



(22)-0437-1

ПОВРЕЖДАЕМОСТЬ И ДЕЙСТВИТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПОКРЫТИЙ БАЛОЧНОГО ТИПА В СОСТАВЕ КОНСТРУКЦИЙ КАРКАСОВ ЗДАНИЙ

А. В. Голиков^{а,1}, Ф. Ф. Лейчу^{б,2}

^а *Институт архитектуры и строительства ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный
технический университет»,*

1, ул. Академическая, г. Волгоград, Россия, 400074.

^б *АО «ВНИКТИнефтехимоборудование»,*

98б, пр. им. В. И. Ленина, г. Волгоград, Россия, 400078.

E-mail: ¹ alexandr_golikov@mail.ru, ² fedor.leychu@mail.ru

Получена 02 марта 2022; принята 25 марта 2022.

Аннотация. Покрытия концертных залов, актовых залов, залов заседаний и подобных помещений гражданских зданий, как правило, выполнены пролетами более 15 м с применением стали как материала несущих конструкций. Эксплуатация конструкций покрытий осуществляется в большинстве случаев с ограниченным доступом для осмотра и контроля технического состояния, а в отдельных объектах, несущие конструкции покрытия не доступны для обслуживания и контроля. Учитывая цикличность развития современного общества, характеризующуюся периодами резких спадов и плавных подъемов, и опираясь на установленный в процессе контроля технического состояния ряда зданий и сооружений опыт, отмечаем, что в жизненном цикле большинства сооружений есть периоды нарушений нормальной эксплуатации и отсутствия планово-предупредительных ремонтов. В указанные периоды происходит разрушение защитных покрытий поверхности конструкций, нарушение герметичности кровельного покрытия с последующим систематическим замачиванием несущих конструкций и ускоренным процессом деградации свойств материалов во времени, особенно на границе контакта стали с бетоном и кирпичной кладкой. На исходе подобных периодов, при возобновлении нормальной эксплуатации конструкций, действительные модели геометрии отдельных конструкций, свойств материалов несущих конструкций, а также характер действия нагрузок имеют отличия от моделей, заложенных в проекте. В материалах данной работы на примере покрытий трех зданий представлена характеристика развития повреждений и отдельные наиболее характерные параметры действительной работы стальных конструкций покрытий балочного типа в составе конструкций каркасов зданий.

Ключевые слова: несущие стальные строительные конструкции, конструкции покрытия, дефекты, повреждения, работа под нагрузкой, напряженно-деформированное состояние, каркас, нагрузки и воздействия, несущая способность, эксплуатация, ремонтно-восстановительные мероприятия, усиление.

УШКОДЖЕННЯ ТА ДІЙСНА РОБОТА СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ ПОКРИТТІВ БАЛКОВОГО ТИПУ У СКЛАДІ КОНСТРУКЦІЙ КАРКАСІВ БУДІВЕЛЬ

А. В. Голіков^{а,1}, Ф. Ф. Лейчу^{б,2}

^а *Інститут архітектури та будівництва ФДБОУ ВО «Волгоградський державний
технічний університет»,*

1, вул. Академічна, м. Волгоград, Росія, 400074.

^b АТ «ВНИКТИнафтохімобладнання»,
98б, пр. ім. В. І. Леніна, м. Волгоград, Росія, 400078.
E-mail: ¹ alexandr_golikov@mail.ru, ² fedor.leychu@mail.ru
Отримана 02 березня 2022; прийнята 25 березня 2022.

Анотація. Покриття концертних залів, актових залів, залів засідань та подібних приміщень цивільних будівель, як правило, виконані прольотами понад 15 м із застосуванням сталі як матеріалу несучих конструкцій. Експлуатація конструкцій покриттів здійснюється в більшості випадків з обмеженим доступом для огляду та контролю технічного стану, а в окремих об'єктах несучі конструкції покриття не доступні для обслуговування та контролю. Враховуючи циклічність розвитку сучасного суспільства, що характеризується періодами різких спадів та плавних підйомів, та спираючись на встановлений у процесі контролю технічного стану низки будівель та споруд досвід, зазначаємо, що у життєвому циклі більшості споруд є періоди порушень нормальної експлуатації та відсутності планово-попереджувальних ремонтів. У зазначені періоди відбувається руйнування захисних покриттів поверхні конструкцій, порушення герметичності покрівельного покриття з наступним систематичним замочуванням несучих конструкцій та прискореним процесом деградації властивостей матеріалів у часі, особливо на межі контакту сталі з бетоном та цегляною кладкою. Наприкінці подібних періодів, при поновленні нормальної експлуатації конструкцій, дійсні моделі геометрії окремих конструкцій, властивостей матеріалів несучих конструкцій, а також характер дії навантажень мають відмінність від моделей, закладених у проєкті. У матеріалах даної роботи на прикладі покриттів трьох будівель представлена характеристика розвитку пошкоджень та окремі найбільш характерні параметри дійсної роботи сталевих конструкцій покриттів балкового типу у складі конструкцій каркасів будівель.

Ключові слова: несучі сталеві будівельні конструкції, конструкції покриття, дефекти, пошкодження, робота під навантаженням, напружено-деформований стан, каркас, навантаження та дії, несуча здатність, експлуатація, ремонтно-відновлювальні заходи, посилення.

DAMAGEABILITY AND ACTUAL OPERATION OF STEEL STRUCTURES OF BEAM-TYPE COATINGS AS PART OF BUILDING FRAME STRUCTURES

Alexander Golikov ^{a,1}, Fedor Leychu ^{b,2}

^a Institute of Architecture and Construction, Volgograd State Technical University,
1, st. Akademicheskaya, 400074, Volgograd, Russia.

^b JSC «VNIKTIneftehimoborudovanie»,
98b, avenue V. I. Lenina, Volgograd, Russia, 400078.
E-mail: ¹ alexandr_golikov@mail.ru, ² fedor.leychu@mail.ru

Received 02 March 2022; accepted 25 March 2022.

Abstract. Coverings of concert halls, assembly halls, meeting rooms and similar premises of civil buildings, as a rule, are made with spans of more than 15 m using steel as a material for supporting structures. The operation of coating structures is carried out in most cases with limited access for inspection and control of the technical condition, and in some objects, the bearing structures of the coating are not available for maintenance and control. Taking into account the cyclical nature of the development of modern society, characterized by periods of sharp declines and smooth rises, and relying on the experience established in the process of monitoring the technical condition of a number of buildings and structures, we note that in the life cycle of most structures there are periods of violations of normal operation and the absence of scheduled preventive repairs. During these periods, the destruction of the protective coatings of the surface of the structures, the violation of the tightness of the roofing, followed by the systematic soaking of the load-bearing structures and the accelerated process of degradation of the properties of materials over time, especially at the contact boundary of steel with concrete and brickwork. At the end of such periods, when the normal operation of structures is resumed, the actual models of the geometry of individual structures, the properties of materials of load-bearing structures, as well as the nature of the action of loads, differ from the models incorporated in the project. In the materials of this work, on the example of coatings of three buildings, a characteristic of the development of damages and some of the most characteristic parameters of

the actual operation of steel structures of beam-type coatings as part of building frame structures are presented.

Keywords: load-bearing steel building structures, coating structures, defects, damage, work under load, stress-strain state, frame, loads and effects, bearing capacity, operation, repair and restoration measures, reinforcement.

Актуальность

В процессе проектирования, на стадиях разработки проектной и рабочей документации, а также при корректировке решений в процессе строительства, одной из ключевых задач является обеспечение соответствия расчетных моделей применяемым конструктивным решениям [1]. Отдельные расчетные отступления от примененных конструктивных решений или некорректная реализация расчетных моделей в части идеализации расчетной схемы могут привести к существенным изменениям в работе конструкций под нагрузкой и, как следствие, к развитию ограниченно работоспособного или аварийного состояния в строительных конструкциях в процессе эксплуатации [2].

Введение

Инженерная деятельность предполагает работу с моделями строительных конструкций [3], зданий и сооружений, моделями узловых соединений, с моделями нагрузок [4], моделями материалов, моделями условий эксплуатации. Условно модели можно отнести к двум типам: модели, разрабатываемые на стадии проекта нового здания, и модели эксплуатируемых объектов строительства.

Моделирование – это процесс описания и формализации видимых и скрытых параметров конструкций средствами, доступными на текущий момент развития науки и техники.

Конечная цель разработки моделей объектов, процессов, состояний и явлений состоит в установлении и прогнозировании сроков безопасной эксплуатации.

Цель работы

Оценка действительной работы стальных конструкций покрытий с учетом конструктивных

особенностей, реализовавшегося характера нагружения, условий эксплуатации и степени развития повреждений на линейке примеров стальных конструкций покрытий зданий.

Достижение цели работы реализовано путем решения следующих **задач**:

- систематизация данных результатов обследования и оценки действительных контрольных параметров конструкций;
- составление конструктивной и расчетной схем объектов исследования; формализация действительного характера нагружения и путей передачи нагрузок и перераспределения усилий в конструкциях;
- расчетная оценка соответствия напряженно-деформированного состояния критериям предельных состояний, установление резервов несущей способности и жесткости конструкций для реализовавшейся геометрии и при восприятии действующих нагрузок;
- оценка категории технического состояния и полноты соответствия состояния несущих строительных конструкций требованиям нормативных документов по обеспечению конструктивной безопасности;
- определение причин и степени развития повреждений конструкций, разработка рекомендаций по приведению конструкций в работоспособное состояние и обеспечения дальнейшей безопасной эксплуатации.

Объект исследования

Несущие стальные конструкции покрытий балочного типа.

Предмет исследования

Явление распределения напряжений и деформаций в несущих строительных конструкциях,

а также характер развития повреждений в несущих конструкциях.

Повреждаемость и действительная работа стальных конструкций покрытий балочного типа в составе конструкций каркасов зданий приведены для следующих покрытий: покрытие здания с радиально-кольцевой системой консольного типа; покрытие здания, выполненное в виде системы балочных ферм нормального типа с двумя консольными участками; покрытие, выполненное главными балками переменного сечения, встроенными и обустроенными по периметру помещениями.

Основная часть

Полнота модели, разрабатываемой на стадии проекта нового объекта строительства, определяется требованиями нормативных документов [1, 3, 5], законов [6], актов, постановлений в области строительства [7] или составляющих отраслей хозяйства страны. Процесс строительства – реализация проектной модели в физический объект. При реализации проектных решений на практике, в процессе строительства, объект приобретает свойственные исключительно ему отдельные особенности, выраженные в уровне соответствия или отклонения от проектных решений. Реализуемые в процессе строительства отклонения не должны превышать границ допускаемых значений, определяемых нормативными документами [5, 8, 9] и зафиксированными в проектной документации.

Одной из ключевых задач при разработке проекта нового сооружения является реализация расчетных предпосылок в конструктивной форме, способной обеспечить принятые на стадии расчета модели работы под нагрузкой отдельных конструктивных элементов и здания в целом, модели реализации нагрузок и предусмотренных путей передачи усилий на основании. На стадии проектирования количество типов расчетных и конструктивных моделей, моделей нагрузок и работы материалов ограничено и определяется проектировщиком.

Проектные сроки безопасной эксплуатации зданий и сооружений отражены в нормативных документах в зависимости от назначения и уровня ответственности [1, 6].

Нормативными документами предусмотрена корректировка проектной модели в процессе

строительства путем выполнения контроля и надзора за процессом строительства по данным исполнительной документации [6, 9]. Фактически, в подавляющем большинстве случаев, по причине сжатых сроков строительства разработка исполнительной документации носит формальный характер и отражает проектные, а не фактические данные.

Полнота модели, создаваемой для эксплуатируемого объекта, определяется объемом полученных при проведении работ по обследованию здания исходных данных, в частности при проведении визуально-измерительного и инструментального контроля [2].

При разработке достоверной расчетной модели по результатам проведенных натурных работ должна быть разработана в максимальной полноте конструктивная модель здания, в которой описаны действительная геометрия сооружения и его отдельных конструктивных элементов, действительный характер сопряжения и примыкания элементов между собой и к опорным конструкциям; фактические пути передачи усилий на основании, фактические характеристики прочности материалов конструкций, действительные модели износа для устоявшихся моделей эксплуатации и нагружения.

Модель эксплуатируемого объекта претерпевает изменения в процессе эксплуатации и корректируется по результатам обработки данных плановых или внеочередных работ при оценке технического состояния [10, 11, 12].

Наибольшее количество типов конструктивных исполнений сопряжений и опираний строительных конструкций, моделей передачи нагрузок на конструкции и механизмов распределения усилий с последующей передачей усилий на основание реализуется в процессе эксплуатации. По данным многочисленных работ [11, 15, 16, 17, 18, 19] установлено, что реализовавшиеся в процессе эксплуатации модели имеют отличия от моделей, заложенных в проекте. В процессе работы модель объекта подлежит дополнению при осуществлении мероприятий в соответствии с указаниями нормативных документов в части эксплуатации [14]. Ограниченность моделей деградации свойств материалов несущих конструкций эксплуатируемых покрытий гражданских зданий определяется ограниченностью доступа для сбора натурных данных. Указанное обстоятельство в ряде случаев является

причиной отсутствия указаний по защите строительных металлических конструкций от коррозии и воздействия огня на отдельных участках при проведении планово-предупредительных ремонтно-восстановительных работ, что противоречит требованиям соответствующих нормативных документов [14, 15]. Разрабатываемые модели деградации свойств материалов в данном случае представлены одним из двух крайних случаев реализации: либо не учитывается с отсылкой на указания п. 5.1.7 ГОСТ 31937 [2], указывая на ответственность за последствия ограниченного доступа эксплуатируемой организации, либо разрабатываемые модели предусматривают сценарий модели реализации предельных состояний, опираясь на ограниченный объем выборки данных, что приводит к существенному занижению безопасного остаточного ресурса.

Действительная модель является результатом систематизации, обобщения, обработки и правильной интерпретации полученных результатов обследования [13].

Остаточный безопасный ресурс эксплуатации зданий и сооружений, как правило, выражается в сроке эксплуатации до момента наступления предельного состояния в двух случаях: при эксплуатации для устоявшегося режима износа и при эксплуатации в случае реализации ремонтно-восстановительных мероприятий.

Вопросы оценки параметров эксплуатационной пригодности сооружений и их конструктивных частей неизменно являются актуальными. Исследованию вопросов оценки технического состояния и выявлению резервов несущей способности посвящены научные работы школы стального строительства под руководством Е. В. Горохова [16, 17].

Вопросы долговечности и остаточного ресурса стальных конструкций решены в работах таких известных ученых, как М. Н. Лашенко [19], А. И. Голоднов [20], В. В. Филиппов [21], Г. И. Белый [22, 23], А. И. Кикин [24], Н. Г. Келасьев, Э. Н. Кодыш [25, 26], В. С. Сафронов [27], А. З. Белик [28].

В данной работе приведены примеры реализации проектных моделей и параметры изменений моделей зданий и сооружений в процессе эксплуатации.

Первый пример. Повреждаемость и действительная работа покрытия здания с радиально-кольцевой системой консольного типа.

По конструктивной схеме исследуемый объект представляет девятиэтажную ствольную систему диаметром 18 м с подвешенным двухуровневым спиральным этажом диаметром около 48 м. Крепление конструкций спирального этажа выполнено через систему подвесок и конструкцию несущих ферм. Общая высота сооружения от верха ростверка фундамента до верха плиты фонаря достигает 40,3 м.

Для обеспечения архитектурной выразительности здания предусмотрена надстройка над центральным стволом и внутренней третью ширины спирального этажа в виде ребристого усеченного конуса. Надстройка представлена конструкциями ротонды и фонаря, обеспечивающего дополнительным светом внутреннее пространство помещения.

Основными причинами появления дефектов и повреждений явились следующие факторы: ошибки, допущенные при проектировании и монтаже здания; длительная эксплуатация объекта в условиях открытого воздействия окружающей среды без реализации мероприятий по консервации, без надзора за состоянием несущих конструкций, без проведения планово-предупредительных ремонтно-восстановительных работ. Реализация указанных факторов привела к ускоренному износу и неконтролируемому снижению уровня конструктивной безопасности.

Действительная геометрия определена по результатам визуально-измерительного контроля и характеризуется следующими показателями:

- отклонение расстояния между равноудаленными колоннами в радиальном направлении до $\Delta = 48$ мм;
- отклонение расстояния между соседними колоннами в кольцевом направлении до $\Delta = 124$ мм;
- отклонение оси железобетонных колонн по вертикали до $\Delta = 103$ мм;
- прогиб радиальных железобетонных балок (перепад отметок) в направлении оси «С-7» до $f = 92$ мм по балкам верхнего уровня и до $f = 85$ мм по балкам нижнего уровня;
- отклонение оси подкосов относительно оси железобетонных радиальных балок по координационным осям на отметке +23,00 м на величину до $\Delta = 2,1$ градусов;
- отклонение оси подвесок внешнего кольцевого ряда от вертикального положения до $\Delta = 164$ мм (проекция в плане);

- прогиб, перекос в уровне верхнего пояса ферм в направлении оси «С-7» до $f = 207$ мм по кольцевому ряду внешних подвесок (перепад отметок единого уровня);
- геометрическая изменяемость нижнего сектора спирального этажа в осях «С-9» – «С-1».

При разработке проекта допущена ошибка при назначении поперечного армирования консольных балок, неверно учтено влияние поперечной силы, что привело к развитию наклонных трещин в ряде балок.

Характер развития повреждений представлен на обобщенной схеме рис. 1.

Характер изменения НДС при работе под нагрузкой определен по результатам расчета пространственной модели здания. Диаграмма распределения коэффициента использования несущей способности сечения наиболее нагруженных стержней стальных консольных ферм представлена на рис. 2.

Коэффициенты использования несущей способности наиболее нагруженных железобетонных колонн каркаса здания по различным критериям приведены на рис. 3.

Общая схема усиления конструкций здания приведена на рис. 4.

Второй пример. Повреждаемость и действительная работа покрытия здания, выполненного в виде системы балочных ферм нормального типа с двумя консольными участками.

Конструктивная часть покрытия выполнена по системе балочной клетки с главными и второстепенными плоскими фермами, которые объединены в объемную структуру.

Габаритные размеры покрытия в осях составляют $68,85 \times 36,0$ м. Высота покрытия по обухам ферм составляет 3 300 мм.

Конструкция покрытия условно разделена на три блока.

Главные фермы выполнены однопролетными с двумя консолями. Консольные части предусмотрены вылетом $L = 9,0$ м, а пролет между опорами $L = 18,0$ м, что делает это здание большепролетным по критерию применения в гражданских целях. Второстепенные фермы, как и главные, имеют пролет $L = 18,0$ м. Опирание второстепенных ферм на главные предусмотрено через опорные столики, выполненные на главной ферме с применением болтового соединения.

Сечения элементов ферм выполнены из парных уголков.

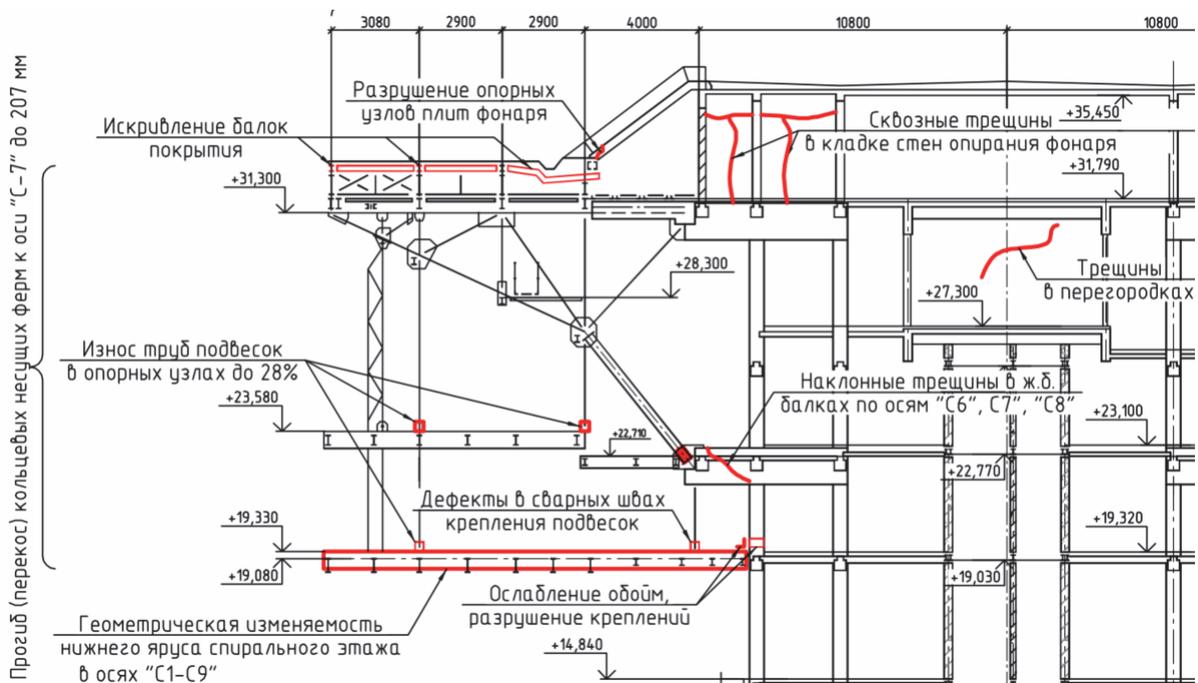


Рисунок 1. Обобщенная схема реализовавшихся повреждений в несущих конструкциях покрытия в составе каркаса здания.

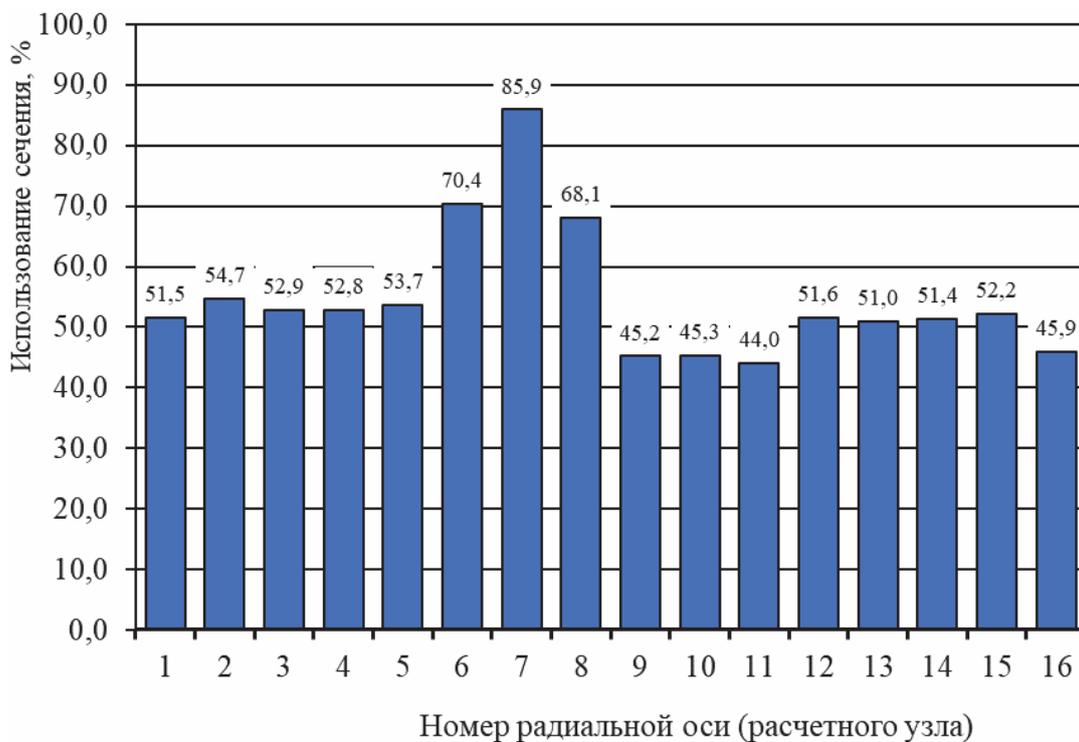


Рисунок 2. Распределение коэффициента использования несущей способности наиболее нагруженных стержней стальных консольных ферм.

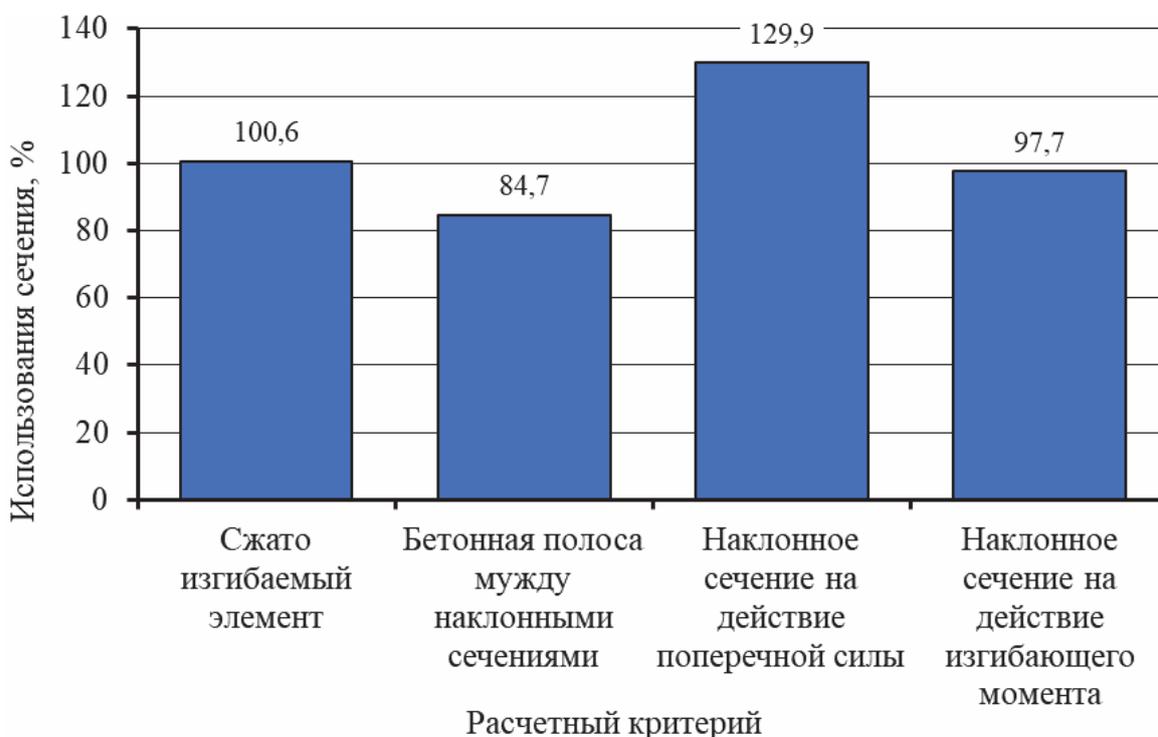


Рисунок 3. Распределение использования несущей способности наиболее нагруженных железобетонных колонн каркаса здания.

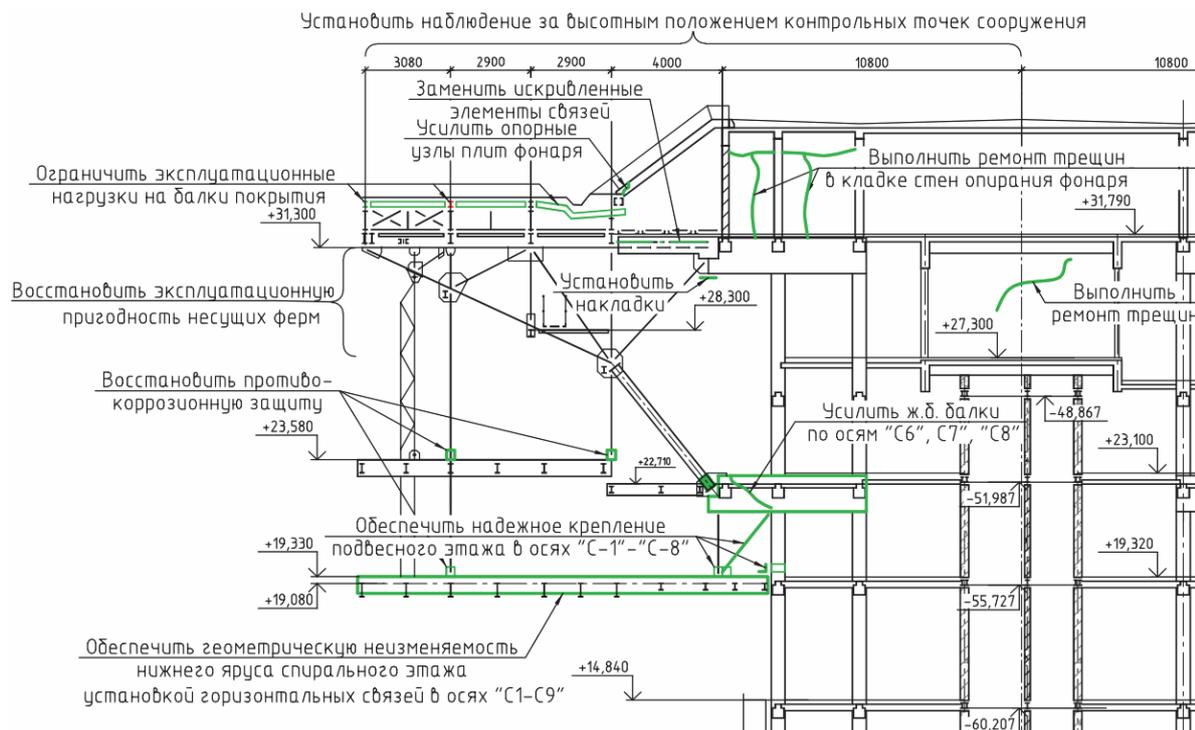


Рисунок 4. Обобщенная схема ремонта конструкций здания.

Ферма опирается на железобетонные колонны размерами 1 000×600 миллиметров.

Объемная структура из главных и второстепенных ферм фиксируется между собой горизонтальными и вертикальными связями, которые обеспечивают устойчивость элементов конструктивной системы как единого диска покрытия.

Поперечный разрез покрытия здания приведен на рис. 5.

В процессе эксплуатации собственником принято решение об устройстве в межферменном пространстве административных помещений. Примечательно, что в исходном проекте на здание отдельные участки покрытия, смежные с исследуемым участком межферменного пространства, предусматривались в качестве эксплуатируемых. Отдельными учеными и конструкторами обоснована эффективность применения межферменного пространства для эксплуатации в случае устройства жесткого диска в уровне нижних поясов ферм [22].

Основными причинами развития повреждений в строительных конструкциях являются:

- ошибки, допущенные при проектировании и монтаже покрытия, приведшие к значитель-

ным деформациям диска покрытия, в частности применение в качестве перегородок встроенных помещений кирпичной кладки толщиной от 120 мм до 250 мм;

- отсутствие регулярных планово-предупредительных ремонтов рулонной кровли покрытия, что привело к систематическим замачиваниям железобетонных конструкций плит и стальных ферм покрытия с уменьшением толщины элементов до 2,0 мм;

- в процессе эксплуатации вес многослойной конструкции кровли достиг 1,1 т/м².

Действительная геометрия определена по результатам визуально-измерительного контроля и характеризуется следующими показателями:

- предусмотренная конструкция опорных узлов балок рабочей площадки в уровне нижних поясов ферм препятствует свободе деформаций ферм покрытия в вертикальной плоскости;

- не реализуется конструктивное решение по усилению верхних поясов второстепенных ферм путем устройства единой монолитной плиты по верху сборных плит, которое в соответствии с проектным решением должно было создать единый диск покрытия и включить в

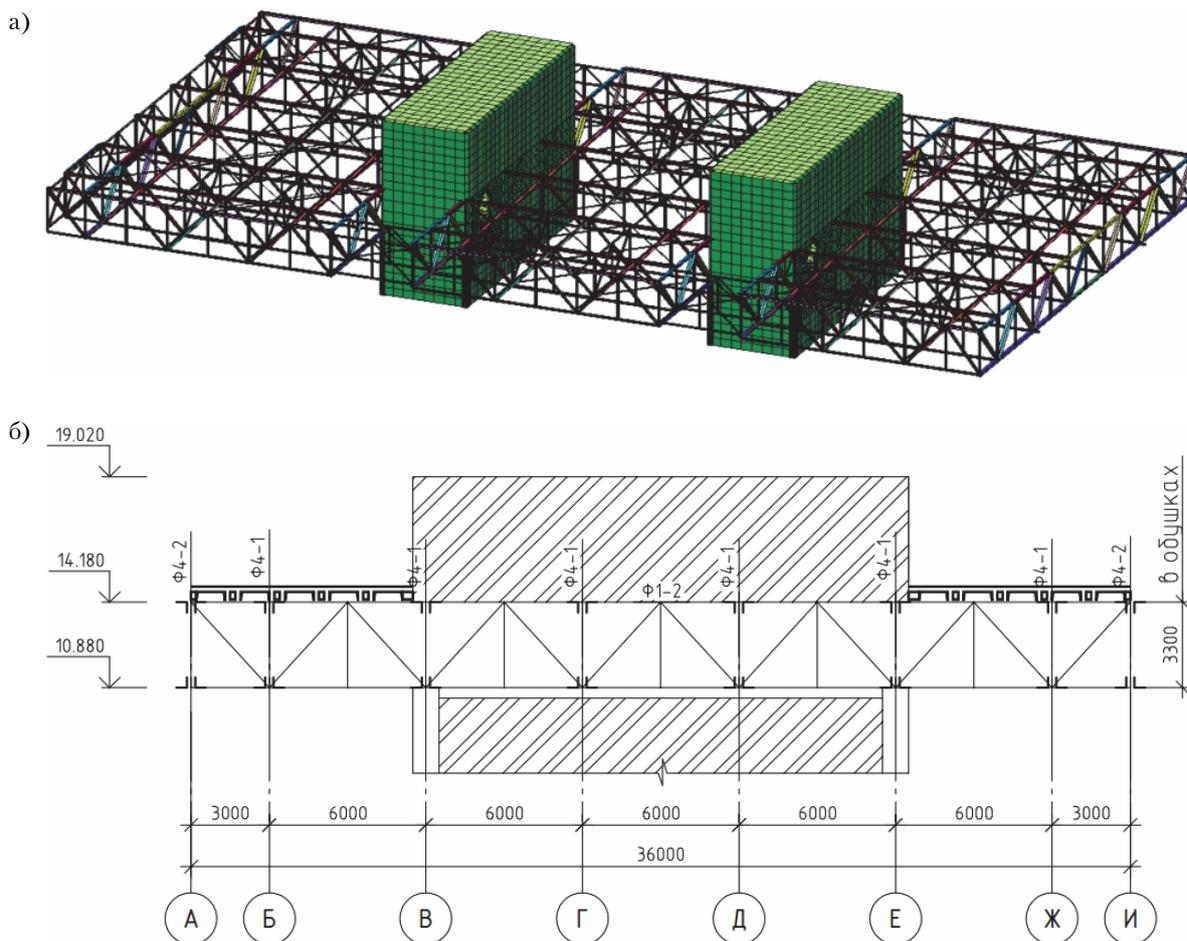


Рисунок 5. Конструктивная схема покрытия: а) пространственная схема; б) поперечный разрез.

совместную работу верхние пояса второстепенных ферм с железобетонными плитами;

- проектом не предусмотрена система связей в уровне нижних, сжатых поясов консольных участков ферм покрытия; реализованные в процессе эксплуатации связи не обеспечивают требуемую степень жесткости по причине применения узловых соединений с гибкими связями.

Наиболее часто выявленные и реализовавшиеся в процессе эксплуатации повреждения в стержнях несущих стальных конструкций, к реализации которых привели ошибки, допущенные в принятых проектных решениях:

- коррозионные повреждения стержней в зоне контакта с бетоном в результате систематических замачиваний, вызванных разрушением кровельного ковра;
- коррозионные повреждения стержней в зоне контакта с кирпичной кладкой стен и перего-

родок встроенных помещений в результате систематических замачиваний, вызванных протечками элементов систем водоснабжения или водоотведения;

- искривления продольной оси стержней, вызванное потерей устойчивости при действии расчетных сочетаний нагрузок.

При анализе НДС конструкций главных ферм покрытия установлен существенный разброс уровней напряжённого состояния элементов конструкций, что проиллюстрировано на рис. 6.

Третий пример. Повреждаемость и действительная работа покрытия, выполненного главными балками переменного сечения, с встроенными и обустроенными по периметру помещениями.

По конструктивной схеме покрытие представляет балочную систему нормального типа, состоящую из сэндвич-панелей, выполняющих роль настила покрытия, прогонов покрытия пролетом

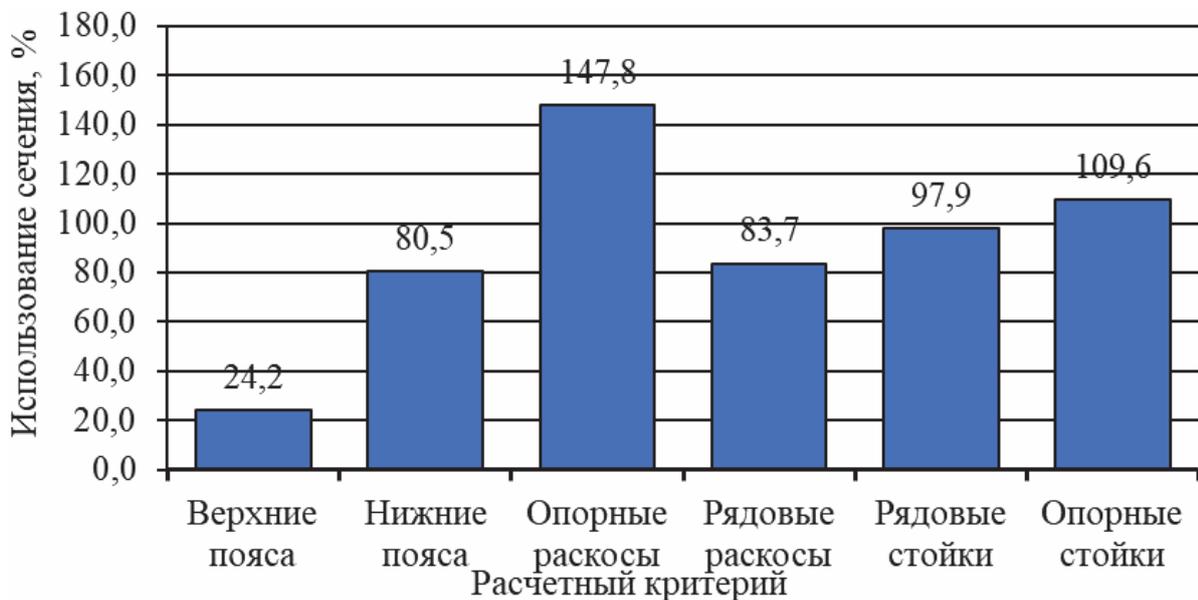


Рисунок 6. Распределение использования несущей способности в стержнях главных ферм.

6,0 м, опирающихся на главные балки пролетом 18,0 м.

Анализ конструктивных решений:

- применение составных балок переменного сечения позволяет более полно обеспечить совпадение расчетной и конструктивной схемы – эпюра материала близка к эпюре изгибающего момента, что существенно снижает металлоемкость;
- несущая способность балок обеспечена при обеспечении прочности расчетных сечений балки в вертикальной плоскости, устойчивости сжатого пояса балки из плоскости между точками крепления верхнего пояса в уровне прогонов покрытия и прочностью узла монтажного крепления отправочных марок балки;
- устойчивость сжатых поясов балок может быть обеспечена на участках между прогонами при условии отсутствия смещений прогонов, что достигается путем устройства системы связей или жестким диском покрытия, реализованным непосредственно по прогонам; данное условие соблюдено для балок или их участков в осях «А-Б» и «Ж-Н» и не выполнено для балок или их участков на протяжении чердачного пространства;
- применение прогонов, работающих по неразрезной многопролетной схеме, способствует

- уменьшению поперечного сечения и уменьшению вертикальных прогибов, однако следует уделить внимание обеспечению устойчивости нижнего сжатого пояса балок; применение гибких тяжей между прогонами способно обеспечить устойчивость прогонов при условии создания геометрически неизменяемых участков в крайних отсеках покрытия;
- применение в качестве прогонов элементов сквозного сечения при соединении поясов планками не рационально для изгибаемых элементов – прогоны с планками работают по рамной схеме, что приводит к возникновению в элементах прогонов всех компонентов напряженно-деформированного состояния по причине появления продольных, поперечных и изгибающих усилий в элементах прогона; применение гнутых прогонов с вертикально расположенными полками приводит к быстрой потере устойчивости крайних незакрепленных участков полок;
- монтажный стык двух отправочных марок балок идеально обеспечивает реальную работу стали под нагрузкой в центре балки изгибаемой по однопролетной разрезной схеме – нижняя часть стыка работает на растяжение, верхняя – на сжатие; конструктивно стык выполнен по нижнему поясу с применением накладок и работает как срезное соединение, по

верхнему – на четырех болтах через конструктивный фланец, плавно переходящий в ребро жесткости по стыку; надежность стыка обеспечивается соблюдением проектного конструктивного решения – применение двух накладок по стыку нижнего пояса, соблюдение проектного числа болтов.

Реализация повреждений в анализируемых конструкциях покрытия произошла вследствие превышения снеговой нагрузки после обустройства по периметру корпусов здания с большими высотными отметками кровли.

Общий вид покрытия с эпюрами коэффициента превышения снеговой нагрузки у перепадов высот приведен на схеме рис. 7.

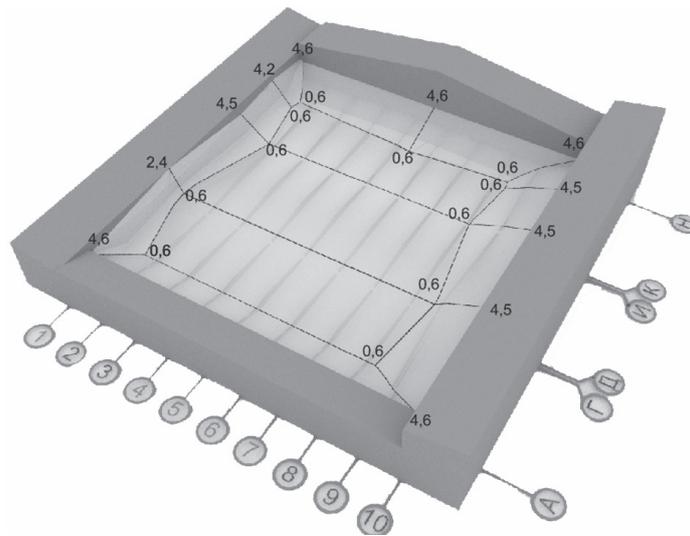
Эксплуатация конструкций с реализовавшимися повреждениями стала невозможной. Принято решение выполнить усиление по результатам вариантного проектирования.

Для определения эффективного варианта устройства покрытия производственных цехов предусмотрена проработка двух вариантов устройства безопасного покрытия:

- вариант 1 – усиление существующих конструкций покрытия с сохранением высотных отметок кровли, существующей конфигурации кровли и состава ограждающих конструкций покрытия;
- вариант 2 – разработка конструкций нового покрытия путем осуществления подъема отметки кровли, изменения конфигурации и состава ограждающих конструкций покрытия.

Для оценки наиболее эффективного варианта устройства покрытия производственных цехов приведены основные результаты технико-экономических исследований, выполненных по укрупненным показателям.

а)



б)

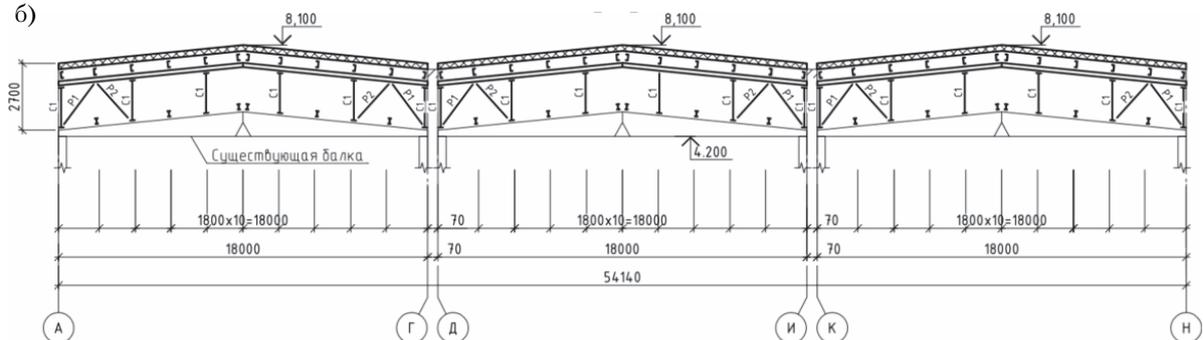


Рисунок 7. Схемы покрытия: а) общий вид нижнего, исследуемого покрытия с эпюрами коэффициента превышения снеговой нагрузки у перепадов высот; б) схема усиления с устройством надстройки (вариант 2).

Показатели сопоставления данных результатов предпроектных проработок вариантов усиления приведены в таблице.

По результатам технико-экономического сравнения вариантов усиления и устройства покрытия принято решение о демонтаже существующего покрытия с повреждениями и устройстве усиливающей надстройки.

Выводы и рекомендации

1. Конструктивные и расчетные модели здания, его элементов и узлов, заложенные на стадии проектирования и фактически реализовавшаяся в процессе строительства и эксплуатации, имеют существенные различия в геометрии, прочностных свойствах материалов, в характере действующих нагрузках и путях передачи нагрузок на вертикальные конструкции, непосредственно передающих нагрузки на основание.
2. Остаточный ресурс строительных металлических конструкций, эксплуатация которых осуществляется в устоявшейся среде и доступных для осуществления плановых ремонтно-восстановительных мероприятий может быть продлен на срок службы защитных покрытий или за счет увеличения размеров сечения. Срок службы конструкций, при прочих равных условиях не доступных для контроля и, как следствие, не доступных для усиления, сокращается в соответствии с реализовавшейся моделью износа. Достоверность разработанных моделей износа зависит от полноты данных, собранных при проведении инструментального контроля, систематизированных и обобщенных по результатам статистической обработки полученной выборки. По результа-
- там обследования линейки гражданских объектов установлено, что провести сплошное обследование в подавляющем большинстве случаев не представляется возможным по ряду причин, а характерные параметры моделей, характеризующих работу объекта, определяются с существенным разбросом значений контрольных величин. Достоверность полученных данных и, как следствие, разрабатываемых моделей существенно снижается.
3. Разработка достоверной модели эксплуатируемого строительного объекта зависит от многих факторов - квалификации специалистов, современного оборудования для проведения инструментального контроля, обеспеченности доступа для осуществления контроля, обоснования требуемой детализации расчетной модели. Одной из наиболее сложных задач, особенно для многократно статически неопределимых систем, и по-прежнему актуальной, остается задача установления действительного уровня НДС стальных элементов эксплуатируемых конструкций натурными методами. В настоящий момент указанная задача решается прямыми и косвенными методами [26, 27].
4. Для осуществления нормальной, длительной, безопасной эксплуатации, сохранения человеческих жизней и нормального осуществления технологического процесса, на ряду с промышленными объектами, для объектов гражданской инфраструктуры необходимо осуществлять периодический плановый контроль со стороны надзорных органов.
5. Эффективный способ усиления конструкций с недопустимыми и критическими повреждениями следует определять по результатам комплексной оценки стоимости в деле с учетом

Таблица. Обобщенные технико-экономические показатели вариантов устройства покрытия

Определитель выбора	Вариант 1 Усиление существующих конструкций покрытия	Вариант 2 Разработка новых конструкций покрытия
Металлоемкость	37,3 т.	76,4 т.
Изготовление конструкций	на строительной площадке с остановкой основного производства	в условиях завода стальных конструкций
Соединение конструкций	сварные соединения	болтовые соединения
Защита конструкций	на строительной площадке	в условиях завода

веса, стоимости изготовления, транспортировки, монтажа, сроков остановки технологического процесса в полезном пространстве здания. Подход к оценке стоимости, не учитыва-

ющий влияния на итоговую цену всего комплекса факторов, неизбежно приведет к существенным завышениям стоимости в процессе производства работ.

Литература

- ГОСТ 27751-2014. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения = Reliability for constructions and foundations. General principles : межгосударственный стандарт : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 11 декабря 2014 г. № 1974-ст. : введен впервые : дата введения 2015-07-01 / разработан ОАО «Научно-исследовательский центр «Строительство» (ОАО «НИЦ «Строительство») – Центральный научно-исследовательский институт строительных конструкций имени В. А. Кучеренко (ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко). – Москва : Стандартиформ, 2015. – 13 с. – Текст : непосредственный.
- ГОСТ 31937-2011. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния = Buildings and constructions. Rules of inspection and monitoring of the technical condition : межгосударственный стандарт : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 27 декабря 2012 г. № 1984-ст. : введен впервые : дата введения 2014-01-01 / разработан Государственным унитарным предприятием г. Москвы «Московский научно-исследовательский и проектный институт типологии, экспериментального проектирования» (ГУП «МНИИТЭП»). – Москва : МНТКС, 2012. – 89 с. – Текст : непосредственный.
- СП 16.13330.2017. Стальные конструкции = Steel structures : издание официальное : утвержден и введен в действие приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 27 февраля 2017 г. № 126/пр : актуализированная редакция СНиП II-23-81* : дата введения 2017-08-28 / подготовлен Департаментом градостроительной деятельности и архитектуры Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации (Минстрой России). – Москва : Росстандарт, 2017. – 139 с. – Текст : непосредственный.
- СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия = Loads and actions : издание официальное : утвержден и введен в действие приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации (Минстрой России) от 3 декабря 2016 г. № 891/пр : актуализированная

References

- GOST 27751-2014. Reliability for constructions and foundations. General principles. – Moscow : Standartinform, 2015. – 13 p. – Text : direct. (in Russian)
- GOST 31937-2011. Buildings and constructions. Rules of inspection and monitoring of the technical condition. – Moscow : Interstate scientific and technical commission for standardization and technical regulation in construction, 2012. – 89 p. – Text : direct. (in Russian)
- SP 16.13330.2017. Steel structures. – Moscow : Rosstandart, 2017. – 139 p. – Text : direct. (in Russian)
- SP 20.13330.2016. Loads and actions. – Moscow : Standartinform, 2018. – 104 c. – Text : direct. (in Russian)
- GOST 23118-2019. Building steel structures. General specifications. – Moscow : Standartinform, 2021. – 25 p. – Text : direct. (in Russian)
- Russian Federation. Laws. Technical regulation on the safety of buildings and structures : Federal Law № 384-FZ. – St. Petersburg : Codex, 2009. – 24 p. – Text : direct. (in Russian)
- Russian Federation. Government of the Russian Federation. On the composition of sections of project documentation and requirements for their content : regulation. – Moscow : Standartinform, 2008. – 25 p. – Text : direct. (in Russian)
- SP 53-101-98. Production and quality control of steel structures. – Moscow : State Committee of the Russian Federation for Construction and Housing and Communal Complex, 1999. – 29 p. – Text : direct. (in Russian)
- SP 70.13330.2012. Load-bearing and separating constructions. – Moscow : Standartinform, 2012. – 197 p. – Text : direct. (in Russian)
- Methodology for determining the physical deterioration of civil buildings / Moszhilproekt Institute of the Main Department of Housing of the Moscow City Executive Committee. – Moscow : Ministry of Public Utilities RSFSR, 1970. – 52 p. – Text : direct. (in Russian)
- Recommendations for the assessment of the state and strengthening of building structures of industrial buildings and structures / RIBS USSR State Committee for Construction and Investment. – Moscow : Stroyizdat, 1989. – 104 p. – Text : direct. (in Russian)
- Recommendations for assessing the reliability of building structures of buildings and structures by external signs / Central Research and Design and

- редакция СНиП 2.01.0785* (с Изменениями N 1, 2, 3) : дата введения 2017-06-04 / разработаны ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство» при участии ФГБУ «Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова». – Москва : Стандартинформ, 2018. – 104 с. – Текст : непосредственный.
5. ГОСТ 23118-2019. Конструкции стальные строительные. Общие технические условия = Building steel structures. General specifications : межгосударственный стандарт : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 4 августа 2020 г. N 458-ст : взамен ГОСТ 23118-2012 : дата введения 2021-01-01 / разработан ЗАО «Центральный ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский и проектный институт строительных металлоконструкций им. Н. П. Мельникова» (ЗАО «ЦНИИПСК им. Мельникова»). – Москва : Стандартинформ, 2021. – 25 с. – Текст : непосредственный.
 6. Российская федерация. Законы. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений : Федеральный Закон № 384-ФЗ : [принят Государственной думой 23 декабря 2009 года : одобрен Советом Федерации 25 декабря 2009 года]. – Санкт-Петербург : Кодекс, 2009. – 24 с. – Текст : непосредственный.
 7. Российская федерация. Правительство Российской Федерации. О составе разделов проектной документации и требования к их содержанию : Положение : утверждено постановлением Правительства Российской Федерации от 16 февраля 2008 г. № 87. – Москва : Стандартинформ, 2008. – 25 с. – Текст : непосредственный.
 8. СП 53-101-98. Изготовление и контроль качества стальных строительных конструкций = Production and quality control of steel structures : издание официальное : одобрен и введен в действие Постановлением Госстроя России от 17.05.99 г. № 37 : взамен ГОСТ 23118 : дата введения 1999-01-01 / разработан ОАО Концерн «Стальконструкция» и НИПИПромстальконструкция с участием ЦНИИПроектлегконструкция, НПП «Энергостройпром», ЦНИИпроектстальконструкция им. Мельникова, Южно-Уральского государственного университета и ОАО «Челябинский ЗМК». – Москва : Госстрой России, 1999. – 29 с. – Текст : непосредственный.
 9. СП 70.13330.2012. Несущие и ограждающие конструкции = Load-bearing and separating constructions : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по строительству и жилищно-коммунальному хозяйству (Госстрой) от 25 декабря 2012 г. № 109/ГС : Актуализированная редакция СНиП 3.03.01-87 : дата введения 2013-07-01 / разработаны ЗАО «ЦНИИПСК им. Мельникова». – Москва : Стандартинформ, 2012. – 197 с. – Текст : непосредственный.
 - Experimental Institute of Industrial Buildings and Structures. – Moscow : Central Research and Design and Experimental Institute of Industrial Buildings and Structures, 2001. – 100 p. – Text : direct. (in Russian)
 13. SP 255.1325800.2016. Buildings and structures. Operating rules. General provisions. – Moscow : Ministry of Construction, Housing and Communal Services of the Russian Federation, 2016. – 62 p. – Text : direct. (in Russian)
 14. SP 72.13330.2016. Protection of buildings, facilities and structures against corrosion. – Moscow : Rosstandart, 2017. – 63 p. – Text : direct. (in Russian)
 15. Russian Federation. Laws. Technical regulation on fire safety requirements: Federal Law № 123-FZ. – St. Petersburg : Codex, 2008. – 117 p. – Text : direct. (in Russian)
 16. Perelmuter, A. V.; Slivker, V. I. Calculation models of structures and the possibility of their analysis : a tutorial. – Moscow : DMK Press, 2009. – 456 p. – ISBN 5-94074-352-8. – Text : direct. (in Russian)
 17. Gorokhov, Ye. V. Diagnostics, identification of bearing capacity reserves and strengthening of metal structures of industrial buildings during reconstruction. – Kyiv : KECI, 1987. – 84 p. – Text : direct. (in Russian)
 18. Gorokhov, Ye. V.; Yugov, A. M. Assessment of the technical condition and technical diagnostics of metal structures of industrial buildings and structures. – Text : direct. – In: *Builder of Donbass*. – 2019. – № 2(7). – P. 15–25. (in Russian)
 19. Lashchenko, M. N. Improving the reliability of metal structures of buildings and structures during reconstruction. – Leningrad : Stroyizdat, 1987. – 136 p. – Text : direct. (in Russian)
 20. Golodnov, A. I. Rationale for extending the service life of steel structures. – Text : direct. – In: *Metal constructions*. – 2007. – Volume 13, № 3. – P. 123–129. (in Russian)
 21. Filippov, V. V.; Berezhnov, K. P. Assessment of the durability of metal structures of industrial buildings, taking into account the degradation of the mechanical properties of steels due to corrosion. – Text : direct. – In: *Science and education*. – 2016. – № 4(84). – P. 83–88. (in Russian)
 22. Bely, G. I. Causes of Reliability Decrease and Approximate Estimation of Steel Structure Life of Operating Buildings and Structures. – Text : direct. – In: *Modern problems of science and education*. – 2012. – № 2. – P. 264. (in Russian)
 23. Bely, G. I. Reverse calculation method for load-reinforced bar elements of steel structures by increasing cross sections. – Text : direct. – In: *Bulletin of Civil Engineers*. – 2020. – № 6(83). – P. 46–55. (in Russian)
 24. Kikin, A. I. Increasing the durability of metal structures of industrial buildings. – Moscow : Stroyizdat, 1984. – 301 p. – Text : direct. (in Russian)
 25. Kodysh, E. N.; Trekin, N. N.; Terekhov, I. A. One-story industrial buildings with exploitable areas in the inter-farm space. – Text : direct. – In: *Industrial*

10. Методика определения физического износа гражданских зданий / Институт Мосжилпроект Главного управления жилищного хозяйства Мосгорисполкома. – Москва : МКХ РСФСР, 1970. – 52 с. – Текст : непосредственный.
11. Рекомендации по оценке состояния и усилению строительных конструкций промышленных зданий и сооружений / НИИСК Госстроя СССР. – Москва : Стройиздат, 1989. – 104 с. – Текст : непосредственный.
12. Рекомендации по оценке надежности строительных конструкций зданий и сооружений по внешним признакам / ЦНИИПромзданий. – Москва : ЦНИИПромзданий, 2001. – 100 с. – Текст : непосредственный.
13. СП 255.1325800.2016. Здания и сооружения. Правила эксплуатации. Основные положения = Buildings and structures. Operating rules. General provisions : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации (Минстрой России) от 24 августа 2016 г. № 590/пр : введен впервые : дата введения 2017-02-25 / разработан ООО «АСД-групп», Акционерное общество «Центральный научно-исследовательский и проектно-экспериментальный институт промышленных зданий и сооружений» («АО «ЦНИИПромзданий»). – Москва : Минстрой России, 2016. – 62 с. – Текст : непосредственный.
14. СП 72.13330.2016. Защита строительных конструкций и сооружений от коррозии = Protection of buildings, facilities and structures against corrosion : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 16 декабря 2016 г. № 965/пр : актуализированная редакция СНиП 3.04.03-85 : дата введения 2017-06-17 / разработан НИИЖБ им. А. А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство» при участии ассоциации «Защита строительных конструкций зданий и сооружений от коррозии». – Москва : Росстандарт, 2017. – 63 с. – Текст : непосредственный.
15. Российская федерация. Законы. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федеральный Закон № 123-ФЗ : [принят Государственной думой 04 июля 2008 года : одобрен Советом Федерации 11 июля 2008 года]. – Санкт-Петербург : Кодекс, 2008. – 117 с. – Текст : непосредственный.
16. Перельмутер, А. В. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа : учебное пособие / А. В. Перельмутер, В. И. Сливкер. – Москва : ДМК Пресс, 2009. – 456 с. – ISBN 5-94074-352-8. – Текст : непосредственный.
17. Горохов, Е. В. Диагностика, выявление резервов несущей способности и усиление металлоконструкций промзданий при реконструкции / Е. В. Горохов. – Киев : КИСИ, 1987. – 84 с. – Текст : непосредственный.
- and civil construction. – 2018. – № 6. – P. 28–31. (in Russian)
26. Kelasyev, N. G.; Kodysh, E. N.; Trekin, N. N. Determination of the service life of structures, buildings and structures. – Text : direct. – In: *Industrial and civil construction*. – 2020. – № 2. – P. 12–17. (in Russian)
27. Safronov, V. S.; Melkhior, N. Reliability of a long-term metal coating of a building with sandwich roof panels. – Text : direct. – In: *Structural mechanics and structures*. – 2018. – № 4(19). – P. 72–82. (in Russian)
28. Belik, A. Z. Reliability of steel structures of buildings and structures during operation. – Text : direct. – In: *Proceedings of the Southwestern State University. Series: Engineering and technology*. – 2012. – № 2-2. – P. 86–90. (in Russian)
29. Maksimov, A. B.; Yerokhina, I. S. Non-destructive method for determining the resource of carbon and low alloy steels. – Text : direct. – In: *Materials Science*. – 2021. – № 9. – P. 19–24. (in Russian)
30. Maksimov, A. B.; Yerokhina, I. S. Determination of the stress-strain state of structures by a non-destructive method. – Text : direct. – In: *Materials of the pool of scientific and practical conferences : Materials of the III National scientific and practical conference with international participation, Donetsk-Kerch-Lugansk*. – Kerch : Kerch State Marine Technological University, 2022. – P. 227–229. (in Russian)

18. Горохов, Е. В. Оценка технического состояния и техническая диагностика металлических конструкций промышленных зданий и сооружений / Е. В. Горохов, А. М. Югов. – Текст : непосредственный // Строитель Донбасса. – 2019. – № 2(7). – С. 15–25.
19. Лащенко, М. Н. Повышение надежности металлических конструкций зданий и сооружений при реконструкции / М. Н. Лащенко. – Ленинград : Стройиздат, 1987. – 136 с. – Текст : непосредственный.
20. Голоднов, А. И. Обоснование продления срока эксплуатации стальных конструкций / А. И. Голоднов. – Текст : непосредственный // Металлические конструкции. – 2007. – Том 13, № 3. – С. 123–129.
21. Филиппов, В. В. Оценка долговечности металлических конструкций производственных зданий с учетом деградации механических свойств сталей из-за коррозии / В. В. Филиппов, К. П. Бережнов. – Текст : непосредственный // Наука и образование. – 2016. – № 4(84). – С. 83–88.
22. Белый, Г. И. Причины снижения надежности и приближенная оценка ресурса стальных конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений / Г. И. Белый. – Текст : непосредственный // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 2. – С. 264.
23. Белый, Г. И. Обратный метод расчета усиливаемых под нагрузкой стержневых элементов стальных конструкций путем увеличения сечений / Г. И. Белый. – Текст : непосредственный // Вестник гражданских инженеров. – 2020. – № 6(83). – С. 46–55.
24. Кикин, А. И. Повышение долговечности металлических конструкций промышленных зданий / А. И. Кикин. – Москва : Стройиздат, 1984. – 301 с. – Текст : непосредственный.
25. Кодыш, Э. Н. Одноэтажные производственные здания с эксплуатируемыми площадями в межферменном пространстве / Э. Н. Кодыш, Н. Н. Трекин, И. А. Терехов. – Текст : непосредственный // Промышленное и гражданское строительство. – 2018. – № 6. – С. 28–31.
26. Келасьев, Н. Г. Определение срока службы конструкций, зданий и сооружений / Н. Г. Келасьев, Э. Н. Кодыш, Н. Н. Трекин. – Текст : непосредственный // Промышленное и гражданское строительство. – 2020. – № 2. – С. 12–17.
27. Сафронов, В. С. Надежность длительно эксплуатируемого металлического покрытия здания с кровельными сэндвич-панелями / В. С. Сафронов, Н. Мельхиор. – Текст : непосредственный // Строительная механика и конструкции. – 2018. – № 4(19). – С. 72–82.
28. Белик, А. З. Надежность стальных конструкций зданий и сооружений в период эксплуатации / А. З. Белик. – Текст : непосредственный // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. – 2012. – № 2-2. – С. 86–90.

29. Максимов, А. Б. Неразрушающий метод определения ресурса углеродистых и низколегированных сталей / А. Б. Максимов, И. С. Ерохина. – Текст : непосредственный // Материаловедение. – 2021. – № 9. – С. 19–24.
30. Максимов, А. Б. Определение напряженно-деформированного состояния конструкций неразрушающим методом / А. Б. Максимов, И. С. Ерохина. – Текст : непосредственный // Материалы пула научно-практических конференций : Материалы III Национальной научно-практической конференции с международным участием, Донецк-Керчь-Луганск (24–28 января 2022 года). – Керчь : ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет», 2022. – С. 227–229.

Голиков Александр Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций, оснований и надежности сооружений Института архитектуры и строительства ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет». Научные интересы: расчет и конструирование газоотводящих стволов с местными напряжениями, влияние локальной вогнутости на работу несущей оболочки высотных сооружений, выбор расчётной схемы для численного анализа свободностоящих дымовых труб, методика определения краевых напряжений в оболочках дымовых труб, сравнение методик расчета устойчивости стволов мачт сотовой связи.

Лейчу Федор Федорович – ведущий инженер, АО «ВНИКТИнефтехимоборудование». Научные интересы: остаточный ресурс железобетонных и стальных конструкций.

Голиков Олександр Володимирович – кандидат технічних наук, доцент кафедри будівельних конструкцій, основ та надійності споруд Інституту архітектури та будівництва ФДБОУ ВО «Волгоградський державний технічний університет». Наукові інтереси: розрахунок та конструювання газовідвідних стволів з місцевими напруженнями, вплив локальної увігнутості на роботу несучої оболонки висотних споруд, вибір розрахункової схеми для чисельного аналізу вільностоящих димових труб, методика визначення крайових напружень в оболонках димових труб, порівняння методик розрахунку стійкості стволів сотового зв'язку.

Лейчу Федір Федорович – провідний інженер, АТ «ВНІКТИнафтохімобладнання». Наукові інтереси: залишковий ресурс залізобетонних та сталевих конструкцій.

Golikov Alexander – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Building Structures, Foundations and Reliability of Structures Department, Institute of Architecture and Construction, Volgograd State Technical University. Scientific interests: calculation and design of gas discharge shafts with local stresses, the influence of local concavity on the work of the loadbearing shell of highrise structures, the choice of a design scheme for numerical analysis of freestanding chimneys, methods for determining the edge stresses in the shells of chimneys, comparison of methods for calculating the stability of trunks of cellular communication masts.

Leychu Fedor – Leading Engineer, JSC «VNIKTIneftehimoborudovanie». Scientific interests: residual life of reinforced concrete and steel structures.