнены на высокопрочных болтах М20, М24, М27 по ГОСТ Р 52643—2006 «Болты и гайки высокопрочные и шайбы для металлических конструкций. Общие технические условия», класс прочности болтов — 10.9. Гайки и шайбы к высокопрочным болтам соответствуют данному нормативному стандарту.

В проекте пролет рамы принят по осям внутренних граней колонн, что позволило проектировщикам выбрать величину пролета, равную 100 м. Как следствие, здание было отнесено к *нормальному уровню ответственности КС-2*. Однако пролет здания — это расстояние между осями колонн в поперечном направлении, т. е. расстояние между центрами тяжести колонн в опорном сечении. При таком подходе пролет здания превысит 100 м и согласно гл. 6, ст. 48.1 Градостроительного кодекса РФ данное здание требуется отнести к *уникальным объектам КС-3*.

В соответствии с ГОСТ 27751—2014 «Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения» на стадиях проектирования, изготовления и монтажа конструкций требовалось научно-техническое сопровождение, способное исключить ошибки, приведенные ниже.

В марте 2015 г. произошло разрушение сварных швов монтажных стыков растянутых раскосов. Одновременно разрушились две пары растянутых раскосов в соседних рамах *(рис. 3)*.

Для выяснения причин разрушения были проведены следующие работы:

- анализ проектных материалов (КМ и КМД);
- проверочные расчеты несущих конструкций покрытия с учетом выключения из работы четырех разрушенных элементов решетки двух рам;
- лабораторные исследования разрушенных элементов решетки (сварные швы, сталь);
- испытание узловых сопряжений раскосов рам;

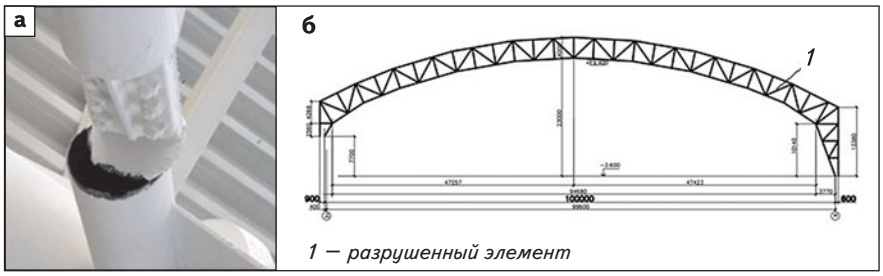


Рис. 3. ***Разрушение монтажного узла растянутого раскоса рамы***

• визуально-инструментальное обследование фактического состояния конструкций;
• поверочные расчеты несущих конструкций манежа как с учетом уточненных снеговых нагрузок (повышенных), так и с учетом методики и последовательности восстановления поврежденных элементов решетки;
• разработка проекта усиления конструкций манежа;
• сопровождение работ по восстановлению и усилению несущих конструкций манежа.

Выполненные проверочные расчеты несущих конструкций покрытия при выключении из работы четырех элементов решетки показали, что прочность и устойчивость элементов рам достаточны для восприятия *фактических нагрузок* без проведения дополнительных страховочных мероприятий. При выключении раскосов из работы в этой зоне происходит резкий скачок изгибающего момента в поясах рам (два нижних пояса — круглая труба 530×16 мм и два верхних пояса — труба 406,4×12 мм). Запасы несущей способности поясов оказались достаточными для восприятия не только постоянной нагрузки, но и части временной нагрузки (снег). Однако сразу после разрушения были приняты меры по удалению снеговой нагрузки с покрытия манежа.

После разрушения раскосов проводили геодезический мониторинг положения рам, в результате которого установлено:

• высотные отметки поврежденных рам имеют незначительные отклонения от остальных рам, т. е. разрушение раскосов не оказало значительного влияния на деформированное состояние рамы;
• во время расчистки покрытия от снега поврежденные рамы имели аналогичную динамику восстановления своего исходного положения, как и остальные рамы. Следовательно, можно сделать вывод об упругой работе стержней конструкций поврежденных рам.

В результате анализа проектных материалов выяснилось, что на стадии проектирования (КМ) рассматривался вариант монтажа рам блоками (12 000×4000×3000 мм). Монтажные блоки должны были укрупняться только через фланцевые соединения поясов. После определения фирмы-изготовителя выяснилось, что расстояние от места изготовления до места монтажа более 1600 км. Для снижения стоимости доставки фирма-изготовитель предложила разрезать решетки рам *(рис. 4),* а затем производить поэлементную сборку на строительной площадке.

Предложенное решение по разрезке раскосов *не является типовым*, так как заглушка вставляется внутрь трубы на половину своей толщины. В типовом соединении плоскость заглушки выступает за край трубы, тем самым катет сварного шва не ограничивается толщиной трубы. Данное соединение обычно применяется для крепления связей, а не для основных несущих конструкций. Для повышения несущей способности такого соединения в теле трубы делается прорезь, куда вставляется ребро. Таким образом усилие с трубы плавно перетекает на продольное ребро, минуя заглушку.

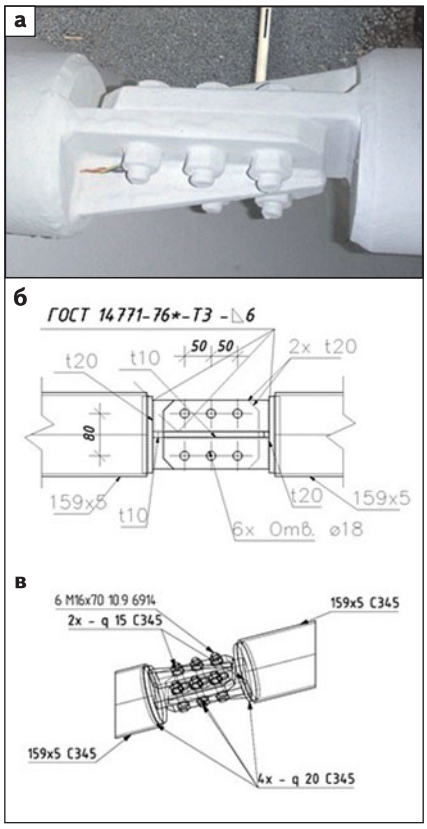


Рис. 4. ***Монтажный стык раскосов (а), чертежи КМ и КМД (б, в) соответственно***

В процессе обследования конструкций был установлен массовый дефект изготовления, вызванный конструктивной особенностью узла. Заглушка, которая должна заглубляться в трубу на половину толщины *(рис. 5а),* в 40 % случаев была утоплена почти на всю толщину *(рис. 5б).* Следовательно, качественно выполнить сварной шов согласно ГОСТ 14771—76 «Дуговая сварка в защитном газе. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры» без разделки кромки нельзя.

Можно предположить, что,

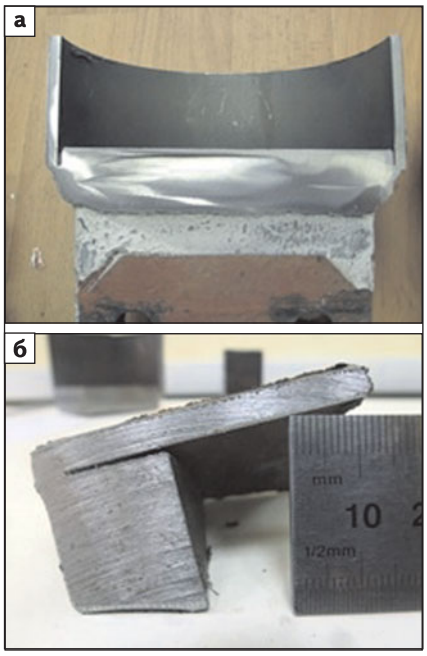


Рис. 5. ***Сечение сварного шва, соединяющего заглушку и трубу. Стандартное (а) и нестандартное (б) соединение по ГОСТ 14771***

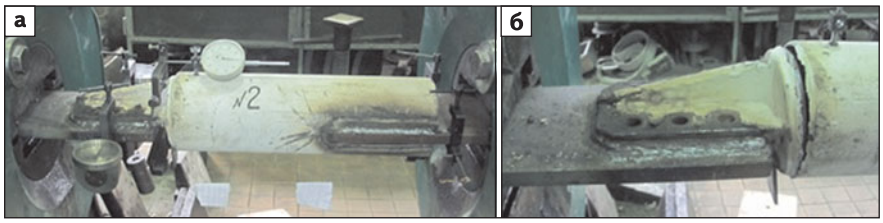
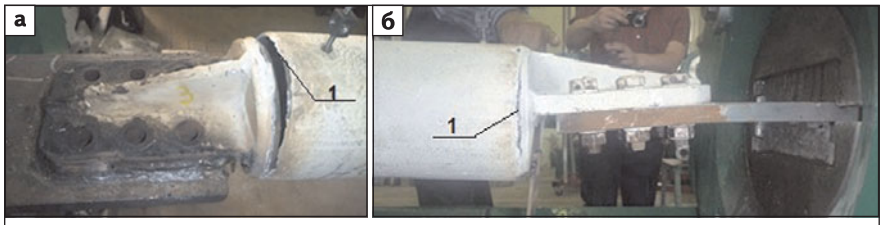


Рис. 6. ***Установленный в машину (а) и разрушенный в процессе испытания (б) образец № 2***



а — сварное, образец № 3; б — болтовое, образец № 5; 1 — точка начала разрушения шва

Рис. 7. ***Сопряжение захвата и ребра***

вставляя заглушку большой толщины, изготовители узла оставляли себе возможность маневра: изменяя глубину погружения заглушки в трубу, менять длину монтируемого элемента и обеспечивать собираемость конструкции.

Были проведены расчеты сварных соединений по СП 16.13330.2017 «СНиП II-23-81* Стальные конструкции»:

• несущая способность сварного шва (соединение заглушки и трубы):

$$N = \beta_f k_f l_w R_{wf} \gamma_c \gamma_{cf} = 302{,}148 \text{ кН},$$

где $l_w = \pi D = 0{,}5$ м — расчетная длина шва в сварном соединении; $k_f = 5$ мм — принимаем по толщине трубы; $\beta_f = 0{,}7$.

Так как $\beta_f R_{wf} / (\beta_z R_{wz}) = 0{,}7 \leqslant 1$, то расчет ведем по металлу шва; $\gamma_c = 1$ — коэффициент условий работы; $\gamma_{cf} = 0{,}8$ — коэффициент условий работы, учитывающий неравномерность передачи усилий*;

• несущая способность сварного шва (соединение заглушки и ребра):

$$N = \beta_f k_f l_w R_{wf} \gamma_c \gamma_{cf} = 290{,}062 \text{ кН},$$

где $l_w = 0{,}4$ м — суммарная длина шва; $k_f = 6$ мм.

Для оценки фактической несущей способности монтажных стыков раскосов рам было проведено шесть натурных испытаний. Образцы для испытаний были изготовлены из разрушенных раскосов.

Для проведения испытаний на растяжение к образцам были дополнительно приварены захваты *(рис. 6)*. В образцах № 1—4 захваты крепились с двух сторон на сварке, а в образцах № 5 и 6 один захват крепился на сварке, а другой — на шести болтах диаметром 16 мм класса 10.9. Наружный диаметр труб — 160 мм, внутренний — 150 мм, толщина стенки — 5 мм. Площадь поперечного сечения труб $A = 24{,}3$ см^2.

При испытаниях записывалась машинная диаграмма деформаций удлинения трубчатых образцов с учетом податливости машины, включая анкеровку образца в машине. Дополнительно были установлены два прогибомера Максимова, измеряющие общее удлинение образца, и индикатор часового типа ИЧ 50 в зоне сварного соединения заглушки с трубой. Результаты натурных испытаний приведены в *таблице*.

Разрушение всех шести испытанных образцов происходило по кольцевым сварным швам соединения заглушки с трубой.

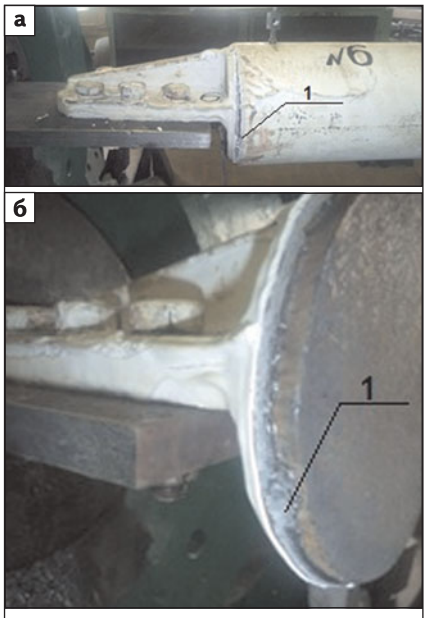
Разрушение сварных швов в образцах № 1—4 начиналось в локальной зоне в местах пересечения кромки трапецеидального ребра с кольцевым швом *(рис. 7а)*. В образцах № 5 и 6 разрушение сварного шва начиналось с точки пересечения основного ребра с кольцевым сварным швом *(рис. 7б)*.

Образец № 6 показал самую низкую несущую способность, разрушение произошло при нагрузке 480,69 кН. Это связано с внутренним дефектом шва. Дефект расположен в наиболее напряженной зоне кольцевого шва *(рис. 8)*, что явилось концентра-

* Пособие по проектированию стальных конструкций (к СНиП II-23-81*).

Результаты натурных испытаний трубчатых образцов

Наименование		Номер трубчатого образца						Среднее значение
		1	2	3	4	5	6	
Область упругой работы $P_е$, кН		392,4	294,3	294,3	294,3	392,4	343,35	333,54
Расчетное усилие на раскос (по КМ) P, кН		539,55						
Разрушающая нагрузка образцов $P_в$, кН		572,904	701,415	686,7	632,745	611,163	480,69	614,101
Область упругой работы в относительных единицах	$P_е/P$	0,73	0,54	0,54	0,54	0,73	0,64	0,62
	$P_е/P_в$	0,68	0,42	0,43	0,46	0,64	0,71	0,54



1 — дефект в шве

Рис. 8. ***Образец № 6. Начало разрушения образца (а) и полное разрушение сварного шва (б)***

тором, с которого началось разрушение *(рис. 8б).*

По результатам проведенных исследований можно констатировать:

• по испытаниям на растяжение стандартных образцов, вырезанных из труб, фактические механические свойства металла труб удовлетворяют требованиям проекта и нормам для стали С345;

• по результатам теоретических расчетов заводских сварных соединений монтажных узлов раскосов их несущая способность равна 290,062 кН;

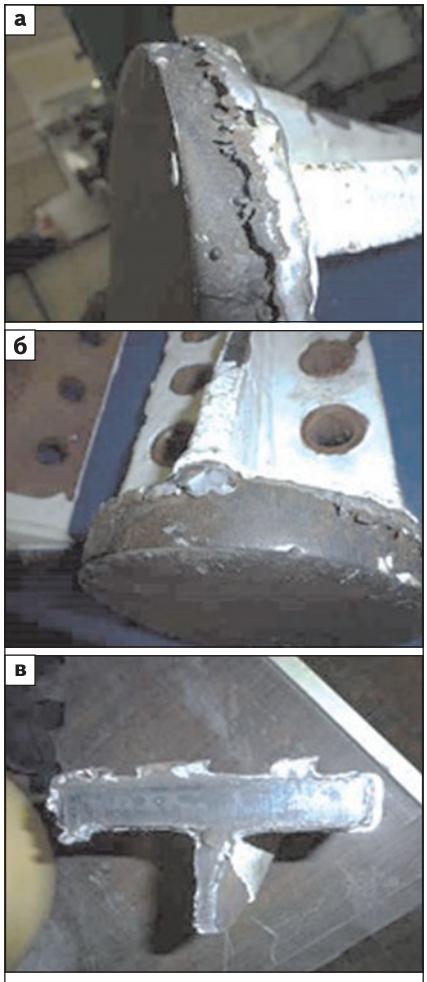
• по данным измерений индикатором часового типа ИЧ 50 деформаций лобового углового сварного соединения при растяжении шести трубчатых образцов *область упругой работы* сварного шва ограничивалась усилием от 294,3 до 392,4 кН при среднем значении 333,54 кН, что в *1,6 раза ниже проектного расчетного усилия 539,55 кН*;

• усилия разрушения кольцевых швов отличаются достаточно высокой изменчивостью (разбросом) от 480,69 до 701,415 кН (среднее значение 612,144 кН), что вызвано качеством выполнения сварных швов;

• конструктивное решение концевых частей (с заглушкой и ребром) раскосов для крепления к рамам отмечается неоднородным распределением напряжений в заглушке с ребром и в кольцевом сварном шве, что вызывает перенапряжение в отдельных зонах и недонапряжение в других, вследствие чего происходит выгиб заглушки и последовательное разрушение сварного кольцевого шва;

• передача усилия в элементе через заглушку чревато слоистым разрушением при усилии, приложенном перпендикулярно плоскости заглушки. Металл заглушки должен быть поставлен с гарантией величины ψ_Z по ГОСТ 28870—90 «Сталь. Методы испытания на растяжение толстолистового проката в направлении толщины».

Дополнительно были исследованы сварные швы разрушенных образцов. В результате исследования были отмечены следующие дефекты *(рис. 9):* шлак в шве и несплавления.



а — шлак в шве типа У4; б — несплавление в шве типа У4; в — то же, типа Т3

Рис. 9. ***Сварные швы разрушенных образцов***

Можно выделить основные причины разрушения раскосов.

Рис. 10. ***Усиление монтажного стыка раскосов***

Рис. 11. ***Установка временной опоры***

1. Применение нетипового решения узла раскоса рамы без достаточного исследования работы соединения стержневого элемента с заглушкой.

2. Конструктивный дефект — передача усилия в стержне через заглушку с ограничением величины катета сварного шва. Величина катета шва ограничена толщиной трубы (стержня). Заглушка работает на раздир. Ребро не вварено в трубу элемента и создает концентрацию усилия в шве, прикрепляющем заглушку.

3. Ошибки проектирования: несущая способность сварных швов монтажных стыков раскосов ($N = 290{,}062$ кН) недостаточна для восприятия проектных нагрузок (по материалам КМ усилие в разрушенном элементе составляет 539,55 кН).

4. Низкое качество изготовления: недопустимые внутренние дефекты, такие как несплавления по кромке и шлаковые включения, являющиеся значительными концентраторами напряжений, провоцирующими начало локальных пластических деформаций, в совокупности с другим значительным несоответствием — нарушением геометрических параметров и конструктивных особенностей сварных швов исследуемых типов.

По результатам проведенных исследований были приняты *следующие решения по усилению каркаса*:

- усилить стыковые узлы всех рам покрытия, в которых усилие превышает 248,193 кН. Усиление узлов выполнять приваркой двух швеллеров 16У, 18У, 22У (С345) в зависимости от сечения раскосов *(рис. 10)*. Несущей способности двух швеллеров достаточно для восприятия всей расчетной нагрузки, приходящейся в узел;
- восстановить разрушенные элементы с помощью двух швеллеров № 16У (С345), объединенных по длине соединительными планками. Концы швеллеров приварить к оставшимся частям разрушенных раскосов (патрубкам). На период восстановления разрушенных раскосов необходимо установить временную опору и разгрузить раму *(рис. 11)*.

Вывод

Резюмируя данную статью, можно констатировать, что недопустимо внести изменения в проект без достаточной степени исследования его влияния на работу каркаса в целом, а также необходим более внимательный подход к назначению уровня ответственности сооружения. ■

УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ!

НАПОМИНАЕМ, ЧТО ОФОРМИТЬ ПОДПИСКУ НА ЖУРНАЛ
«ПРОМЫШЛЕННОЕ И ГРАЖДАНСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО»
МОЖНО НАЧИНАЯ С ЛЮБОГО МЕСЯЦА В ЛЮБОМ ОТДЕЛЕНИИ СВЯЗИ
ИЛИ В РЕДАКЦИИ, А ТАКЖЕ ПОДПИСАТЬСЯ НА ЭЛЕКТРОННУЮ ВЕРСИЮ ЖУРНАЛА.

ПОДПИСНЫЕ ИНДЕКСЫ ЖУРНАЛА В КАТАЛОГАХ:
• УРАЛ-ПРЕСС – **70695** • ПОЧТА РОССИИ – **ПП983** •

ПОДПИСКА НА НАШ ЖУРНАЛ, ВХОДЯЩИЙ В ЧИСЛО ВЕДУЩИХ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДАНИЙ ПО СТРОИТЕЛЬНОЙ ТЕМАТИКЕ, –
ЭТО ВАШ ВКЛАД В РАЗВИТИЕ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ НАУКИ И ОБРАЗОВАНИЯ.

ПОЛНЫЕ ТЕКСТЫ СТАТЕЙ, ОПУБЛИКОВАННЫЕ В ЖУРНАЛЕ
«ПРОМЫШЛЕННОЕ И ГРАЖДАНСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО» в 2010–2022 гг.,
ПРЕДСТАВЛЕНЫ НА САЙТЕ ЖУРНАЛА В РАЗДЕЛЕ «АРХИВ».