

УДК 692.48

А. В. Голиков, В. А. Терновой, П. В. Якимив

Волгоградский государственный технический университет

ХАРАКТЕР РАЗВИТИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ В НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЯХ ЭКСПЛУАТИРУЕМОГО ПОКРЫТИЯ С БАЛОЧНЫМИ ФЕРМАМИ ПЕРЕКРЕСТНОЙ СИСТЕМЫ

Проведен анализ напряженно-деформированного состояния исследуемого блока покрытия, характера и причин образования повреждений и дефектов, а также их влияния на несущую способность конструкций покрытия, определены резервы несущей способности. Даны рекомендации по защите сталежелезобетонных конструкций от контактных коррозионных повреждений. Предложены рекомендации по проектированию конструкций с равномерным распределением запасов несущей способности.

Ключевые слова: обследование, техническое состояние, несущие конструкции, сталежелезобетонные конструкции, покрытие, дефекты, повреждения, напряженно-деформированное состояние, несущая способность.

Введение

На реальную работу конструкций влияет множество факторов — любые отклонения от проектных решений, значительное превышение фактических нагрузок и воздействий предусмотренных проектных значений, условия эксплуатации, наличие и своевременность выполнения ремонтно-восстановительных работ. Знание о реальной работе конструкций предоставляет возможность более точного определения остаточного ресурса здания, а также позволяет предотвратить аварии с большими социальными и экономическими последствиями.

Цель исследования — оценка действительной работы стальных конструкций покрытия нетиповой сложной формы с учетом реализовавшегося характера нагружений, условий эксплуатации и степени развития повреждений и дефектов.

Достижение цели реализуется путем решения следующих **задач**:

- систематизировать данные результатов обследования и определить действительную конструктивную схему покрытия;
- определить причины и степень развития повреждений и дефектов;
- создать пространственную расчетную схему исследуемого объекта с учетом реализовавшихся повреждений и дефектов;
- оценить характер распределения напряженно-деформированного состояния (НДС) элементов исследуемого блока покрытия, определить распределение резервов несущей способности для реализовавшейся геометрии при восприятии действующих нагрузок.

Объект исследования: несущие строительные конструкции покрытия нетиповой сложной конструктивной формы с кольцевым участком для размещения встраиваемого здания ствольной конструктивной системы.

Предмет исследования и **научная новизна** состоят в установлении явления распределения коррозионного повреждения стальных поясов в составе

сталежелезобетонного элемента покрытия и в определении характера распределения напряженного состояния стержней ферм покрытия перекрестной системы с кольцевым вырезом.

Характеристика конструктивных решений

По конструктивной схеме исследуемый участок представляет собой пространственный блок покрытия габаритными размерами 60,0×36,0 м. Блок состоит из балочных ферм перекрестной системы. Схема расположения ферм блока покрытия и разрезы здания представлены на рис. 1—3.

Главные фермы предусмотрены вдоль осей В и Е. Пролет ферм составляет 21,25 м.

Опирающие главные фермы с одной стороны выполнено на центральный ствол кольцевого сечения внутренним диаметром $\varnothing = 20800$ мм, с другой стороны фермы марки Ф7-1 опираются на лестничный блок по оси 28, а фермы марки Ф7-2 на колонны каркаса здания в пересечении осей 37/В и 37/Е.

Кольцевой ствол представляет собой массивную железобетонную оболочку, несущую по большей части декоративную функцию.

Второстепенные фермы вдоль цифровых осей предусмотрены однопролетными с двумя консолями и установлены по цифровым осям. Пролет ферм $L = 18,0$ м, вылет консолей $l_k = 9,0$ м. Наиболее нагруженными являются второстепенные фермы, установленные вдоль осей 31, 34. Фермы марок Ф9-1 выполнены пролетом 18,0 м и являются опорными для однопролетных балочных ферм, установленных вдоль осей 32 и 33.

Тип решетки ферм — треугольная с дополнительными распорками. Высота ферм по обушкам составляет 3300 мм. Сечения элементов ферм — пояса и раскосы, выполнены из двух равнополочных уголков, расположенных тавром, для стоек применены сечения из уголков, расположенных крестом.

Здание имеет сборный железобетонный каркас и достаточно протяженную форму, по длине здание разделено на 4 блока. В зоне деформационного шва стальные фермы марки Ф1-3 смещены от оси 27 на 250 мм и от оси 37 — на 500 мм. Второстепенные фермы по осям 31 и 34 смещены от оси на 250 мм для возможности размещения железобетонного ствола встроенного здания.

Фермы объединены в совместную работу системой вертикальных и горизонтальных связей сечением из уголков, расположенных крестом.

Кровля выполнена рулонной по сборным железобетонным плитам:

- ребристым марки ПНС-19 по серии ПК-01-111 — в осях 27—30, 32—33, 35—36;
- плоским марки ПТП26-12А по серии ИИ-03-02 — на остальных прямоугольных участках;
- имеются монолитные вставки между плитами, а также на круговых участках у ствола.

При анализе проектной документации выявлено, что в первоначальном варианте проекта предусматривался единый диск покрытия из плоских плит. В дальнейшем была произведена частичная замена плоских плит на ребристые, и выполнено устройство дополнительной усиливающей монолитной плиты по верху сборных плит.

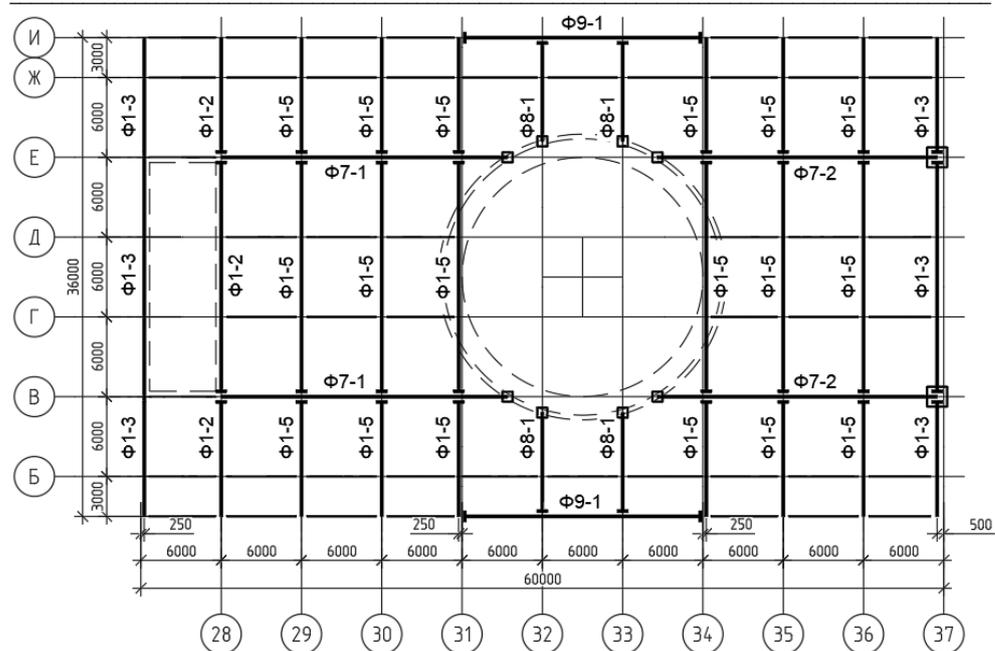


Рис. 1. Схема расположения ферм покрытия

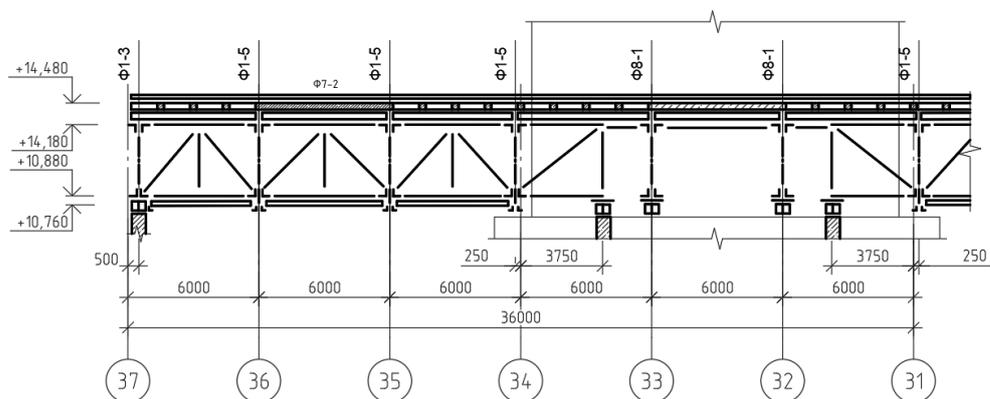


Рис. 2. Продольный разрез по блоку здания

Железобетонный диск покрытия за счет наличия упоров включается в совместную работу с несущими фермами покрытия, компенсируя при этом нехватку несущей способности металлических уголков, и исключает возможность потери устойчивости верхних сжатых поясов главных ферм в направлении из плоскости фермы.

Опираие ребристых плит выполнено на фермы марок Ф1-5.

Опираие сплошнотелых плоских плит выполнено на стальные балки (прогоны), установленные с шагом 3,0 м. Прогоны выполнены сечением из двух двутавров № 27 и двух двутавров № 30М, объединенных попарно.

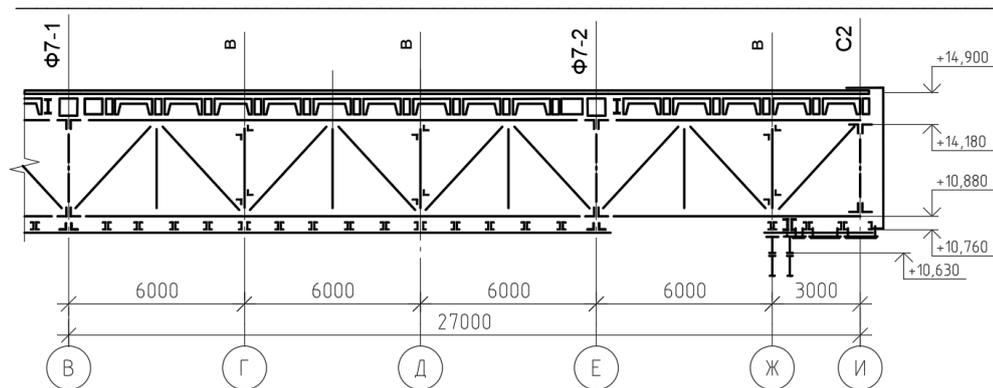


Рис. 3. Поперечный разрез по блоку здания

По периметру покрытия установлены массивные железобетонные фризовые панели весом 1,5 т каждая.

Характеристика реализованных повреждений и дефектов

Характеризующим фактором оценки безопасной эксплуатации здания является классификация и систематизация причин, приводящих к повреждениям. Данными вопросами занимались Г. А. Аратюнян [1], К. К. Нежданов, А. Н. Жуков [2], А. З. Белик [3], Г. И. Белый [4], В. В. Губанов [5], Б. И. Беляев [6], В. С. Бабалич [7]. В статье [8] говорится, что основной причиной развития повреждений является длительная эксплуатация сооружения без надлежащего обслуживания.

Анализируя дефекты и повреждения, реализованные в процессе эксплуатации объекта, можно выделить следующие причины их образования:

- несоответствие действительной геометрии проектным решениям;
- изменения путей передачи нагрузки и характера нагружения несущих конструкций;
- ошибки, допущенные при проектировании и монтаже;
- изменение конструктивных и объемно-планировочных решений в процессе эксплуатации объекта;
- отсутствие плановых ремонтно-восстановительных работ.

В ходе обследования объекта выявлены наиболее значимые повреждения и отступления от проекта, влияющие на НДС несущих конструкций покрытия:

- применение сечений, отличных от проекта: применены сечения с меньшей площадью, элементы из стали с меньшим расчетным сопротивлением — вместо элементов из стали С345 применены элементы из стали с расчетным сопротивлением $R_y = 190$ МПа;
- в проекте не предусмотрено устройство горизонтальных связей в уровне нижних сжатых поясов второстепенных ферм в консольных участках, при этом присутствует расцентровка элементов горизонтальных связей рядом с кольцевым участком в уровне верхних поясов ферм;
- по сборным плитам покрытия выполнена усиливающая плита неравномерной толщины — в пролетной части 40 мм, в консольной — 90 мм, предполагаемая причина — прогибы консольных участков при устройстве диска покрытия;
- вес многослойной конструкции кровли достигает $1,1 \text{ т/м}^2$ (табл., рис. 4);

- низкое качество бетонных работ в уровне верхних поясов ферм, оголение рабочей арматуры, толщина защитного слоя бетона не соответствует требованиям нормативных документов;
- обширные площади замачивания, причинами которых являются отсутствие плановых ремонтных работ по восстановлению кровельного ковра, а также протечки ливневой канализации.

Нагрузка от многослойной конструкции кровли

| Состав слоя | Нагрузка | |
|-------------------------------|--------------------------------|------------------------------|
| | Нормативная, кН/м ² | Расчетная, кН/м ² |
| Кровельный ковер (стеклоизол) | 0,104 | 0,115 |
| Керамическая плитка | 0,337 | 0,371 |
| Цементно-песчаная стяжка | 1,379 | 1,517 |
| Гидроизоляция (битумная) | 0,094 | 0,104 |
| Разуклонка из керамзитобетона | 1,525 | 1,678 |
| Цементно-песчаная стяжка | 1,79 | 1,969 |
| Гидроизоляция (битумная) | 0,094 | 0,104 |
| Утеплитель (пенополистирол) | 0,032 | 0,035 |
| Гидроизоляция (битумная) | 0,094 | 0,104 |
| Плита усиления | 2,375 | 2,85 |
| Итого на плиту покрытия | 7,825 | 8,845 |

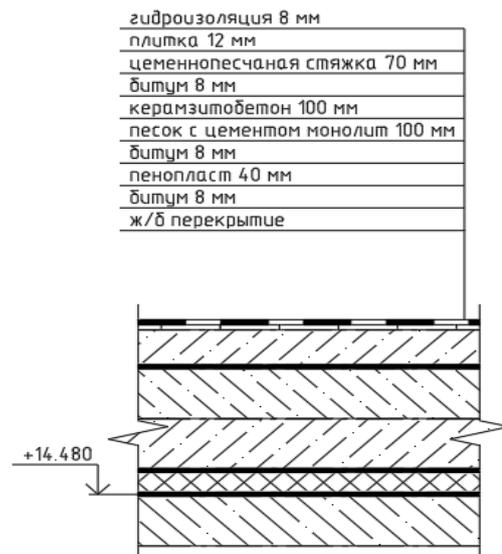


Рис. 4. Состав покрытия

Наиболее часто встречающиеся дефекты и повреждения реализовавшиеся в процессе эксплуатации в несущих фермах:

- искривления раскосов стрелкой до $f = 3$ мм;
- погнутости элементов ферм до $f = 20$ мм, развившиеся в результате потери устойчивости от реализации неблагоприятных сочетаний нагрузок;
- применение сечений, ослабленных отверстиями, и сечений, выполненных из уголков различных номеров;

- коррозионных износ элементов и отсутствие лакокрасочного покрытия;
- коррозионные повреждения поясов в зоне контакта с железобетонными плитами в результате систематического замачивания (рис. 5);
- отсутствие шпренгелей, раскрепляющих раскосы консольных ферм по осям 32, 33 и предусмотренных проектом по усилению.

Выявленные повреждения стальных конструкций в зоне контакта с железобетонными конструкциями согласуются с результатами работы Н. С. Бузало и Б. А. Черныховского [9].



Рис. 5. Коррозионные повреждения поясов в зоне контакта с железобетонными плитами в результате систематического замачивания

Повреждения конструкций горизонтальных и вертикальных связей:

- повреждение элемента с уменьшением поперечного сечения при устройстве ливневой канализации;
- коррозионный износ горизонтальных связей во фризном пространстве до 20 % толщины уголка.

Повреждения конструкций железобетонного диска покрытия:

- замачивание и выщелачивание поверхности бетона площадью до 10 м²;
- замачивание плит у отверстий ливневой канализации;
- коррозионный износ арматуры;
- замачивание стыков плит длиной до 6 м;
- коррозионный износ верхних полок прогонов покрытия.

Характеристика НДС несущих элементов покрытия

В ходе работы определены фактические нагрузки, действующие на конструкции покрытия. Существенное влияние на увеличение усилий в элементах покрытия оказывает нагрузка от веса кровельного ковра и равномерно распределенной (полезной) нагрузки от персонала на эксплуатируемой кровле. Наличие технологического оборудования и тяжелых бетонных горшков под цветы дополнительно загружают консольные участки покрытия.

Фермы покрытия работают не по классической схеме, нижние пояса пролетной части второстепенных ферм марки Ф5-1 испытывают сжатие. Негативное влияние на работу поясов оказывает отсутствие горизонтальных связей в уровне нижнего пояса ферм. Фермы марки Ф8-1 работают не как

консольные, а как опертые с двух сторон: с одной стороны на железобетонное кольцо, а с другой — на ферму марки Ф9-1, при этом дополнительно поддерживаясь элементами горизонтальных связей в уровне верхнего пояса. Усилия, возникающие в нижних поясах как главных, так и второстепенных ферм, частично распределяются на элементы подвесного потолка.

Для оценки резервов несущей способности сооружения выполнен поверочный расчет. Вопросами оценки технической состояния и определения резервов несущей способности занимались Е. В. Горохов [10], Э. Н. Кодыш, Н. Н. Трекин [11, 12]. Обзору новых тенденций и перспектив зданий с эксплуатируемыми крышами посвящена работа S. V. S. Jara [13]. В зарубежной практике вопросам исследования работы под нагрузкой конструкции стальных покрытий, в том числе с учетом реализовавшихся повреждений, посвящены исследования А. М. Johnson [14], L. Xiong [15], A. Formisano [16], S. H. Nguyen [17], M. A. Dar [18]. Опыт оценки технического состояния, накопленный указанными учеными и их коллективами, учтен при оценке технического состояния исследуемого покрытия.

Определены резервы несущей способности элементов несущих ферм с учетом имеющихся дефектов и повреждений при текущем режиме эксплуатации. Расчет стальных элементов решетки ферм производился как центрально-сжатых (растянутых), а отдельных элементов — как внецентренно-сжатых (растянутых) согласно СП 16.13330.2017¹, верхние пояса ферм рассчитывались как сталебетонные элементы (рис. 6) согласно требованиям СП 266.1325800.2016².

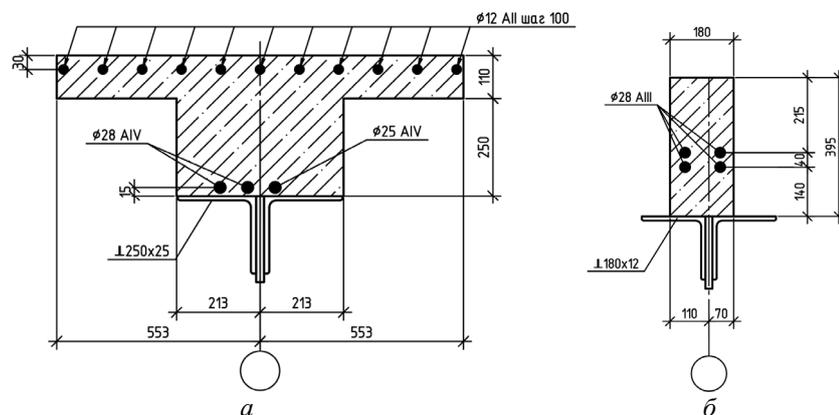


Рис. 6. Расчетное сечение верхнего пояса фермы: *a* — верхний пояс главной фермы; *б* — верхний пояс второстепенной фермы

Разброс запасов несущей способности элементов главной фермы представлен на рис. 7, 8. Основной причиной перенапряжений отдельных элементов ферм является применение элементов с меньшим расчетным сопротивлением, а также применение сечений с меньшей площадью и моментами инерции.

¹ СП 16.13330.2017. Стальные конструкции. URL: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/14474>.

² СП 266.1325800.2016. Конструкции сталежелезобетонные. Правила проектирования. URL: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/13674>.

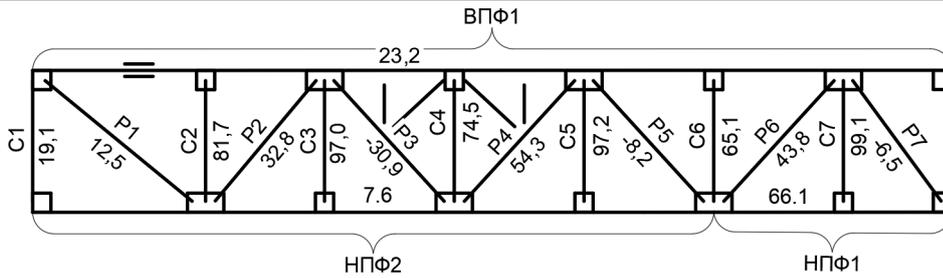


Рис. 7. Схема распределения запасов несущей способности: значения представлены в %, «+» характеризует запас несущей способности, «-» — перенапряжение

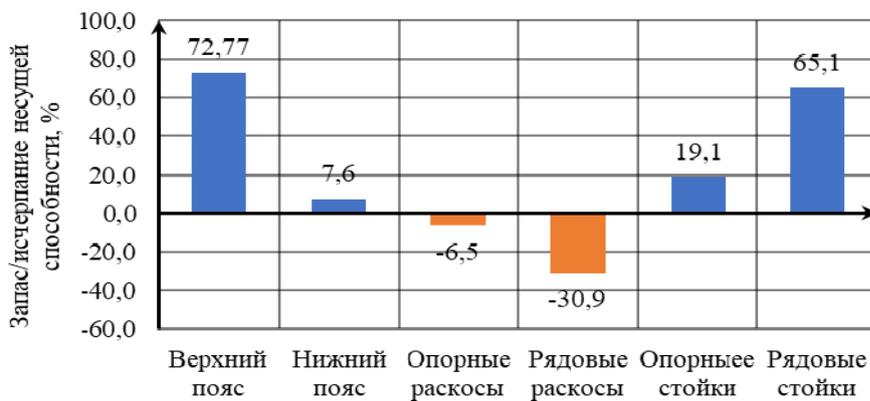


Рис. 8. Диаграмма запаса несущей способности элементов главной фермы: значения представлены в %, «+» характеризует запас несущей способности, «-» — перенапряжение

Диаграмма и схема разброса запасов несущей способности элементов наиболее нагруженной рядовой фермы приведены на рис. 9, 10.

Диаграммы разбросов запасов несущей способности элементов соседних ферм марки Ф5-1 приведены на рис. 11, 12.

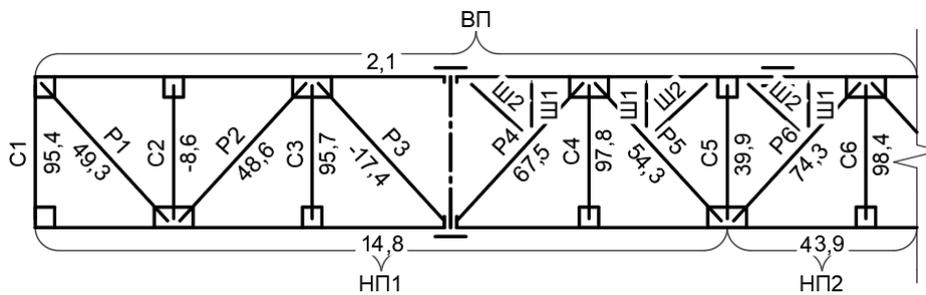


Рис. 9. Схема запасов несущей способности фермы Ф5-1 по оси 3: значения представлены в %, «+» характеризует запас несущей способности, «-» — перенапряжение

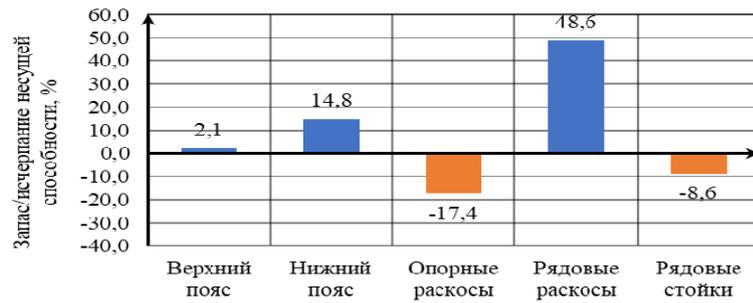


Рис. 10. Диаграмма запаса несущей способности элементов второстепенной фермы Ф5-1 по оси 34: значения представлены в %, «+» характеризует запас несущей способности, «-» — перенапряжение

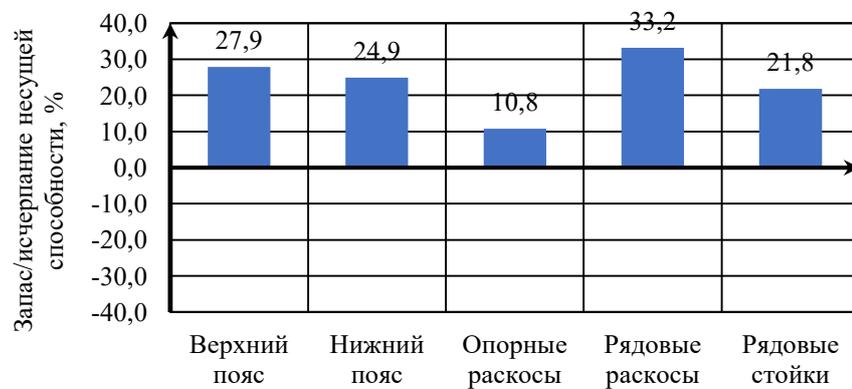


Рис. 11. Диаграмма запаса несущей способности элементов второстепенной фермы Ф5-1 по оси 35: значения представлены в %, «+» характеризует запас несущей способности, «-» — перенапряжение

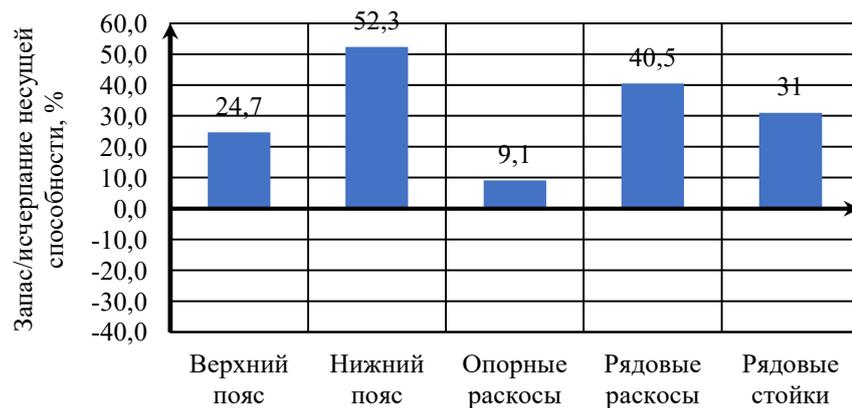


Рис. 12. Диаграмма запаса несущей способности элементов второстепенной фермы Ф5-1 по оси 36: значения представлены в %, «+» характеризует запас несущей способности, «-» — перенапряжение

В результате систематических замачиваний элементы второстепенных ферм — верхний пояс и раскос, значительно поражены коррозией. Схемы неравномерного повреждения уголков фермы приведены на рис. 13. Скорость коррозионного износа уголков верхних поясов ферм, находящихся во фризном пространстве, за срок эксплуатации, составляющий на момент обследования 33 года, составила 58 мкм/год. При этом значительного снижения несущей способности не наблюдается, т. к. поврежденный верхний пояс крайней панели и поврежденный раскос испытывают малые усилия.

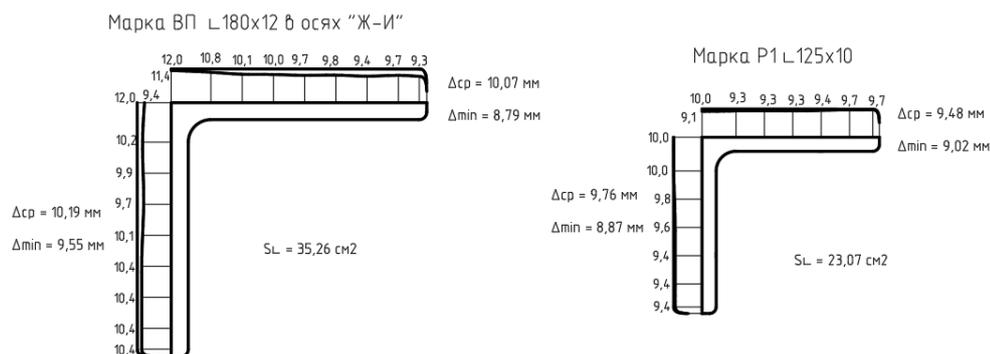


Рис. 13. Диаграмма запаса несущей способности элементов второстепенной фермы Ф5-1 по оси 36: значения представлены в %, «+» характеризует запас несущей способности, «-» — перенапряжение

Отдельного внимания заслуживает вопрос контроля текущего уровня напряженного состояния для сложных многократно статически неопределимых систем. Существующие методы позволяют лишь косвенно оценить уровень напряжений. Исследованиям в данном направлении посвящены работы М. И. Elmasry [19], А. Б. Максимова [20], Е. А. Хорошавина [21].

Выводы и рекомендации

1. Систематизированы повреждения и дефекты, влияющие на НДС конструкции покрытия. Основными причинами реализовавшихся повреждений являются халатность при проектировании и монтаже, несвоевременные ремонтно-восстановительные работы или их отсутствие, превышение проектных нагрузок, нарушение правил эксплуатации.

2. Проведен анализ примененных конструктивных решений. Наиболее неблагоприятное действие на работу конструкций оказывает решение, принятое при проектировании, — отсутствии горизонтальных связей в уровне нижних сжатых поясов в консольных участках покрытия.

Расчетным путем подтверждена потеря устойчивости отдельных поясов и элементов решетки. Выявлены превышения расчетного сопротивления стали напряжений в элементах ферм: главных ферм — до 30,9 %, второстепенных — до 17,4 %. Участки верхних поясов второстепенных ферм фризного пространства со значительными коррозионными повреждениями имеют запас прочности не ниже 38 %. Для дальнейшей безопасной эксплуатации необходимо устранить замачивание несущих конструкций, восстановить защитное лакокрасочное покрытие, произвести усиление отдельных элементов.

3. Дальнейшее загрузение конструкции покрытия (технологическим оборудованием или эксплуатируемыми помещениями) приведет к большему перенапряжению в максимально нагруженных стержнях и к потере прочности и устойчивости отдельных элементов, напряжения в которых при устоявшемся режиме эксплуатации уже близки к расчетному сопротивлению стали.

4. На основе анализа НДС несущих конструкций покрытия можно сделать вывод о необоснованной принятой типизации сечений несущих конструкций.

Все второстепенные фермы марки Ф1-5 выполнены из элементов одинакового сечения, при этом ферма, находящаяся ближе к кольцу, более нагружена. Об указанной особенности нагружения можно сделать вывод по следующим причинам: наличие встроенных помещений, опирающихся на ферму; на ферму приходится участок покрытия с наиболее тяжелой кровлей. Ошибки при расстановке связей привели к изменению пути передачи нагрузки на ферму, из-за чего появились дополнительные усилия в стержнях фермы.

Работающая в составе покрытия ферма марки Ф3-1, находящаяся у деформационного шва, имеет такие же сечения элементов, как и ферма марки Ф1-5, при этом ее запас несущей способности более 60 %, что нерационально.

При разработке проектов необходимо придерживаться требований нормативных документов по назначению сечений несущим элементам без чрезмерных запасов несущей способности в целях более рационального использования материала, уменьшения веса конструкций и стоимости их изготовления. При этом важным остается выполнение требований по рациональной унификации отдельных элементов и конструкций в целом.

5. При анализе нормативной и методической документации выявлено отсутствие рекомендаций по коррозионной защите мест контакта стали с железобетоном. Данный вопрос в полной мере не раскрыт современными авторами, работающими в направлении защиты от коррозии. В СП 266.1325800.2016 и СП 35.13330.2010³ указывается, что «при сборной железобетонной плите между стальным верхним поясом и железобетонной плитой должен быть предусмотрен слой бетона или раствора, предохраняющий верхний пояс от коррозии. При толщине слоя раствора более 5 см его необходимо армировать». Иные рекомендации о предотвращении коррозии отсутствуют. По причине отсутствия четких указаний для исключения контактной коррозии стали предлагается ввести в практику обетонирование мест контакта раствором марки по водонепроницаемости не ниже железобетонной части и не ниже W4, либо вводить специальные добавки в контактный слой бетона [22].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Арутюнян Г. А. Защищенность блоков покрытий промышленных зданий с поврежденными несущими конструкциями от прогрессирующего обрушения // Вестник МГСУ. 2015. № 9. С. 16—27.

2. Нежданов К. К., Жуков А. Н. Анализ состояния и причин обрушений строительных конструкций в промышленных зданиях // Региональная архитектура и строительство. 2011. № 1. С. 80 — 84.

³ СП 266.1325800.2016. Конструкции сталежелезобетонные. Правила проектирования. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456044285>.

СП 35.13330.2010. Мосты и трубы. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200084849>.

3. *Белик А. З.* Надежность стальных конструкций зданий и сооружений в период эксплуатации // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия : Техника и технологии. 2012. № 2-2. С. 86—90.
4. *Белый Г. И.* Причины снижения надежности и приближенная оценка ресурса стальных конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 2. С. 264.
5. *Губанов В. В., Москаленко В. И.* Опыт ликвидации последствий аварии промышленного здания // Металлические конструкции. 2008. Т. 14. № 3. С. 181—188.
6. *Беляев Б. И., Корниенко С. В.* Причины аварий стальных конструкций и способы их устранения. М. : Стройиздат, 1968. 208 с.
7. Восстановление ресурса строительных конструкций цехов металлургических предприятий / В. С. Бабалич, К. А. Сухин, Ю. С. Вильгельм, В. Н. Власов, К. Н. Сухина // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия : Строительство и архитектура. 2022. Вып. 3(88). С. 7—16.
8. *Голиков А. В., Лейчу Ф. Ф.* Повреждаемость и действительная работа стальных конструкций покрытий балочного типа в составе конструкций каркасов зданий // Металлические конструкции. 2022. Т. 28. № 1. С. 33—49.
9. *Buzalo N., Gontarenko I., Chernikhovski B.* Force resistance of steel columns of industrial buildings with corrosion damage // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Pp. 012044. DOI: 10.1088/1757-899X/896/1/012044.
10. *Горохов Е. В., Югов А. М.* Оценка технического состояния и техническая диагностика металлических конструкций промышленных зданий и сооружений / Строитель Донбасса. 2019. № 2(7). С. 15—25.
11. *Кодыш Э. Н., Трекин Н. Н., Терехов И. А.* Одноэтажные производственные здания с эксплуатируемыми площадями в межферменном пространстве // Промышленное и гражданское строительство. 2018. № 6. С. 28—31.
12. Определение срока службы конструкций, зданий и сооружений / Н. Г. Келасьев, Э. Н. Кодыш, Н. Н. Трекин, И. А. Терехов, С. Д. Шмаков, А. Б. Чаганов // Промышленное и гражданское строительство. 2020. № 2. С. 12—17.
13. *Jaral S. V. S., Singh M.* Review on Emerging Trends and Future Perspectives of Green Roof Buildings // Recent Advances in Sustainable Technologies : Select Proceedings of ICAST 2020. Singapore : Springer, 2021. Pp. 165—181.
14. *Johnson A. M., Yu C., Smith B., Moen C.* Experimental study on system reliability of cold-formed steel roof trusses // Proceedings of the Annual Stability Conference Structural Stability Research Council. 2017. URL: <https://www.aisc.org/globalassets/continuing-education/ssrc-proceedings/2017/experimental-study-on-system-reliability-of-cold-formed-steel-roof-trusses.pdf>.
15. *Xiong L., Fan W.* Maintenance strategy for steel structures of large gantry crane based on fatigue reliability // Journal of Performance of Constructed Facilities. 2015. Vol. 29. No. 2. Pp. 04014046.
16. *Formisano A., Meglio E., Di Lorenzo G., Landolfo R.* Vulnerability Curves of Existing Italian Industrial Steel Buildings Designed Without Seismic Criteria // Lecture Notes in Civil Engineering. 2022. Vol. 262. Pp. 872—880.
17. *Sihung N., Phuong H. T. T., Le A. T., Vu V. D.* Solutions for reinforcing steel structures of industrial plants without using welded bonding // Proceedings of 2020 Applying New Technology in Green Buildings, ATiGB 2020. 2021. Pp. 31—38. DOI: 10.1109/ATiGB50996.2021.9423415.
18. *Dar M. A., Raju J., Subramanian N., Dar A. R.* Rehabilitation of a distressed steel roof truss — A study // Structural Engineering and Mechanics. 2017. Vol. 62. No. 5. P. 567—576.
19. *Elmasry M. I., Attia M. S., Shehadeh M. F.* Structural health monitoring of steel trusses using acoustic emission technique // International Conference on Noise and Vibration Engineering. 2012. Vol. 4. Pp. 3301—3315.
20. *Максимов А. Б., Ерохина И. С.* Неразрушающий метод определения ресурса углеродистых и низколегированных сталей // Материаловедение. 2021. № 9. С. 19—24.
21. *Khoroshavin E. A.* Dynamic tests and monitoring of the dynamic state of buildings and structures based on microseismic vibrations // Magazine of Civil Engineering. 2021. No. 4(104). DOI: 10.34910/MCE.104.10.
22. *Фомичев В. Т., Савченко А. В., Губаревич Г. П.* Применение добавок нитропроизводных бензимидазола для защиты стальных конструкций от коррозии // Вестник

Поступила в редакцию
в сентябре 2023 г.

Ссылка для цитирования:

Голиков А. В., Терновой В. А., Якимив П. В. Характер развития повреждений и распределения напряженно-деформированного состояния в несущих конструкциях эксплуатируемого покрытия с балочными фермами перекрестной системы // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Вып. 5(93). С. 18—30.

Об авторах:

Голиков Александр Владимирович — канд. техн. наук, доц. каф. строительных конструкций, оснований и надежности сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; alexandr_golikov@mail.ru

Терновой Владислав Андреевич — студент, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; v.ternovoy2014@yandex.ru

Якимив Павел Владимирович — студент, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; pyakimiv02@gmail.com

Aleksandr V. Golikov, Vladislav A. Ternovoy, Pavel V. Yakimiv

Volgograd State Technical University

THE NATURE OF DAMAGE DEVELOPMENT AND DISTRIBUTION OF THE STRESS-STRAIN STATE IN THE LOAD-BEARING STRUCTURES OF THE OPERATED COATING WITH BEAM TRUSSES OF THE CROSS SYSTEM

The analysis of the stress-strain state of the investigated coating block, the nature and causes of damage and defects, as well as their impact on the bearing capacity of the coating structures, determined the reserves of bearing capacity. Recommendations are given for the protection of steel-reinforced concrete structures from contact corrosion damage. Recommendations for the design of structures with a uniform distribution of load-bearing capacity reserves are proposed.

Key words: inspection, technical condition, load-bearing structures, steel-reinforced concrete structures, coating, defects, damage, stress-strain state, load-bearing capacity.

For citation:

Golikov A. V., Ternovoy V. A., Yakimiv P. V. [The nature of damage development and distribution of the stress-strain state in the load-bearing structures of the operated coating with beam trusses of the cross system]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2023, iss. 5, pp. 18—30.

About authors:

Aleksandr V. Golikov — Candidate of Engineering Sciences, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; alexandr_golikov@mail.ru

Vladislav A. Ternovoy — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; v.ternovoy2014@yandex.ru

Pavel V. Yakimiv — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; pyakimiv02@gmail.com