



СӘУЛЕТ ЖӘНЕ ҚҰРЫЛЫС  
АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО  
ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION

DOI 10.51885/1561-4212\_2024\_1\_154  
MPHTI 67.11

**С.К. Кожасов<sup>1</sup>, С.Р. Жолмагамбетов<sup>1</sup>, А.К. Кожас<sup>2</sup>, Т.А. Толкынбаев<sup>2</sup>,  
А.Т. Мухамеджанова<sup>2</sup>, Ш.Б. Толеубаева<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Казахстанский многопрофильный институт реконструкции, г. Караганды, Казахстан  
E-mail: doublesjani150@gmail.com

E-mail: syrlybekzh@mail.ru

<sup>2</sup>Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, г. Астана, Казахстан

E-mail: kozhas@bk.ru

E-mail: temtol1961@mail.ru

E-mail: assel.84@list.ru

E-mail: shamshygaiyn@mail.ru\*

#### АНАЛИЗ ФАКТОРОВ ПРИЧИН ОБРУШЕНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ПОКРЫТИЯ КОРПУСА СГУЩЕНИЯ ФСО В г. ЖЕЗКАЗГАН

#### ЖЕЗҚАЗҒАН ҚАЛАСЫНДАҒЫ ФСО ҚОЮЛАНДЫРУ КОРПУСЫНЫҢ ЖАБЫН КОНСТРУКЦИЯЛАРЫНЫҢ ҚҰЛАУ СЕБЕПТЕРІНІҢ ФАКТОРЛАРЫН ТАЛДАУ

#### ANALYSIS OF THE FACTORS OF THE CAUSES OF COLLAPSE OF THE STRUCTURES OF THE COATING OF THE HOUSING OF THE CONDENSATION OF THE FSO IN ZHEZKAZGAN

**Аннотация.** Эксплуатация металлических конструкций в агрессивной среде вызывает коррозию металла, что характерно для промышленных предприятий. Неправильная эксплуатация несущих конструкций покрытия корпуса сгущения фильтровально-сушильного отделения вызвала обрушение металлической фермы. Поверочный расчет фермы покрытия в конструирующей системе ЛИР-СТК программы «Лира-САПР» на расчетные сочетания усилий показал, что несущая способность конструктивных элементов ферм не обеспечена. Причиной обрушения фермы, расположенной по оси 13, А, является стопроцентная коррозия металла, вызванная агрессивной средой, а также отклонение от проекта при монтаже фермы и нагружение нагрузкой, не предусмотренной по проекту. В связи с выявленными дефектами и повреждениями конструкций покрытия предложены рекомендации по их восстановлению.

**Ключевые слова:** металл, коррозия, износ, конструкции, ферма, повреждение, ремонт.

**Андапта.** Агрессивті ортада металл конструкцияларын пайдалану өнеркәсіптік кәсіпорындарға тән металдың коррозиясын тудырады. Сүзу-кептіру бөлімінің қоюландыру корпусының тірек жабынының конструкцияларының дұрыс жұмыс істемеуі металл ферманың құлауына себеп болды. «Лира-САПР» бағдарламасының ЛИР-СТК конструкторлық жүйесіндегі жабын фермасын күш-жігердің есептік үйлесіміне тексеру есебі жүргізілді, оның нәтижелері бойынша фермалардың конструктивтік элементтерінің жүк көтергіштігі қамтамасыз етілмеді. 13 А осінде орналасқан ферманың құлауының себебі агрессивті ортадан туындаған металдың жүз пайыздық коррозиясы; ферманы орнату кезінде жобадан ауытқу; жоба бойынша көзделмеген жүктеме жүктемесі болып табылады. Анықталған ақаулар мен жабын конструкцияларының зақымдалуына байланысты оларды қалпына келтіру бойынша ұсыныстар ұсынылды.

**Түйін сөздер:** металл, коррозия, тозу, құрылымдар, ферма, зақымдану, жөндеу.

**Abstract.** The operation of metal structures in an aggressive environment causes metal corrosion, which is typical for industrial enterprises. Incorrect operation of the load-bearing structures of the coating of the thickening housing of the Filtering and Drying Department caused the collapse of the metal truss. A verification calculation of the roof truss was performed in the LIR-STK design system of the Lira-SAPR program for design combinations of forces, as a result of which the bearing capacity of the structural elements of the trusses was not ensured. The reason for the collapse of the truss located along axis 13, A is one hundred percent corrosion of the metal caused by an aggressive environment; deviation from the project during the installation of the farm; loading with a load not provided for by the project. In connection with the identified defects and damage to the coating structures, recommendations for their restoration are proposed.

**Keywords:** metal, corrosion, wear, structures, truss, damage, repair.

**Введение.** При длительной эксплуатации зданий и сооружений промышленных предприятий и несоблюдении правил технической эксплуатации возникает физический износ несущих строительных конструкций. Причинами физического износа металлических конструкций могут быть:

- воздействие агрессивной среды, приводящее к коррозии металла;
- превышение допустимой нагрузки;
- несоответствие фактического конструктивного решения проектному решению;
- некачественное выполнение сварочных, клепочных и монтажных работ.

**Литературный обзор.** Коррозия металла считается одним из наиболее опасных видов разрушения строительных конструкций [1-4]. Стальные конструкции в процессе эксплуатации подвергаются коррозии, нанося большой ущерб обрабатывающей промышленности [1]. Коррозия стальных элементов фасадной системы может привести к разрушению, которое может отрицательно повлиять на эксплуатационные характеристики здания [2]. В работе [3] предлагается использовать результаты компьютерного моделирования для оценки степени эксплуатационной пригодности и возможности дальнейшей безопасной эксплуатации строительных металлоконструкций промышленных зданий и сооружений. Одними из основных факторов, определяющих скорость коррозии, являются влажность воздуха и пыль, оседающая на поверхности из атмосферы при производственных выбросах [4]. В работе [5] определены методы определения основных показателей коррозионного повреждения. Экономические потери от коррозии металла в США в 2016 году составили 1,1 трлн долларов, аналогичные показатели зарегистрированы в Великобритании и Германии [6]. В Казахстане объем строительных работ в 2021 году составил 1,825 трлн тенге, при этом стоимость стальной арматуры в период с 2015 по 2021 годы выросла более чем в 4 раза по причине резкого роста цен на стальной прокат на мировых рынках, прежде всего в Китае, США, ЕС [6].

Коррозионное разрушение элементов стальных конструкций и арматуры в железобетоне является одним из основных факторов, приводящих к недопустимому и аварийному состоянию конструкций [7-8]. Определение фактического коррозионного износа эксплуатируемых стальных конструкций необходимо как для контроля их технического состояния и своевременного восстановления, так и для предотвращения аварий (отказов и обрушений) [7]. Скорость коррозии изменяется в широких пределах от 0,05 до 1,6 мм в год [8] и зависит от коррозионной стойкости металла, параметров агрессивной среды, наличия и состояния антикоррозионной обработки, конструктивного решения и прочих факторов. Поэтому защита строительных конструкций от коррозии является очень актуальной темой исследований, где важно решить вопрос о правильном выборе материала для строительных конструкций [11-12]. Бесперебойная работа металлических конструкций в промышленных зданиях в первую очередь определяется защитой от коррозионного разрушения [4]. Оценка возможности дальнейшей безаварийной эксплуатации существующей

щих зданий и сооружений – основная задача, которая ставится заказчиком перед специалистами, выполняющими обследование [13].

*Материалы и методы исследования.* Произведен анализ причин обрушения металлической фермы корпуса сгущения фильтровально-сушильного отделения в г. Жезказган (Казахстан) вследствие коррозионного износа [14].

Корпус сгущения расположен на территории медеплавильного завода г. Жезказган и представляет собой одноэтажное строение прямоугольной конфигурации в плане, запроектированное размерами в осях «А-Ж»/«З-23» – 36×120 м с наивысшей отм. 17,400 на уровне парапета кровли. Конструктивная схема здания – каркасная, рамно-связевая с поперечными рамами из железобетонных колонн и металлических ферм.

Согласно проектным данным, металлические конструкции покрытия должны быть спроектированы в соответствии с серией ПК - 01-133 «Стальные конструкции покрытий промышленных зданий с плоской кровлей пролетом 24, 30 и 36 м». Фактическое исполнение металлических конструкций отличается от серии ПК - 01-133. В частности, имеются различия в сечениях горизонтальных связей по покрытию с типовой серией ПК - 01-133. Так, по серии ПК - 01-133 связи по верхнему поясу ферм уголок 75х5 и 2 швеллера 100х60х3, по нижнему поясу ферм соответственно уголок 70х5 и 2 швеллера 100х60х3. По результатам обследования фактическое сечение связей по верхнему и нижнему поясу ферм уголок 75х8 и 2 швеллера №12. Имеются различия и по самим сечениям ферм. В здании размещены два подвесных крана грузоподъемностью  $Q = 3$  т в осях «А-Б»/«З-23» и  $Q = 2$  т в осях «Б-Ж»/«З-6».

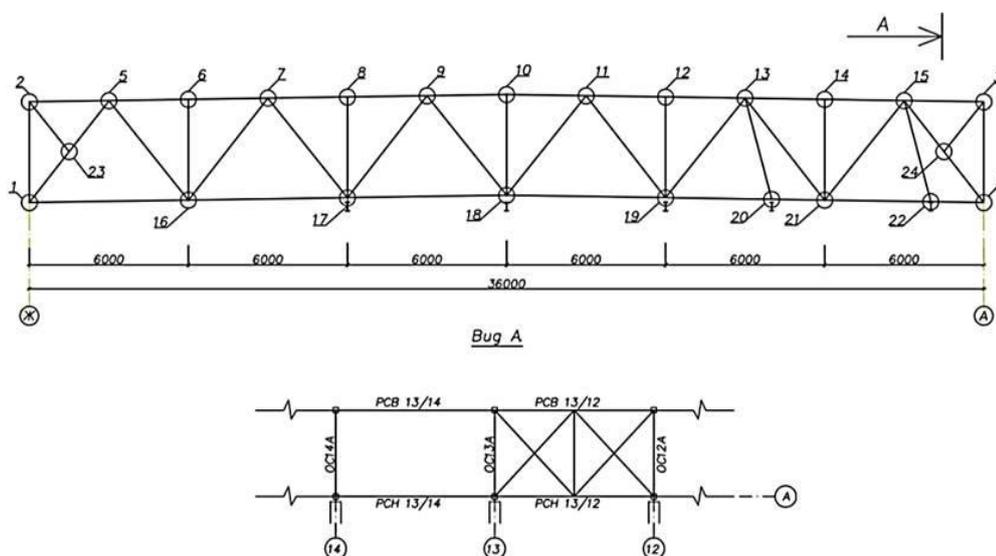


Рисунок 1. Маркировочная схема №1 фермы Ф13 в осях «13, Ж-А»

Проект корпуса сгущения за № 266060 разработан институтом «Механобр» Министерства цветной металлургии «Главцветметниипроект» СССР, г. Ленинград в 1966 г. Стропильные фермы запроектированы с параллельными поясами под плоскую кровлю с уклоном верхнего и нижнего пояса 1,5 %. Высота ферм на опоре по обухам поясов 3750 мм, полная высота на опоре 3900 мм.

Верхние пояса стропильных ферм запроектированы переменными по длине пояса сечениями. Пояса ферм запроектированы из низколегированной стали с расчетным сопротивлением  $R_y = 2900$  кгс/см<sup>2</sup>, элементы решетки фермы запроектированы из стали Ст.3.

Фермы опираются на железобетонные колонны, расположенные с шагом 6 м, закрепление ферм к колоннам производится посредством надпорной стойки, закрепленной шарнирно к закладной опорной плите железобетонной колонны. Крепление ферм к надколонной стойке – болтовое. В продольном направлении фермы раскреплены вертикальными связевыми панелями и распорными балками.

По результатам исследования уставлено следующее:

1. На момент аварии несущие элементы фермы, а именно надпорная стойка ОС13А и распорки по нижним поясам ферм РСН 13/12 и РСН 13/14 имели критические повреждения в виде 100 % коррозионного износа стенок элементов (рис. 1).

2. В январе 2019 г. вследствие коррозионного износа составляющих элементов фермы произошло резкое нарастание перемещений сечений верхнего пояса относительно нижнего, далее произошел отрыв шпренгеля 3-24, что привело к увеличению перемещения верхнего пояса относительно нижнего.

3. В результате разрушения надпорной стойки ОС13А ферма Ф13 частично потеряла устойчивость из плоскости изгиба, т.е. из рабочей плоскости, пояса и стержни решетки фермы стали не способны нести эксплуатационные нагрузки, что привело к ее обрушению.



**Рисунок 2.** 100 %-ая коррозия стенок надпорной стойки 3-4 на опорном участке



**Рисунок 3.** Разрушение анкерного сопряжения надпорной стойки 3-4 и фермы (узел 4) с ж/б колонной



Рисунок 4. Отрыв подкоса 3-24

*Результаты и их обсуждения.* Был выполнен поверочный расчет фермы покрытия в конструирующей системе ЛИР-СТК программы «Лири-САПР» на расчетные сочетания усилий (рис. 5) [14]. Поверочный расчет произведен на фактическую прочность элементов с учетом имеющегося коррозионного износа.

На основании вышеуказанного следует, что проект стропильной фермы пролетом  $L = 36$  м по типовому проекту ПК - 01-133, после определения расчетной нагрузки в т/п.м и выбора типа исполнения, должен быть привязан к данному объекту (корпус сгущения) с учетом всех технологических нагрузок.

Расчетные сочетания усилий

Номер таблицы РСУ: 1

Имя таблицы РСУ: СНиП\_1

Строительные нормы: СНиП 2.01.07-85\*

Номер загрузки: 1 Собственный вес

Вид загрузки: Постоянное(0)

Н группы объединяемых временных нагрузжений: 0

Учитывать знакперемежность:

Н группы взаимоисключающих нагрузжений: 0

NN сопутствующих нагрузжений: 0

Коэффициент надежности: 1.19

Доля длительности: 1.00

Не учитывать для II-го пред. сост.:

Ограничения для кранов и тормозов:

Кран: 2 Тормоз: 0

Сводная таблица для вычисления РСУ:

№	Имя загрузки...	Вид	Параметры РСУ								Коэффициенты РСУ							
			0	0	0	0	0	0	1.19	1.00	1.00	1.00	0.90	1.00				
1	Собственный	Постоянное(0)	0	0	0	0	0	0	1.19	1.00	1.00	1.00	0.90	1.00				
2	От состава п...	Постоянное(0)	0	0	0	0	0	0	1.23	1.00	1.00	1.00	0.90	1.00				
3	1 вариант кр...	Крановое(3)	3	0	0	1	0	0	0	1.15	0.60	1.00	0.90	0.00				
4	2 вариант кр...	Крановое(3)	3	0	0	1	0	0	0	1.15	0.60	1.00	0.90	0.00				
5	Кабельная э...	Временное длг.(1)	1	0	0	0	0	0	0	1.05	1.00	1.00	0.95	0.80	0.95			
6	От трубопров...	Временное длг.(1)	1	0	0	0	0	0	0	1.05	1.00	1.00	0.95	0.80	0.95			
7	Снеговая	Кратковременное(2)	2	0	0	0	0	0	0	1.33	0.00	1.00	0.90	0.50	0.80			

Рисунок 5. Таблица расчетных сочетаний усилий

По результатам поверочного расчета установлено:

1. Несущая способность надпорной стойки по оси А не обеспечена;
2. Местная устойчивость надпорных стоек по оси А и Ж не обеспечена;
3. Несущая способность верхнего пояса в осях В-Д не обеспечена;
4. Требуемая гибкость нижнего пояса в осях В-Ж не обеспечена.

Собственный вес фермы покрытия в многофункциональном программном комплексе «Лири САПР» учитывается автоматически в зависимости от физико-геометрических

характеристик применяемых сечений с учетом коэффициента надежности по нагрузке 1,25 и уровня ответственности объекта.

Пространственная расчетная схема каркаса в осях «3-23/А-Ж» корпуса сгущения ФСО ЖОФ № 1, 2 (рис. 6) построена на основании:

- материалов детально-инструментального обследования, проведенного институтом КазМИРР;

- частичных материалов рабочего проекта, предоставленных Заказчиком;

- сформирована в многофункциональном программном комплексе «Лири-САПР».

Расчетная схема включает следующие виды загрузок:

- загрузка № 1 – нагрузки от собственного веса элементов каркаса;

- загрузка № 2 – постоянная нагрузка от состава покрытия, стеновых панелей, смотровых площадок;

- загрузка № 3 – снеговая нагрузка;

- загрузка № 4-23, 30-51 – различные варианты крановой нагрузки;

- загрузка № 26-27 – ветровая нагрузка;

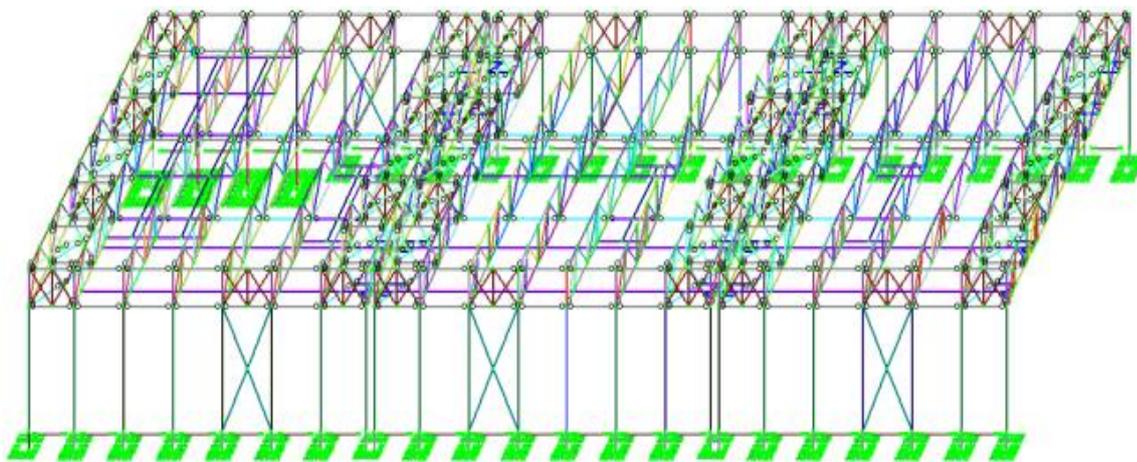
- загрузка № 28 – нагрузка от кабельной эстакады;

- загрузка № 29 – нагрузка от временного трубопровода, подающего шихту, нагрузка от технологических трубопроводов;

- загрузка № 52-73 – горизонтальная нагрузка вдоль кранового пути от торможения моста подвесного крана;

- загрузка № 74-95 – нагрузка поперек кранового пути от торможения тали подвесного крана на узел фермы.

Согласно результатам лабораторных испытаний марка стали элементов фермы покрытия соответствует стали С255, за исключением верхнего пояса, у которого марка стали С235.



**Рисунок 6.** Расчетная схема каркаса корпуса сгущения ФСО ЖОФ № 1,2 в осях «3-23/А-Ж»

По результатам поверочных расчетов не обеспечена несущая способность и эксплуатационная пригодность ферм, расположенных по осям (табл. 1).

В связи с выявленными дефектами и повреждениями по указанным конструкциям в виде значительного коррозионного износа основных элементов (надпорных стоек, вертикальных связей стоек, элементов нижнего и верхнего поясов, опорных узлов), требует-

ся капитальный ремонт с усилением или замена дефектных конструкций с временным раскреплением конструкций (в необходимых условиях) с учетом рекомендаций раздела «б» Технического заключения [15].

*Усиление и замена конструкций ферм подведением временных и постоянных опор.* Напряженное состояние стержневых систем ферм регулируют приложением внешнего расчетного усилия в заданном узле с помощью инвентарной разгружающей опоры в следующей технологической последовательности (рис. 7):

- выполняется усиление узла, в котором будет производиться поддомкрачивание, если это требуется по результатам расчета; устанавливается инвентарная опора под пролетным строением (непосредственно под требуемым узлом); на опору навешиваются лестницы с площадками;

- с помощью домкратов выбирается зазор между траверсой инвентарной опоры и узлом фермы, к которому требуется приложить внешнюю силу по проекту; к траверсе инвентарной опоры закрепляется на болтах нормальной точности нижняя связевая распорка галерей;

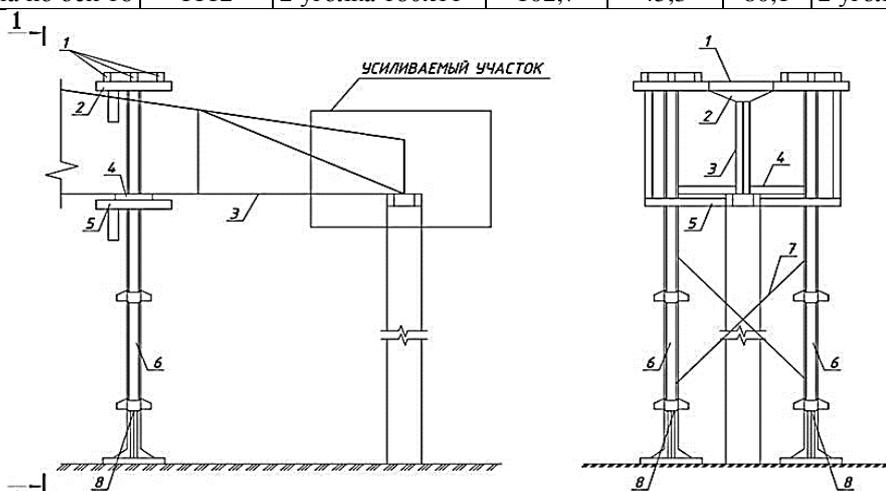
- поддомкрачивается узел фермы на расчетное усилие, тем самым в элементе фермы, требующем усиления или замены, создается нулевое усилие, при этом элементы фермы следует разгружать в два этапа (50 % и 100 % расчетного значения);

- контролируется величина усилий, создаваемых домкратами, одновременно двумя способами: по показаниям манометров, установленных на домкратах, и по величине обратного прогиба узла фермы, определяемого с помощью прогибомеров. Параллельно с этим с помощью тензодатчиков необходимо контролировать напряжения в усиливаемом элементе фермы и в других ее стержнях, сходящихся в данном узле.

**Таблица 1.** Элементы ферм, требующие усиления

№	Наименование	Номер элемента	Сечение	1ПС, %	2ПС, %	МУ, %	Подбор
1.	Ферма по оси 4	48	2 уголка 180×11	108,7	46,7	81,1	2 уголка 200x12
2.	Ферма по оси 4	54	2 уголка 180×11	108	46,5	81,1	2 уголка 180×12
3.	Ферма по оси 5	712	2 уголка 100×8	115,5	89,5	50,2	2 уголка 110x8
4.	Ферма по оси 5	711	2 уголка 100×8	112,7	88,5	50,2	2 уголка 110x7
5.	Ферма по оси 6	770	2 уголка 180×11	109,2	38,78	0	2 уголка 160x14
6.	Ферма по оси 6	769	2 уголка 180×11	108,2	38,7	0	2 уголка 180x12
7.	Ферма по оси 6	745	2 уголка 180×11	124	50,7	81,1	2 уголка 200x12
8.	Ферма по оси 6	746	2 уголка 180×11	124	50,8	81,1	2 уголка 200x12
9.	Ферма по оси 6	747	2 уголка 180×11	139,4	55,6	81,1	2 уголка 200x14
10.	Ферма по оси 6	741	2 уголка 180×11	139,4	55,6	81,1	2 уголка 200x14
11.	Ферма по оси 6	740	2 уголка 180×11	121,6	50	81,1	2 уголка 200x12
12.	Ферма по оси 6	739	2 уголка 180×11	121,5	50	81,1	2 уголка 200x12
13.	Ферма по оси 7	7	2 уголка 180×11	119,2	49,4	81,1	2 уголка 200x12
14.	Ферма по оси 7	8	2 уголка 180×11	119,2	49,4	81,1	2 уголка 200x12
15.	Ферма по оси 7	9	2 уголка 180×11	138,5	55,3	81,1	2 уголка 200x14
16.	Ферма по оси 7	13	2 уголка 180×11	124,5	50,9	81,1	2 уголка 200x12
17.	Ферма по оси 7	14	2 уголка 180×11	124,5	50,9	81,1	2 уголка 200x12
18.	Ферма по оси 7	15	2 уголка 180×11	138,5	55,3	81,1	2 уголка 200x14
19.	Ферма по оси 7	20	2 уголка 180×11	109,9	38,7	0	2 уголка 160x14
20.	Ферма по оси 7	33	2 уголка 180×11	107,9	38,7	0	2 уголка 180x12
21.	Ферма по оси 12	282	2 уголка 200x12	102,5	40,7	91,1	2 уголка 200x13
22.	Ферма по оси 12	283	2 уголка 200x12	102,5	40,7	91,1	2 уголка 200x13
23.	Ферма по оси 12	284	2 уголка 200x12	115,4	43,5	92,3	2 уголка 200x14

№	Наименование	Номер элемента	Сечение	1ПС, %	2ПС, %	МУ, %	Подбор
24.	Ферма по оси 12	278	2 уголка 200x12	115,4	43,5	92,3	2 уголка 200x14
25.	Ферма по оси 12	277	2 уголка 200x12	101,1	40,4	90,4	2 уголка 200x13
26.	Ферма по оси 12	276	2 уголка 200x12	101	40,4	90,4	2 уголка 200x13
27.	Ферма по оси 14	920	2 уголка 100x9	101,7	84,9	39,3	2 уголка 110x7
28.	Ферма по оси 14	909	2 уголка 200x13	107,8	41,9	77,7	2 уголка 200x14
29.	Ферма по оси 14	903	2 уголка 200x13	107,8	41,9	77,7	2 уголка 200x14
30.	Ферма по оси 14	919	2 уголка 100x9	105,1	86,1	39,9	2 уголка 110x8
31.	Ферма по оси 14	895	Двутавр 2-184x3; 240x4	61,9	67,6	120	Двутавр 2- 140x5; 184x3
32.	Ферма по оси 14	896	Двутавр 2-184x3; 240x4	61,8	67,5	120	Двутавр 2- 140x5; 184x3
33.	Ферма по оси 16	995	2 уголка 180x12	103,8	45,6	73,3	2 уголка 200x12
34.	Ферма по оси 16	989	2 уголка 180x12	104	45,7	73,3	2 уголка 200x12
35.	Ферма по оси 18	1118	2 уголка 180x11	102,2	45,2	79,9	2 уголка 180x12
36.	Ферма по оси 18	1112	2 уголка 180x11	102,7	45,3	80,1	2 уголка 180x12



**Рисунок 7.** Усиление и замена элементов ферм с помощью инвентарных опор: 1 – верхняя траверса инвентарной опоры; 2 – верхняя связевая распорка галереи; 3 – усиливаемые фермы; 4 – нижняя связевая распорка галереи; 5 – нижняя траверса инвентарной опоры; 6 – инвентарные стойки; 7 – инвентарные связи; 8 – домкраты

После полного выключения элемента из работы следует выполнить его усиление (прикрепить дополнительные элементы) или полностью заменить. При условии полной замены элементов нужно нарастить фасонки, просверлить в них отверстия и на монтажных болтах установить новые стяжки, окончательно закрепив их сваркой.

При включении в работу элементов сначала снижают давление в домкратах до величины, от которой начиналось поддомкрачивание узла, а затем снимают болты, крепящие связевую распорку к траверсе, и доводят давление в домкратах до нулевого значения. При этом зазор между конструкциями галерей и траверсой инвентарной опоры должен быть не менее 50 мм. После этого демонтируют инвентарную опору.

*Восстановление антикоррозионного покрытия металлоконструкций.* Для всех металлоконструкций здания корпуса сгущения, в которых по результатам обследования выявлено разрушение антикоррозионного покрытия и коррозионный износ, необходимо выполнить антикоррозионную защиту согласно принятым проектным решениям с учетом факторов общецеховой воздушно-газовой среды.

Подготовка поверхности металлических конструкций под окраску имеет большое значение для получения высококачественного покрытия и обеспечения длительности его службы. Подготовка поверхности заключается в очистке от производственной пыли, продуктов коррозии, старой краски, жировых и других загрязнений. При окраске по неочищенному металлу покрытие плохо прилипает и под ним быстро развивается подпленочная коррозия.

Наиболее прогрессивным, простым и экономичным решением при восстановлении лакокрасочных покрытий строительных металлических конструкций следует считать окраску по слою ржавчины с предварительным нанесением модификаторов ржавчины (МР). В основном действие модификаторов ржавчины основано на превращении продуктов коррозии в безвредные соединения: в нерастворимые соли или комплексные соединения.

*Заключение.* В результате технического обследования сотрудниками Казахстанского многопрофильного института реконструкции и развития установлено, что причинами произошедшего аварийного инцидента являются:

– *Прямые причины:*

1. Чрезмерные коррозионные повреждения опорного узла по оси «13, А» (коррозионный износ надопорной стойки ОС13А – 100 %, раскоса – 30 %, нижнего пояса – 60 % и распорок по нижним поясам ферм – РСН 13/12 и РСН 13/14). Вследствие потери устойчивости надопорной стойки произошло перераспределение усилий на ближайшие элементы, в результате чего перегруженными оказались шпренгель и опорный раскос фермы. После выхода последних из строя перегруженными оказались верхний и нижний пояс фермы, как итог всего этого – разрушение приопорной части фермы по оси «13, А» и ее последующее обрушение.

– *Косвенные причины:*

1. Отклонения от типового проекта серии ПК-01-133 по выбору материала, допущенные в ходе изготовления ферм (по данным выполненных лабораторных испытаний).

2. Нагружение ферм дополнительной технологической оснасткой произведено без должной корректировки нагрузок, проведения дополнительных расчетов по проверке несущей способности существующих конструкций (данная документация отсутствует).

3. Формальный подход к диагностике ферм покрытия (отсутствуют контрольные геодезические съемки, данные по лабораторным испытаниям металла, данные по расчету ферм с фактическими нагрузками и др.).

В связи с результатами поверочного расчета, а также значительным коррозионным износом элементов металлического покрытия, требуется восстановить дефектные элементы до проектного сечения. Запрещается устройство дополнительных непроектных нагрузок, подвесов технологического и прочего оборудования на металлические конструкции покрытия.

#### Список литературы

1. Corrosion of Metal Construction Structures / M.H. Al-Sherrawi, E.M. Edaan, L. Sotnik // International Journal of Civil Engineering and Technology. – 2018. – Vol. 9, Issue 6. – P. 437-446.
2. Buildings and structures corrosion of metal structures and effectiveness of its prevention / E.M. Murtazayev, Sh.A. Latipov, A.J. Norchayev, S.J. Toshtemirov, K.N. Kholov // E3S Web of Conferences. – 2023. – Т. 401. — С. 03013. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340103013>
3. Corrosion protection of steel elements in façade systems – A review / L. Soufeiani, G. Foliente, Kate.T.Q. Nguyen, R. San Nicolas // Journal of Building Engineering. – 2020. – Vol. 32. – P. 101759. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101759>
4. Force resistance of steel columns of industrial buildings with corrosion damage / N. Buzalo, I. Gon-

- arenko, B. Chernikhovski // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Vol. 896. – No. 1. – P. 012044. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/896/1/012044>
5. Моделирование коррозионно-механического поведения многоэлементных металлических конструкций транспортных сооружений в реальных условиях эксплуатации / В.К. Черных. – 2019. – Vol. 6. – № 3. – P. 1-12.
  6. Numerical modeling of heat transfer through the interlayer, considering the surface radiation / N.P. Umnyakov // APCSCE IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2018. – P. 456.
  7. Развитие высокотехнологического монтажа сборных металлоконструкций в виде кассетных систем в северных регионах Казахстана / Д.Е. Ахметова // Молодой ученый. – 2022. – Vol. 409. – № 14. – P. 31-34.
  8. Разработка базовой методики определения поверхностного коррозионного износа стальных конструкций / Е.Н. Карпанина, О.Д. Софьяников // Наука и бизнес: пути развития. – 2018. – Vol. 11. – № 89. – P. 108-112.
  9. Methods to Evaluate Corrosion in Buried Steel Structures: A Review / L. A. Rodriguez, J.V. Balsera, F. O. Fernandez and F. Rodriguez-Perez // Metals. – 2018. – Vol. 5. – № 3. – P. 1-21.
  10. Research on damage diagnosis for civil engineering structures / Hao Luo // Insight - Civil Engineering. – 2019. – Vol. 2, Issue 1. – P. 22-25.
  11. Analysis of crack treatment measures incivil engineering construction. / G. Chen // Building Materials and Decoration. – 2019. – Vol. 36. – P.38-39.
  12. A Recent Progress of Steel Bar Corrosion Diagnostic Techniques in RC Structures / D. Luo, Y. Li, J. Li, Kok-Sing Lim, N. Nazal and H. Ahmad // Sensors. – 2019. – Vol 19(1). – P. 1–30.
  13. Features of plastics in modern construction use / M. H. Al-Sherrawi, I. M. Edaan, A. Al-Rumaihi, S. Sotnik and V. Lyashenko // International Journal of Civil Engineering and Technology. – 2018. – Vol. 9(4). – P. 975-984.
  14. Determining the Coefficient of the Significance of Construction Design in Assessing the Technical Condition of Buildings / N.A. Buzalo, A.V. Kanunnikov // Construction and reconstruction. – 2018. – Vol. 3(77). – P. 3-11.
  15. Техническое заключение. Исследование причин аварийного обрушения конструкций покрытия по результатам детально-инструментального обследования и поверочных расчетов аварийного участка корпуса сгущения фильтровально-сушильного отделения Жезказганской обогатительной фабрики № 1,2 обогатительно-производственного комплекса. ТОО «Корпорация Казахмыс» (1-этап). Караганда, 2019.

#### References

1. Corrosion of Metal Construction Structures / M.H. Al-Sherrawi, E.M. Edaan, L. Sotnik // International Journal of Civil Engineering and Technology. – 2018. – Vol. 9, Issue 6. – P. 437-446.
2. Buildings and structures corrosion of metal structures and effectiveness of its prevention / E.M. Murtazayev, Sh.A. Latipov, A.J. Norchayev, S.J. Toshtemirov, K.N. Kholov // E3S Web of Conferences. – 2023. – T. 401. — C. 03013. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340103013>
3. Corrosion protection of steel elements in façade systems – A review / L. Soufeiani, G. Foliente, Kate.T.Q. Nguyen, R. San Nicolas // Journal of Building Engineering. – 2020. – Vol. 32. – P. 101759. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101759>
4. Force resistance of steel columns of industrial buildings with corrosion damage / N. Buzalo, I. Gontarenko, B. Chernikhovski // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Vol. 896. – No. 1. – P. 012044. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/896/1/012044>
5. Modelirovanie korrozionno-mekhanicheskogo povedeniya mnogoelementnyh metallicheskikh konstrukcij transportnyh sooruzhenij v real'nyh usloviyah ekspluatacii / V.K. Chernyh. – 2019. – Vol. 6. – № 3. – R. 1-12.
6. Numerical modeling of heat transfer through the interlayer, considering the surface radiation / N.P. Umnyakov // APCSCE IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2018. – P. 456.
7. Razvitie vysokotekhnologicheskogo montazha sbornyh metallokonstrukcij v vide kassetnyh sistem v severnyh regionah Kazahstana / D.E. Ahmetova // Molodoj uchenyj. – 2022. – Vol. 409. – № 14. – P. 31-34.
8. Razrabotka bazovoj metodiki opredeleniya poverhnostnogo korrozionnogo iznosa stal'nyh konstrukcij / E.N. Karpanina, O.D. Sof'yanikov // Nauka i biznes: puti razvitiya. – 2018. – Vol. 11. – № 89. – P. 108-112.
9. Methods to Evaluate Corrosion in Buried Steel Structures: A Review / L. A. Rodriguez, J.V. Balsera, F. O. Fernandez and F. Rodriguez-Perez // Metals. – 2018. – Vol. 5. – № 3. – P. 1-21.

10. Research on damage diagnosis for civil engineering structures / Hao Luo // *Insight - Civil Engineering*. – 2019. – Vol. 2, Issue 1. – P. 22-25.
  11. Analysis of crack treatment measures incivil engineering construction. / G. Chen // *Building Materials and Decoration*. – 2019. – Vol. 36. – P.38-39.
  12. A Recent Progress of Steel Bar Corrosion Diagnostic Techniques in RC Structures / D. Luo, Y. Li, J. Li, Kok-Sing Lim, N. Nazal and H. Ahmad // *Sensors*. – 2019. – Vol 19(1). – P. 1–30.
  13. Features of plastics in modern construction use / M.H. Al-Sherrawi, I.M. Edaan, A. Al-Rumaithi, S. Sotnik and V. Lyashenko // *International Journal of Civil Engineering and Technology*. – 2018. – Vol. 9(4). – P. 975-984.
  14. Determining the Coefficient of the Significance of Construction Design in Assessing the Technical Condition of Buildings / N.A. Buzalo, A.V. Kanunnikov // *Construction and reconstruction*. – 2018. – Vol. 3(77). – P. 3-11.
  15. Tekhnicheskoe zaklyuchenie. Issledovanie prichin avariynogo obrusheniya konstrukcij pokrytiya po rezul'tatam detal'no-instrumental'nogo obsledovaniya i poverochnyh raschetov avariynogo uchastka korpusa sgushcheniya Fil'troval'no-sushil'nogo otdeleniya Zhezkazganskoj obogatitel'noj fabriki № 1,2 obogatitel'no-proizvodstvennogo kompleksa. TOO «Korporaciya Kazahmys» (1-etap). Karaganda, 2019.
- 
-