

# ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ, ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

УДК 693.22:624.04

DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-2-147-160

*И.И. ПОДШИВАЛОВ, А.С. ПЛЯСКИН, А.А. ТАРАСОВ,  
Томский государственный архитектурно-строительный университет*

## ОСОБЕННОСТИ УСИЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ СТРОПИЛЬНЫХ И ПОДСТРОПИЛЬНЫХ ФЕРМ, ПОЛУЧИВШИХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ

Объектом исследования являются железобетонные стропильные и подстропильные фермы одноэтажного многопролетного промышленного здания, выполненного в виде полного сборного железобетонного каркаса.

Цель работы состоит в восстановлении эксплуатационной пригодности железобетонных стропильных и подстропильных ферм покрытия после выполнения инструментального обследования с учетом обнаруженного значительного коррозионного повреждения арматуры и наличия продольных трещин в защитном слое бетона шириной раскрытия в несколько миллиметров. После анализа конструктивной схемы здания было выполнено моделирование его напряженно-деформированного состояния в ПК MicroFe с разработкой расчетной модели в пространственной системе с учетом выявленных повреждений железобетонных конструкций и разработанного технического решения по усилению стропильных ферм.

Восстановление эксплуатационной пригодности железобетонных стропильных и подстропильных ферм заключается в создании монолитности элементов ферм и в обеспечении совместной работы существующей арматуры с отремонтированным защитным слоем бетона, а также в усилении полимерным волокном нижнего пояса стропильных ферм.

**Ключевые слова:** здание; железобетонный каркас; фермы; обследование; коррозия; расчетная модель, усилия; перемещения; усиление стекловолокном.

**Для цитирования:** Подшивалов И.И., Пляскин А.С., Тарасов А.А. Особенности усиления железобетонных стропильных и подстропильных ферм, получивших эксплуатационные повреждения // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2022. Т. 24. № 2. С. 147–160.

DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-2-147-160

*I.I. PODSHIVALOV, A.S. PLYASKIN, A.A. TARASOV,  
Tomsk State University of Architecture and Building*

## REINFORCEMENT OF CONCRETE PRINCIPAL AND SECONDARY TRUSSES AFTER SERVICE DAMAGES

The paper studies reinforced concrete principal and secondary trusses of a one-floor industrial building made as a precast reinforced concrete frame. The aim of the work is to restore the

serviceability of reinforced principal and secondary trusses after instrumental examination with regard to the detected significant corrosion damage of reinforcement and longitudinal cracks in the protective concrete layer with opening width of several millimeters. After the analysis of the building structural scheme, its stress-strain state is simulated in the MicroFe software, and a calculation model is developed allowing for the identified damages of reinforced concrete structures and the proposed design solution for the truss reinforcement. The serviceability restoration of principal and secondary trusses implies the creation of solid truss elements, the joint operation of the reinforcement with the repaired protective concrete layer, and secondary truss reinforcement with polymer fibers.

**Keywords:** building; reinforced concrete frame; examination; corrosion; design model; forces; displacement; fibreglass reinforcement.

**For citation:** Podshivalov I.I., Plyaskin A.S., Tarasov A.A. Osobennosti usileniya zhelezobetonnykh stropil'nykh i podstropil'nykh ferm, poluchivshikh ekspluatatsionnye povrezhdeniya [Reinforcement of concrete principal and secondary trusses after service damages]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2022. V. 24. No. 2. Pp. 147–160.

DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-2-147-160

Применение сборных железобетонных конструкций с оптимальным шагом и пролетом несущих конструкций каркасного здания позволяет максимально эффективно использовать их несущую способность [1]. Определение фактических параметров прочности, жесткости и трещиностойкости железобетонных конструкций при капитальном ремонте и реконструкции эксплуатируемых зданий является актуальной задачей [2]. Своевременность проведения необходимых работ по восстановлению выявленных конструктивных элементов с высокой степенью физического износа способна привести к значительному продлению срока эксплуатации здания [3]. При оценке остаточного ресурса железобетонных конструкций наиболее сложным является выявление всех произошедших в конструкции изменений. В элементах зданий и сооружений, находящихся в длительной эксплуатации, могут развиваться скрытые повреждения, снижающие их жесткость и, как следствие, прочность и устойчивость. Для оценки ресурса таких конструкций целесообразно экспериментальным путем определять результирующее поведение конструкции, затем решением обратной задачи найти ее реальные жесткостные характеристики [4]. В работе [5] предложено при выполнении периодических обследований одного объекта определять перемещения характерных точек конструкции, которые дают возможность с достаточной степенью точности и достоверности отслеживать состояние конструкции на протяжении всего жизненного цикла объекта.

В ходе эксплуатации здания происходит накопление повреждений, вызванных действием нагрузок техногенного и внешнего характера, что ведет к снижению несущей способности конструкций каркаса. Несущие конструкции покрытия могут перетерпеть значительные деформации за счет снижения и даже полной утраты предварительного напряжения вследствие коррозии арматуры. В то же время при реконструкции здания величина нагрузочного фактора, как правило, не уменьшается, а может даже и увеличиться. Для повышения жесткости каркаса в ходе его реконструкции можно внедрять дополнительные конструктивные элементы [6].

Одним из эффективных способов увеличения несущей способности и повышения жесткости конструкций покрытия железобетонного каркаса при реконструкции зданий является применение предварительного напряжения с натяжением арматуры на бетон как со сцеплением, так и без сцепления арматуры с бетоном [7].

Разрушение железобетонных конструкций, как правило, является следствием коррозионных повреждений бетона и арматуры [8]. Мероприятия по защите железобетонных конструкций подразделяют на первичные и вторичные. К методам первичной защиты в слабоагрессивных и некоторых среднеагрессивных средах относятся выбор соответствующих параметров материалов и конструктивных решений. В большинстве средне- и сильноагрессивных сред эффективны вторичные методы – поверхностная защита системами на минеральной основе.

Коррозионные процессы в железобетонных конструкциях приводят к снижению их несущей способности и жесткости и, как следствие, к сокращению жизненного цикла зданий [9]. Одним из главных факторов, снижающих долговечность железобетонных конструкций, является коррозия арматуры, которая приводит к уменьшению площади поперечного сечения арматуры, образованию продольных трещин, отслоению защитного слоя бетона, изменению механических характеристик арматуры [10]. За счет перехода наружных слоев арматуры в продукт коррозии, объем которого в 1,5 раза превышает объем замещаемого металла, рабочее сечение арматуры в бетоне уменьшается. До момента появления в бетоне зон растрескивания первоначальная коррозия, за счет распора, способствует лучшему сцеплению стержней арматуры с бетоном, но с ростом объема продукта коррозии после развития трещин происходит снижение, а затем и полное нарушение сцепления арматуры с бетоном [11].

Традиционный подход к ремонту корродированных железобетонных элементов состоит в усилении поврежденных конструкций стальными элементами, что требует значительных затрат и использования подъемного оборудования с остановкой производственного процесса. Применение полимерных материалов на основе высокопрочного волокна позволяет выполнить усиление без остановки процесса эксплуатации здания [12].

Широкое распространение композитных материалов привело к необходимости определения их прочностных и деформационных свойств при различных видах нагружения. В работе [13] представлены результаты экспериментальных исследований методом корреляции цифровых изображений и эволюции распределения во времени деформированного состояния углепластика в процессе осевого растяжения. Работа систем внешнего армирования на основе углеродных волокон при усилении железобетонных элементов в значительной степени зависит от адгезии к телу усиливаемой конструкции [14]. При усилении железобетонных конструкций со значительными коррозионными повреждениями необходимо предварительно, перед наклейкой композитных материалов, выполнить ремонт конструкции [15].

Расчет симметричных растянутых коррозионно-поврежденных железобетонных элементов, усиленных по контуру композитными материалами,

можно выполнить по СП 164.1325800.2014<sup>1</sup>. Принято допущение, что сдвиговая жесткость адгезива – состава для наклейки композитного материала – обеспечивает совместную работу бетона и композитного материала. При этом работа адгезива в запас прочности не учитывается.

Моделирование взаимодействия надземных конструкций в пространственной постановке в настоящее время является достаточно актуальным [16]. Верифицированный ПВК MicroFe позволяет достаточно адекватно выполнить конечно-элементное моделирование напряженно-деформированного состояния пространственной системы здания.

Рассматриваемое одноэтажное промышленное шестипролетное каркасное здание эксплуатируется с начала 1960-х гг., имеет размеры в плане 132×108 м и высоту 7,2 м до нижнего пояса подстропильных ферм. По конструктивной схеме здание выполнено из полного сборного железобетонного каркаса, который включает в себя:

- несущие колонны каркаса сечением 600×500 мм, расположенные с шагом 12 м;
- подстропильные фермы покрытия пролетом 12 м;
- стропильные сегментные фермы покрытия пролетом 18 м;
- ребристые плиты покрытия размером 1,5×6,0 м, высотой 300 мм.

При обследовании двух крайних пролетов здания было обнаружено коррозионное поражение арматуры в элементах стропильных и подстропильных ферм с уменьшением рабочего сечения на 10–20 % в проволоочной арматуре канатов К-7 со стороны нижней грани нижнего пояса стропильной фермы при наличии продольных трещин в защитном слое бетона шириной раскрытия в несколько миллиметров (рис. 1). Такое состояние нижнего пояса ферм привело к нарушению совместной работы бетона и предварительно напряженной арматуры при сохранении монолитности ее зоны анкеровки в опорных узлах ферм.



Рис. 1. Фрагмент нижнего пояса стропильной фермы с коррозией проволоочной арматуры канатов К-7

<sup>1</sup> СП 164.1325800.2014. Усиление железобетонных конструкций композитными материалами. Правила проектирования – фундамент под колонны – отдельно стоящие монолитные столбы стаканного типа на естественном основании.

Обжатие бетона предварительно напряженной арматурой в нижнем поясе пролетной части ферм было практически потеряно. Конструктивно эти фермы можно представить как железобетонную конструкцию с арматурной затяжкой в уровне нижнего пояса. Нарушение зоны анкеровки предварительно напряженной арматуры в опорных узлах ферм привело бы к ее продергиванию и разрушению ферм.

По материалам обследования двух крайних пролетов каркасного здания на основе конструктивной схемы здания была разработана расчетная модель, в которой элементы каркаса моделировались конечным элементом типа «стержень», плиты покрытия моделировались конечным элементом типа «плоский прямоугольный элемент оболочки» (рис. 2).

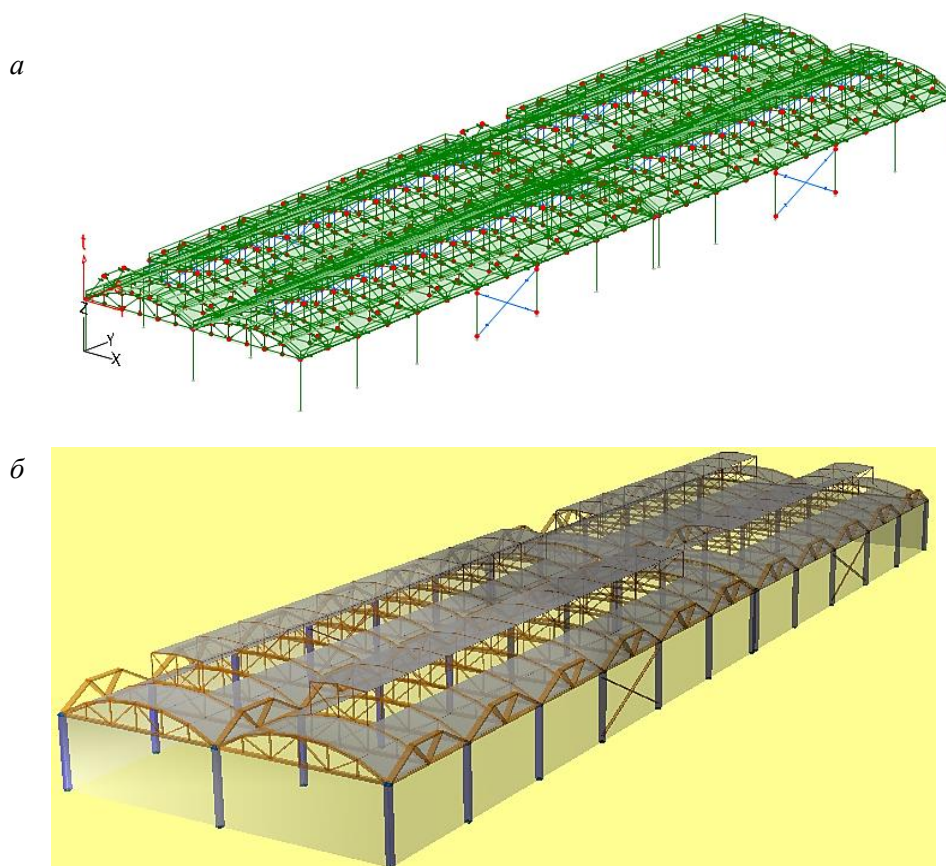


Рис. 2. Расчетная модель (а) и ее визуализация (б)

На основе разработанной расчетной модели были рассмотрены три расчетные схемы:

– расчетная схема № 1 – начало стадии эксплуатации здания с проектной величиной предварительного напряжения арматуры нижнего пояса неповрежденных стропильных и подстропильных ферм. В нижнем поясе стропильных и подстропильных ферм установлена проволоочная арматура в виде канатов 7Ø15К-7 и 8Ø15К-7. Усилие предварительного обжатия с учетом всех потерь

составляло:  $P_{\text{СФ}} = 770,3$  кН и  $P_{\text{ПСФ}} = 880,3$  кН в нижнем поясе стропильных и подстропильных ферм. В программе предварительное напряжение задавалось в каждом канате с величиной обжатия  $P_{1\text{СФ}} = 110,0$  кН и  $P_{1\text{ПСФ}} = 101,7$  кН в нижнем поясе стропильных и подстропильных ферм. Класс бетона В30;

– расчетная схема № 2 – существующая стадия эксплуатации здания с принятым коррозионным износом арматуры 20 % и отсутствием обжатия бетона в нижнем поясе стропильных и подстропильных ферм путем исключения предварительного напряжения арматуры в нижних поясах. При этом учтено, что капитальный ремонт коррозионно-поврежденных элементов выполнен и совместная работа существующей арматуры с восстановленным защитным слоем бетона обеспечена. Класс бетона В30;

– расчетная схема № 3 – стадия эксплуатации здания после проведения капитального ремонта коррозионно-поврежденных элементов и выполненного усиления нижнего пояса ферм полимерным волокном. Волокно принято из углепластика (ламината) с расчетной прочностью  $R_f = 3100$  МПа, модулем упругости  $E_f = 1,7 \cdot 10^5$  МПа, предельной деформацией растяжения  $\varepsilon_f = 0,017$  (1,7 %), толщиной слоя  $t_f = 1,4$  мм. В программе углепластиковое волокно было заменено на эквивалентный круглый стальной стержень, установленный в центре поперечного сечения нижнего пояса стропильных и подстропильных ферм (сталежелезобетонный элемент) соответственно с площадью поперечного сечения  $A_{\text{с экв. СФ}} = E_f A_f / E_{\text{с, канат}} = 1,7 \cdot 10^5 \cdot 4 \cdot 0,3 \cdot 0,0014 / 1,8 \cdot 10^5 = 15,9 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 = 15,9 \text{ см}^2$ , где 0,3 м – сторона поперечного сечения нижнего пояса стропильных ферм, и  $A_{\text{с экв. ПСФ}} = 21,4 \text{ см}^2$ . Отсюда диаметр эквивалентного круглого стального стержня составил Ø45 мм и Ø52 мм в нижнем поясе стропильных и подстропильных ферм. Класс бетона В30.

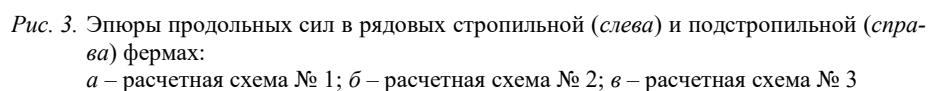
Эпюры продольных сил в рядовых стропильной и подстропильной фермах, полученных в трех расчетных схемах, приведены на рис. 3.

Значения вертикальных перемещений рядовых стропильной и подстропильной ферм в трех расчетных схемах даны на рис. 4.

Эпюры необходимого расчетного продольного армирования в элементах ферм приведены на рис. 5.

Сводные результаты по величине максимальных продольных усилий в поясах ферм по трем расчетным схемам приведены в табл. 1, 2. Сводные значения наибольших вертикальных перемещений поясов ферм в трех расчетных схемах даны в табл. 3, 4.

**Стропильные фермы.** В результате коррозионного повреждения арматуры в элементах ферм и частичной утраты совместной работы бетона с предварительно напряженной арматурой в пролетной части нижних поясов ферм растягивающие усилия увеличились в 2,8 раза. При этом сжимающие усилия в пролетной части верхних поясов практически не изменились (уменьшились на 2 %). Наибольшие вертикальные перемещения поясов ферм увеличились на 33 % и составили 20,4 мм, что меньше предельно допустимого значения  $f/L = 20,4/18000 = 1/882 < [1/150]$ . После восстановления эксплуатационной пригодности элементов ферм и усиления нижних поясов углепластиковым волокном продольные усилия уменьшатся в верхнем и нижнем поясах ферм на 8 и 37 % соответственно.



*a* – расчетная схема № 1; *б* – расчетная схема № 2; *в* – расчетная схема № 3

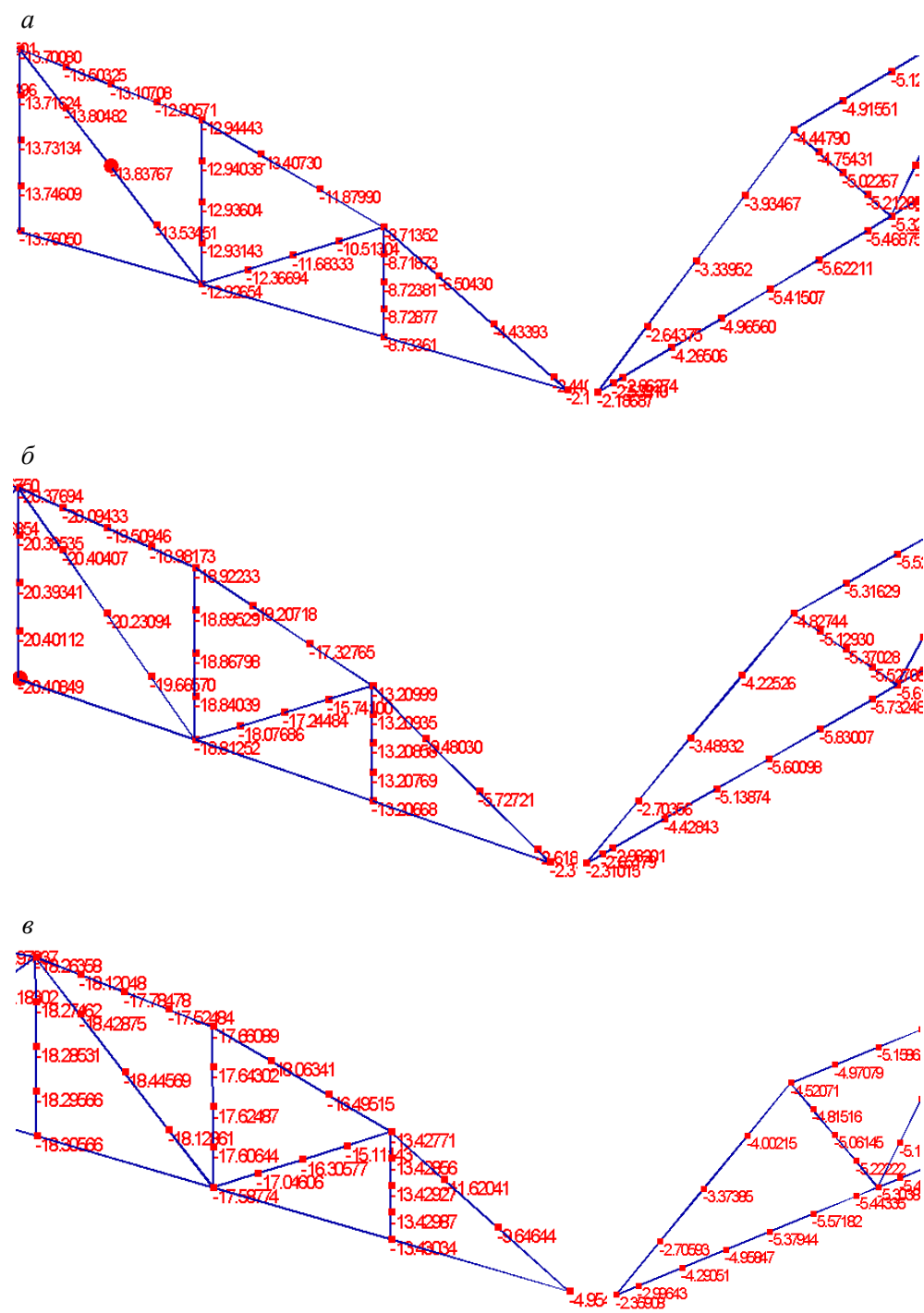


Рис. 4. Значения вертикальных перемещений рядовых стропильной и подстропильной ферм:

*a* – расчетная схема № 1; *б* – расчетная схема № 2; *в* – расчетная схема № 3



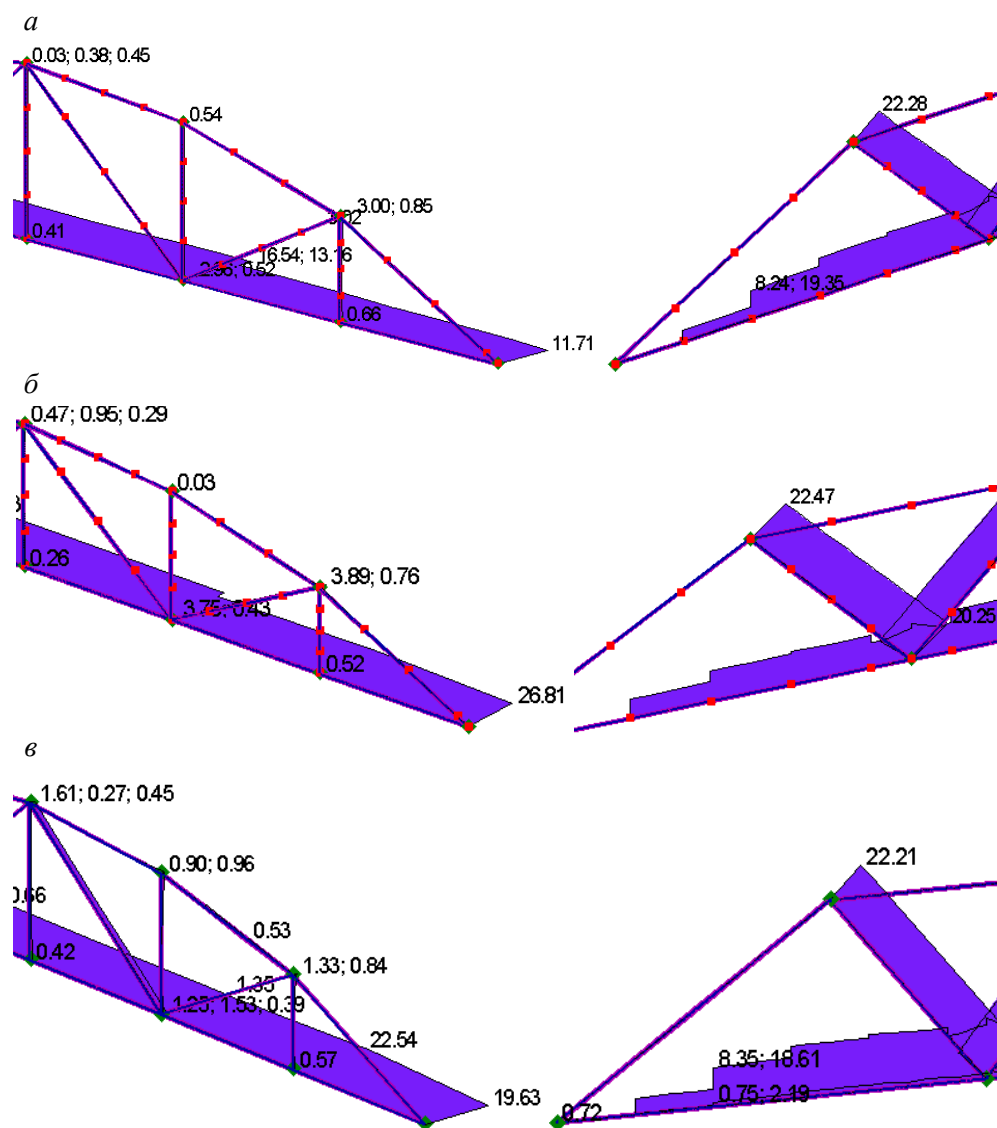


Рис. 5. Эпюры необходимого расчетного продольного армирования (см<sup>2</sup>) в рядовых стропильной и подстропильной фермах:

*a* – расчетная схема № 1; *б* – расчетная схема № 2; *в* – расчетная схема № 3

Таблица 1

**Наибольшие продольные усилия в поясах стропильных ферм (кН)**

Тип элемента	Расчетная схема № 1	Расчетная схема № 2	Расчетная схема № 3
Верхний пояс	–1302	–1279	–1175
Нижний пояс	+488	+1354	+857

Примечание. Знак «–» – сжимающие усилия, знак «+» – растягивающие усилия.

Таблица 2

**Наибольшие продольные усилия в поясах подстропильных ферм (кН)**

Тип элемента	Расчетная схема № 1	Расчетная схема № 2	Расчетная схема № 3
Верхний пояс	–841	–769	–708
Нижний пояс	+104	+284	+288

Таблица 3

**Наибольшие вертикальные перемещения стропильных ферм (мм)**

Тип элемента	Расчетная схема № 1	Расчетная схема № 2	Расчетная схема № 3
Верхний пояс	13,7	20,4	18,3
Нижний пояс	13,8	20,4	18,3

Таблица 4

**Наибольшие вертикальные перемещения подстропильных ферм (мм)**

Тип элемента	Расчетная схема № 1	Расчетная схема № 2	Расчетная схема № 3
Верхний пояс	5,1	5,5	5,1
Нижний пояс	5,6	5,8	5,4

**Подстропильные фермы.** Вследствие полученных повреждений в пролетной части нижних поясов ферм растягивающие усилия увеличились в 2,7 раза. В то же время сжимающие усилия в пролетной части верхних поясов, наоборот, незначительно уменьшились на величину, равную 9 %. Максимальные вертикальные перемещения поясов ферм увеличились на 3 % и составили 5,8 мм, что значительно меньше предельно допустимого значения  $f/L = 5,8/12000 = 1/2069 < [1/150]$ . После выполнения капитального ремонта уровень продольных усилий в фермах существенно не изменится.

Значения фактической (с учетом установленного коррозионного износа) и необходимой расчетной продольной арматуры в поясах стропильных и подстропильных ферм приведены соответственно в табл. 5 и 6. Здесь благодаря возможности программы в нижних поясах ферм проволоочная арматура в канатах К-7 заменена на эквивалентную по прочности арматуру класса А400 по зависимости  $R_{SK-7}A_{SK-7} = R_{SA400}A_{SA400}$ .

Таблица 5

**Значения фактической и необходимой расчетной продольной арматуры в поясах стропильных ферм (см<sup>2</sup>)**

Тип элемента	Расчетная схема № 1		Расчетная схема № 2		Расчетная схема № 3	
	Фактическая	Расчетная	Фактическая	Расчетная	Фактическая	Расчетная
Верхний пояс	4,52	0,71	3,16	1,00	3,16	1,61
Нижний пояс	32,40	16,79	25,92	34,27	25,92	19,6

Таблица 6

**Значения фактической и необходимой расчетной продольной арматуры  
в элементах подстропильных ферм (см<sup>2</sup>)**

Тип элемента	Расчетная схема № 1		Расчетная схема № 2		Расчетная схема № 3	
	Фактиче- ская	Расчетная	Фактиче- ская	Расчетная	Фактиче- ская	Расчетная
Верхний пояс	6,79	—	4,75	—	4,75	—
Нижний пояс	34,56	19,35	27,65	20,25	27,65	20,08

**Стропильные фермы.** В результате коррозии арматуры и, как следствие, потери обжата бетона нижнего пояса предварительно напряженной арматурой увеличились значения необходимой расчетной продольной арматуры в элементах ферм. При этом во всех элементах ферм, кроме нижнего пояса и опорных растянутых раскосов, величина требуемой расчетной арматуры не превысила фактических значений. В нижнем поясе и в опорных растянутых раскосах дефицит продольного армирования составил 51 и 21 % соответственно.

**Подстропильные фермы.** При неблагоприятном воздействии внешних факторов величина необходимой расчетной продольной арматуры в пролетной части нижнего пояса увеличилась на 4 %. Вследствие большого запаса в армировании элементов подстропильных ферм, даже с учетом произошедшего коррозионного поражения арматуры, величина фактической арматуры в нижнем поясе существенно превышает необходимое расчетное продольное армирование.

Таким образом, восстановление эксплуатационной пригодности стропильных и подстропильных ферм промышленного здания заключается в создании монолитности в элементах ферм и в обеспечении совместной работы существующей арматуры с отремонтированным защитным слоем бетона, а также в усилении углепластиковым волокном нижнего пояса стропильных ферм.

### Заключение

После 60 лет эксплуатации здания в условиях неблагоприятного воздействия окружающей среды, без консервации объекта в течение нескольких последних лет в железобетонных стропильных и подстропильных фермах произошло значительное коррозионное повреждение арматуры с уменьшением ее рабочего сечения в отдельных элементах на 10–20 % с образованием продольных трещин в защитном слое бетона шириной в несколько миллиметров и нарушением совместной работы бетона и арматуры.

Восстановление эксплуатационной пригодности стропильных и подстропильных ферм заключалось в создании монолитности в элементах ферм и в обеспечении совместной работы существующей арматуры с отремонтированным защитным слоем бетона, а также в усилении углепластиковым волокном нижнего пояса стропильных ферм.

### Библиографический СПИСОК

1. Коянкин А.А., Митасов В.М. Каркас сборно-монолитного здания и особенности его работы на разных жизненных циклах // Вестник МГСУ. 2015. № 9. С. 28–35.

2. Ерышев В.А., Латышева Е.В., Малыш А.С. Определение эксплуатационных параметров качества железобетонных конструкций в составе здания без их физического разрушения путем натурных испытаний // Известия КГАСУ. 2015. № 1 (13). С. 75–79.
3. Золина Т.В. Порядок проведения обследования здания с целью последующей оценки его остаточного ресурса // Вестник МГСУ. 2014. № 11. С. 98–108.
4. Золина Т.В., Садчиков П.Н. Моделирование работы конструкций промышленного здания с учетом изменения жесткости в процессе эксплуатации // Вестник МГСУ. 2012. № 10. С. 69–76.
5. Ступишин Л.Ю. Оценка состояния несущих конструкций зданий и сооружений: ресурс несущей способности зданий с дефектами // Промышленное и гражданское строительство. 2017. № 10. С. 39–44.
6. Золина Т.В., Туснин А.Р. Увеличение срока эксплуатации промышленного объекта введением конструктивных мер // Вестник МГСУ. 2015. № 6. С. 41–49.
7. Чистяков Е.А., Крылов С.Б., Шарипов Р.Ш. Напряжения в арматуре преднапряженных железобетонных конструкций с натяжением на бетон в предельной по несущей способности стадии // Промышленное и гражданское строительство. 2010. № 3. С. 10–16.
8. Степанова В.Ф. Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии – основа обеспечения долговечности зданий и сооружений // Промышленное и гражданское строительство. 2013. № 1. С. 13–16.
9. Тамразян А.Г., Попов Д.С. Напряженно-деформированное состояние коррозионно-поврежденных элементов при динамическом нагружении // Промышленное и гражданское строительство. 2019. № 2. С. 19–26.
10. Смоляго Г.А., Дронов В.И., Дронов А.В., Меркулов С.И. Изучение влияния дефектов железобетонных конструкций на развитие коррозионных процессов арматуры // Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 12. С. 25–27.
11. Пахомова Е.Г., Кретова В.М., Гордеев А.В. К методике оценки работоспособности железобетонных конструкций при нарушении сцепления арматуры с бетоном при коррозионных повреждениях // Промышленное и гражданское строительство. 2011. № 8. С. 28–29.
12. Данилов А.И., Калугин И.А. Усиление растянутых элементов полимерами на основе высокопрочного волокна // Промышленное и гражданское строительство. 2018. № 12. С. 25–31.
13. Устинов А.М., Клопотов А.А., Потеев А.И., Абзаев Ю.А., Плевков В.С. Экспериментальное исследование напряженно-деформированного состояния поверхностных слоев углепластика при осевом растяжении методом корреляции цифровых изображений // Известия Алтайского государственного университета. 2018. № 1 (99). С. 58–63. DOI: 10.14258/izvasu(2018)1-10
14. Симаков О.А., Зенин С.А., Кудинов О.В., Осипов П.В. Расчет анкеров из углеродных волокон на вырыв и срез для систем внешнего армирования // Промышленное и гражданское строительство. 2020. № 4. С. 4–8.
15. Римшин В.И., Меркулов С.И. Элементы теории развития бетонных конструкций с неметаллической композитной арматурой // Промышленное и гражданское строительство. 2015. № 5. С. 38–42.
16. Карпенко Н.И., Карпенко С.Н., Кузнецов Е.Н. О современных проблемах расчета высотных зданий из монолитного железобетона // Бетон и железобетон – пути развития : научн. тр. II Всерос. (Междунар.) конф. В пяти книгах. Т. 1. Пленарные доклады. Москва, 2005. С. 149–166.

#### REFERENCES

1. Koyankin A.A., Mitsov V.M. Karkas sborno-monolitnogo zdaniya i osobennosti ego raboty na raznykh zhiznennykh tsiklakh [Prefabricated solid building frame and its properties in different life cycles]. *Vestnik MGSU*. 2015. No. 9. Pp. 28–35. (rus)
2. Eryshev V.A., Latysheva E.V., Malyshev A.S. Opredelenie ekspluatatsionnykh parametrov kachestva zhelezobetonnykh konstruktсий v sostave zdaniya bez ikh fizicheskogo razrusheniya

- putem naturnykh ispytaniy [In situ testing of performance parameters of reinforced concrete structures without physical fracture]. *Izvestiya KGASU*. 2015. No. 1 (13). Pp. 75–79. (rus)
3. Zolina T.V. Poryadok provedeniya obsledovaniya zdaniya s tsel'yu posleduyushchei otsenki ego ostatochnogo resursa [Examination procedure for building residual operation life]. *Vestnik MGSU*. 2014. No. 11. Pp. 98–108. (rus)
  4. Zolina T.V., Sadchikov P.N. Modelirovanie raboty konstruksii promyshlennogo zdaniya s uchetom izmeneniya zhestkosti v protsesse ekspluatatsii [Modelling the industrial building performance with respect to stiffness during operation]. *Vestnik MGSU*. 2012. No. 10. Pp. 69–76. (rus)
  5. Stupishin L.Yu. Otsenka sstoyaniya nesushchikh konstruksii zdaniy i sooruzhenii: resurs nesushchei sposobnosti zdaniy s defektami [Load-bearing capacity of buildings with defects]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2017. No. 10. Pp. 39–44. (rus)
  6. Zolina T.V., Tusnin A.R. Uvelichenie sroka ekspluatatsii promyshlennogo ob'ekta vvedeniem konstruktivnykh mer [Extending of operation life of industrial building]. *Vestnik MGSU*. 2015. No. 6. Pp. 41–49. (rus)
  7. Chistyakov E.A., Krylov S.B., Sharipov R.Sh. Napryazheniya v armature prednapryazhennykh zhelezobetonnykh konstruksii s natyazheniem na beton v predel'noi po nesushchei sposobnosti stadii [Stresses in prestressed reinforced concrete structures with concrete tension]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2010. No. 3. Pp. 10–16. (rus)
  8. Stepanova V.F. Zashchita betonnykh i zhelezobetonnykh konstruksii ot korrozii – osnova obespecheniya dolgovechnosti zdaniy i sooruzhenii [Corrosion protection of concrete and reinforced concrete structures as a basis for building durability]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2013. No. 1. Pp. 13–16. (rus)
  9. Tamrazyan A.G., Popov D.S. Napryazhennogo deformirovannoe sostoyanie korroziionno-povrezhdennykh elementov pri dinamicheskom nagruzhenii [Stress-strain state of corroded and damaged elements under dynamic loading]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2019. No. 2. Pp. 19–26. (rus)
  10. Smolyago G.A., Dronov V.I., Dronov A.V., Merkulov S.I. Izuchenie vliyaniya defektov zhelezobetonnykh konstruksii na razvitie korroziionnykh protsessov armatury [Defects in reinforced concrete structures and reinforcement corrosion processes]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2014. No. 12. Pp. 25–27. (rus)
  11. Pakhomova E.G., Kretova V.M., Gordeev A.V. K metodike otsenki rabosposobnosti zhelezobetonnykh konstruksii pri narushenii stsepleniya armatury s betonom pri korroziionnykh povrezhdeniyakh [Towards assessing methodology of serviceability of reinforced concrete structures after failure in reinforcement bond with concrete at corrosion damage]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2011. No. 8. Pp. 28–29. (rus)
  12. Danilov A.I., Kalugin I.A. Usilenie rastyanutykh elementov polimerami na osnove vysokoprochnogo volokna [Tensile member reinforcement with high-strength fiber polymers]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2018. No. 12. Pp. 25–31. (rus)
  13. Ustinov A.M., Klopotov A.A., Potekaev A.I., Abzaev Yu.A., Plevkov V.S. Eksperimental'noe issledovanie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya poverkhnostnykh sloev ugleplastika pri osovom rastyazhenii metodom korrelyatsii tsifrovyykh izobrazhenii [Digital image correlation of stress-strain state of CFRP surface layers under axial tension]. *Izvestiya Altaiskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2018. No. 1 (99). Pp. 58–63. DOI 10.14258/izvasu(2018)1-10 (rus)
  14. Simakov O.A., Zenin S.A., Kudinov O.V., Osipov P.V. Raschet ankerov iz uglerodnykh volokon na vyryv i srez dlya sistem vneshnego armirovaniya [Strength analysis of carbon fiber anchor for external reinforcement]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2020. No. 4. Pp. 4–8. (rus)
  15. Rimshin V.I., Merkulov S.I. Elementy teorii razvitiya betonnykh konstruksii s nemetallicheskoi kompozitnoi armaturoi [Elements of the theory of development of concrete structures with non-metallic composite reinforcement]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2015. No. 5. Pp. 38–42. (rus)
  16. Karpenko N.I., Karpenko S.N., Kuznetsov E.N. O sovremennykh problemakh rascheta vysotnykh zdaniy iz monolitnogo zhelezobetona [Current problems in strength analysis of high-rise solid reinforced concrete buildings]. In: II Vseros. (Mezhdunar.) konf. Beton i zhelezobeton – puti razvitiya. Nauchn. Tr. Konf. V pyati knigakh (Proc. 4th Int. Sci. Conf. 'Concrete and Reinforced Concrete in the Third Millenium'), in 5 vol., vol. 1. 2005. Pp. 149–166. (rus)

**Сведения об авторах**

*Подшивалов Иван Иванович*, канд. техн. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, ivanpodchivalov@list.ru

*Пляскин Андрей Сергеевич*, канд. техн. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, plyaskinandrei@mail.ru

*Тарасов Александр Александрович*, канд. техн. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, tar.a.a@mail.ru

**Authors Details**

*Ivan I. Podshivalov*, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, ivanpodchivalov@list.ru

*Andrei S. Plyaskin*, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, plyaskinandrei@mail.ru

*Aleksandr A. Tarasov*, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, tar.a.a@mail.ru