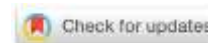


ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА TECHNOLOGY AND ORGANIZATION OF CONSTRUCTION



УДК 69.059.4

Оригинальное эмпирическое исследование

<https://doi.org/10.23947/2949-1835-2026-5-2-56-65>

Корреляции поврежденности основных конструкций промышленных зданий от сроков их эксплуатации



EDN: LNFHGY

Д.А. Байбурина ✉, А.Н. Потапов 

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Российская Федерация

✉ baiburinda@susu.ru

Аннотация

Введение. В известных исследованиях по теме статьи не указываются объемы выборки и типы цехов по их технологическим признакам, что не позволяет обобщить многочисленные данные о повреждениях. Недостатком ранее проведенных исследований является отсутствие обобщений с построением регрессионных зависимостей повреждаемости несущих элементов зданий от сроков их эксплуатации. Предметом исследования являются корреляции поврежденности основных конструкций промышленных зданий от сроков их эксплуатации. Для построения указанных зависимостей исследована значимая выборка цехов (не менее 100 цехов), и изучена частотность повреждений их основных конструкций. Частотность повреждений была изучена ранее и опубликована авторами. Целью настоящего исследования является построение корреляций между степенью поврежденности и сроками эксплуатации конструкций.

Материалы и методы. В качестве объектов исследования рассматривались одноэтажные промышленные здания металлургической, машиностроительной, энергетической отраслей, а также производства строительных материалов. Обследование цехов производилось по стандартным методикам, утвержденным в национальных стандартах и нормах. Для анализа дефектов и повреждений была создана электронная база в табличном процессоре, в которой фиксировалась вся основная информация по типам цехов, материалам и конструкциям, дефектам и повреждениям.

Результаты исследования. Анализ данных по большой выборке промышленных зданий позволил установить корреляции между поврежденностью и сроками эксплуатации конструкций. Установлено, что скорость повреждений стальных колонн больше, чем у железобетонных. Интенсивность повреждений стальных колонн описывается экспоненциальной зависимостью, а железобетонных — линейной. Кирпичные и железобетонные стены повреждаются по линейной зависимости от сроков эксплуатации. Зависимость «повреждаемость — сроки эксплуатации» железобетонных перекрытий и покрытий аппроксимируется полиномом второй степени, близким к линейной зависимости. Подобная линейная повреждаемость характерна и для стальных ферм. Повреждаемость стальных подкрановых балок прямо не зависит от сроков эксплуатации самого здания, так как балки заменяют по мере их повреждений.

Обсуждение и заключение. В результате исследования частотности повреждений были получены математические модели «поврежденность — срок эксплуатации» конструкций промышленных зданий, которые могут быть использованы для оптимизации технического обслуживания, планирования экспертиз, периодических осмотров, текущих и капитальных ремонтов зданий, разработки стратегии предприятий по замене основных производственных фондов. Отмечены отличительные особенности накопления со временем повреждений и дефектов для металлических каркасов промышленных зданий, связанные с человеческими ошибками. Для снижения аварийности и оптимизации затрат на протяжении жизненного здания предлагается применять риск-ориентированный подход, оценивать вероятность возникновения ошибок и стоимость восстановительных мероприятий на стадиях проектирования, возведения и эксплуатации.

Ключевые слова: промышленные здания, эксплуатация зданий, строительные аварии, дефекты и повреждения, надежность и безопасность

Для цитирования. Байбурин Д.А., Потапов А.Н. Корреляции поврежденности основных конструкций промышленных зданий от сроков их эксплуатации. *Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий*. 2026;5(2):56–65. <https://doi.org/10.23947/2949-1835-2026-5-2-56-65>

Original Empirical Research

Correlations of Damage to the Main Structures of Industrial Buildings from their Service Life

Denis A. Baiburin  , Alexander N. Potapov 

South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

 baiburinda@susu.ru

Abstract

Introduction. Well-known studies on the research subject have failed to specify sample sizes and types of workshops based on their technological characteristics, which prevents us from summarizing the numerous damage data. The downside of the previous studies is the lack of generalizations with designing regression dependences of damage to the bearing elements of buildings on their service life. The subject of the study is the correlation of damage to the main structures of industrial buildings from their service life. In order to design these dependencies, a significant sample of workshops (at least 100 workshops) has been investigated and the frequency of damage to their main structures has been examined. The frequency of damage has been previously studied and published by the authors. The aim of the study is to establish correlations between the degree of damage and the service life of structures.

Materials and Methods. The objects of the study were single-storey industrial buildings of the metallurgical, machine-building, energy industries, as well as production of building materials. The workshops were inspected by means of the standard methods endorsed in the national standards and norms. In order to analyze defects and damages, an electronic database was designed in a tabular processor that recorded all the basic information on types of workshops, materials and structures, defects and damages.

Research Results. The analysis of data on a large sample of industrial buildings made it possible to establish correlations between damage and the service life of structures. It was found that the rate of damage to steel columns is higher than that of reinforced concrete columns. The intensity of damage to steel columns is described by means of an exponential dependence, while that of reinforced concrete columns is a linear one. Brick and reinforced concrete walls are damaged linearly depending on the service life. The dependence "damage - service life" of reinforced concrete floors and coatings is approximated by a polynomial of the second degree, close to a linear relationship. Similar linear damage is typical of steel trusses. The damage rate of steel crane beams does not directly depend on the service life of the building itself, as the beams are replaced if damaged.

Discussion and Conclusion. As a result of the study of the frequency of damage, mathematical models of "damage - service life" of industrial building structures were obtained that can be used in order to optimize maintenance and repairs of buildings. The distinctive features of the accumulation of damages and defects over time for metal frames of industrial buildings associated with human mistakes are noted. In order to reduce accidents and optimize costs throughout the life cycle of buildings, it is suggested that a risk-based approach is applied, the likelihood of errors and cost of restoration measures at the stages of design, construction and operation are assessed.

Keywords: industrial buildings, building maintenance, construction accidents, defects and damages, reliability and safety

For citation. Baiburin DA, Potapov AN Correlations of Damage to the Main Structures of Industrial Buildings from their Service Life. *Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning*. 2026;5(2):56–65. <https://doi.org/10.23947/2949-1835-2026-5-2-56-65>

Введение. По оценкам Российской академии архитектуры и строительных наук (РААСН) [1] существует необходимость развития нормативной базы на основе обеспечения комплексной безопасности объектов на протяжении их полного жизненного цикла. Для этого необходимы научно-исследовательские работы, в том числе по изучению долговечности строительных материалов, конструкций и изделий, изучению живучести строительных объектов.

По данным исследований [2–4] причины дефектов и повреждений промышленных зданий: недостатки строительных работ — 28 %; нарушение правил эксплуатации — 26 %; низкое качество материалов — 28 %; ошибки проекта — 10 %; недостатки норм проектирования, правил изготовления и монтажа конструкций — 8 %. Наблюдаемая частота дефектов при монтаже стальных и железобетонных конструкций [5] подтверждает эти выводы. Количество дефектов в сопряжениях и узлах для стальных конструкций равно 56,5 %, железобетонных — 57,7 %.

По данным [2, 3] доля аварий, связанных со стадией эксплуатации, возросла с 11 до 35 %, что связано с износом основных фондов страны (зданий и сооружений промышленности и инфраструктуры). Эта тенденция особенно очевидна для промышленных зданий, для которых характерны большие пролеты и тяжелые режимы эксплуатации, связанные с наличием агрессивных сред, грузоподъемного оборудования, динамических нагрузок и пр.

К наиболее повторяемым следует отнести аварии покрытий производственных зданий. Анализ аварий показывает, что около 53 % всех обрушений происходит в результате перегрузки снегом и пылью [6]. По данным [7, 8] для главных корпусов теплоэлектростанций имеют место следующие повреждения стропильных ферм: местные погибы стержней — 28 %; износ антикоррозионного покрытия и коррозия металла — 23 %; общие изгибы стержней ферм — 24%; скопления агрессивной технологической пыли на конструкциях — 9 %; внеузловое опирание плит на верхний пояс ферм — 6 %.

Повреждаемость конструкций зависит от сроков эксплуатации [7, 8] (сравнение при 20 и 80 годах эксплуатации): железобетонных и стальных колонн — рост с 10 до 20 %; железобетонных и стальных подкрановых балок — с 10 до 70 %; стальных стропильных ферм — с 15 до 40 %; плит покрытия — с 20 до 60 %; второстепенных железобетонных балок площадок — с 15 до 80 %; главных железобетонных балок площадок — с 10 до 25 %.

Обнаружено закономерное снижение количества повреждений сверху вниз, начиная от плит покрытий и ферм до колонн, а также быстрый усталостный износ подкрановых балок. По данным [9] количество поврежденных подкрановых балок вырастает от 14 до 73 % при увеличении сроков эксплуатации с 3 до 22 лет. Наиболее частое повреждение балок — усталостные трещины в поясных швах верхнего пояса.

В исследованиях [10, 11] описаны типичные дефекты стальных колонн: изгибы и вырезы элементов решетки, локальные погибы и кривизна шатровой и подкрановых ветвей, разрушение мест креплений подкрановых балок, изменение типового конструктивного решения соединений. Наиболее частые повреждения используются в компьютерном моделировании для оценки степени эксплуатационной пригодности металлоконструкций промышленных зданий [12].

Авторы [13] выделили пять характерных зон дефектов и повреждений стен зданий. Предлагается объединять их по группам при проведении обследований или мониторинга состояния фасада. Это позволяет отслеживать динамику развития негативных процессов и своевременно проводить капитальный ремонт фасадов. В [14] проведен анализ повреждений с указанием их причин. Частота повреждений и дефектов определяется типами конструкций, значимостью дефектов, а также их причинами.

В исследовании [15] предлагаются способы повышения надежности каркасов промышленных зданий: повышение резерва прочности посредством увеличения сечений, прочности материалов, применения более эффективных сечений; использование статически неопределимых систем с перераспределением усилий в момент локальных разрушений; включение в работу связевых (несиловых) элементов.

Обзор показал, что повреждения промышленных зданий изучаются постоянно, но в исследованиях часто не указываются объемы выборки и типы цехов по их технологическим признакам, что не позволяет обобщить многочисленные данные. Недостатком ранее проведенных исследований является отсутствие обобщений с построением регрессионных зависимостей повреждаемости несущих элементов зданий от сроков их эксплуатации, что не позволяет обосновать и спланировать рациональную программу их эксплуатационного контроля.

Материалы и методы. Объектами исследований являлись 100 цехов — одноэтажные промышленные здания металлургической, машиностроительной, энергетической отраслей, а также производства строительных материалов. Годы ввода в эксплуатацию цехов варьировались от 1902 до 2016 гг.: 1902–1940 гг. — 10 объектов; 1941–1970 гг. — 61 объект; 1971–1990 гг. — 21 объект; 1991–2016 гг. — 9 объектов.

По конструктивной схеме исследованные здания подразделялись на каркасные, стеновые и каркасно-стеновые. По конструктивному исполнению и примененным материалам: полный железобетонный каркас; полный металлокаркас; смешанный каркас (железобетон и сталь); каменные несущие стены с различными вариантами покрытия.

Практически все обследованные здания имели грузоподъемное оборудование в виде мостовых кранов и кран-балок грузоподъемностью от 2 до 280 тонн с различными режимами работы: от ремонтных до тяжелых (от 1К до 8К). Степень агрессивности среды классифицировалась главным образом как неагрессивная либо слабоагрессивная.

В качестве однотипных групп обследованных конструкций рассматривались: фундаменты, колонны, стены, подкрановые балки и фермы, подстропильные и стропильные фермы, фонари, плиты перекрытий и покрытий, связи по колоннам и покрытию. В материальном исполнении указанные конструкции подразделялись на каменные (кирпич, шлакоблок, бут), железобетонные монолитные и сборные, стальные, деревянные. Кровля обследованных зданий в большинстве случаев была рулонной, реже — металлической.

Обследование цехов производилось по стандартным методикам, утвержденным в национальных стандартах и нормах. Согласно нормам ГОСТ 31937-2024 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния» и СП 13-102-2003 «Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений» работы включали: определение геометрических параметров конструкций и узлов, их соответствия проектной и нормативной документации; освидетельствование выявленных дефектов и повреждений, выявление их причин; инструментальный контроль прочностных характеристик материалов; уточнение нагрузок на несущие конструкции; поверочные расчеты поврежденных (дефектных) несущих и ограждающих конструкций; определение их технического состояния; разработку рекомендаций по ремонту и усилению конструкций здания.

Для анализа дефектов и повреждений была создана электронная база, в которой фиксировалась информация: название объекта; конструктивный тип здания; год ввода в эксплуатацию и год обследования; краткое описание конструкции здания; характеристика грузоподъемного оборудования; агрессивность цеховой среды; тип конструкции, элемент и материал конструкции; проектная и фактическая прочность материала; вид и величина повреждения (дефекта); частота повреждения в виде отношения поврежденных элементов к общему числу элементов в здании; локализация и краткое описание повреждения; причина повреждения (дефекта); значимость дефектов по категориям А, Б и В; коэффициент снижения прочности поврежденного элемента; категория технического состояния конструкции; основная рекомендация по восстановлению.

Результаты исследования. Из данных рис. 1 следует, что по степени сохраняемости, характеризуемой частотой повреждений и категориями технического состояния, стальные и железобетонные конструкции превосходят каменные.

Это напрямую связано с однородностью материала, что влияет на его сопротивляемость и долговечность, а также с тем, что каменные стены больше подвержены атмосферной эрозии. Кроме того, быстрое повреждение антикоррозионной защиты металла при малой массивности сечений объясняет частый переход в ограниченно работоспособное состояние стальных конструкции (45,3 %). Конструкции кровли и деревянной крыши («другие» на рис. 1) очень часто переходят в ограниченно работоспособное и неработоспособное состояние (92,5 % повреждений) в виду относительной недолговечности применяемых материалов и интенсивного износа.

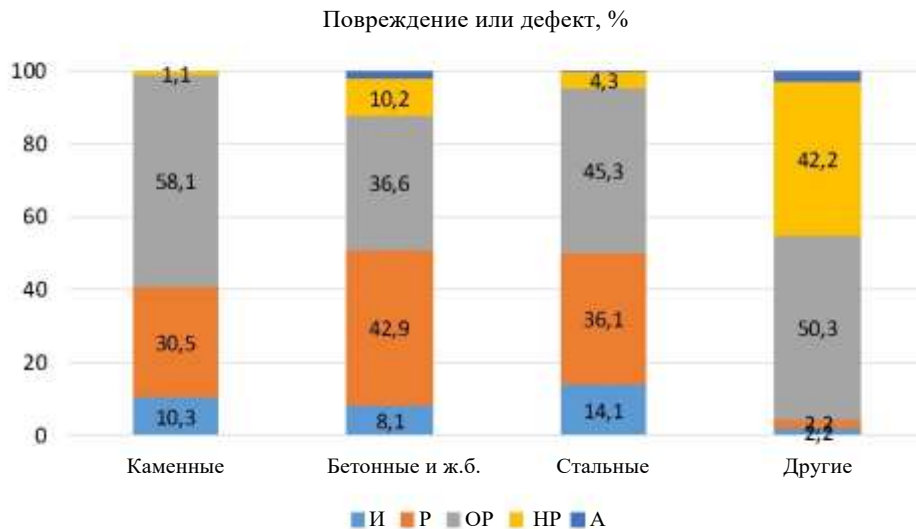


Рис. 1. Сравнение категорий технического состояния типов конструкций в %:

И — исправное; Р — работоспособное; ОР — ограниченно работоспособное; НР — неработоспособное; А — аварийное

Таким образом, наибольшая степень поврежденности наблюдается у конструкций, образующих оболочку здания: кровля и покрытие, наружные стены, а также конструкции, близко расположенные к оболочке. Исследования показали, что частота повреждений конструкций снижается в направлении «сверху-вниз»: кровля, покрытие, фермы, колонны и т.д.

Главными причинами повреждений являются протечки кровли и водосточков, износные явления (коррозия, увлажнение и размораживание, разрушение защитных покрытий и т.д.), а также воздействия технологии различных производств (крановые циклические нагрузки, случайные удары грузами и цеховым транспортом, вырезы элементов, агрессивная среда, скопления пыли и окалины и пр.).

Далее изложены результаты изучения зависимости повреждений от времени эксплуатации. Из графиков (рис. 2) видно, что железобетонные колонны повреждаются менее интенсивно, чем стальные. Через 60 лет эксплуатации оказываются поврежденными около 20 % железобетонных колонн и 30 % стальных. К 100 годам эксплуатации поврежденными будут практически все стальные колонны.

Более интенсивное повреждение стальных колонн связано, прежде всего, с коррозией металла (свыше 40 % поврежденных колонн). Интенсивность повреждений стальных колонн описывается экспоненциальной зависимостью (рис. 2). Достоверность аппроксимации при этом удовлетворительная: коэффициент детерминации $R^2 = 0,788$, коэффициент корреляции статистически значимый.

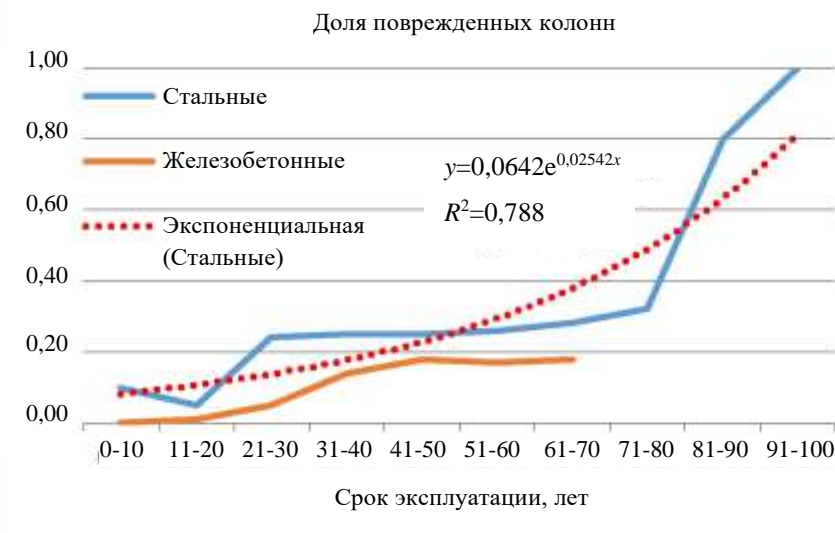


Рис. 2. Зависимость поврежденности колонн от сроков эксплуатации

Коэффициент детерминации рассчитывается как отношение суммы квадратов остатков регрессии к общей сумме квадратов:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}.$$

При значении $R^2 \geq 0,95$ точность аппроксимации высокая, при $0,8-0,95$ — удовлетворительная, при $0,6-0,8$ — слабая, а при $R^2 < 0,6$ — недостаточная.

Средняя ошибка аппроксимации — среднее относительное отклонение расчетных значений от фактических значений y_i :

$$\bar{\varepsilon} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right| 100.$$

При ошибке не более 10–15 % модель считается адекватной.

Кирпичные и железобетонные панельные стены повреждаются по линейной зависимости от сроков эксплуатации и примерно с равной интенсивностью 0,7 % в год (рис. 3). К 60-му году эксплуатации повреждаются около половины стен. Интенсивность повреждений кирпичных стен описывается линейной зависимостью. Достоверность аппроксимации при этом высокая ($R^2 = 0,967$).

Зависимость «повреждаемость — сроки» железобетонных перекрытий и покрытий аппроксимируется полиномом второй степени, близким к линейной зависимости 1 % в год (рис. 4). При этом значение коэффициента детерминации $R_2 = 0,95$ показывает высокую точность модели.

Более половины повреждений плит связано с замачиванием при протечках кровли и износом внутренних коммуникаций. К 50-ти годам эксплуатации поврежденными оказываются около 40 % плит, а к 100 годам — практически все плиты.

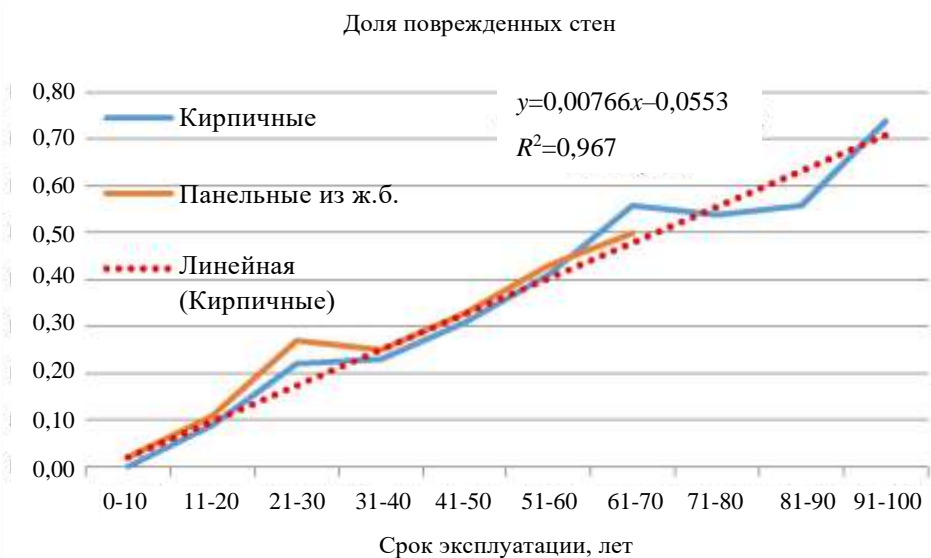


Рис. 3. Зависимость поврежденности стен от сроков эксплуатации

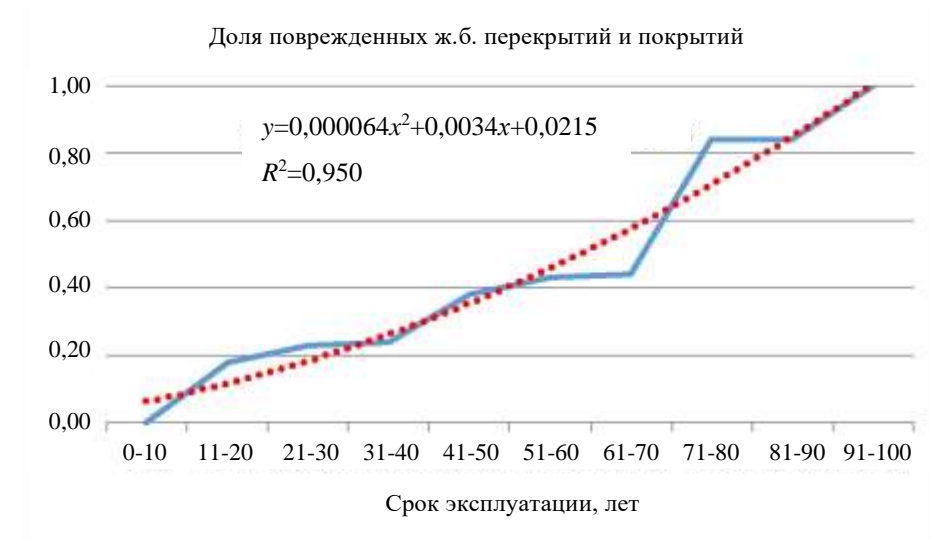


Рис. 4. Зависимость поврежденности перекрытий от сроков эксплуатации

Фактическая зависимость доли поврежденных стальных ферм (учитывая связи по фермам, но не учитывая коррозию) наилучшим образом моделируется линейной зависимостью (рис. 5). Значение коэффициента детерминации $R_2 = 0,939$ показывает высокую точность аппроксимации.

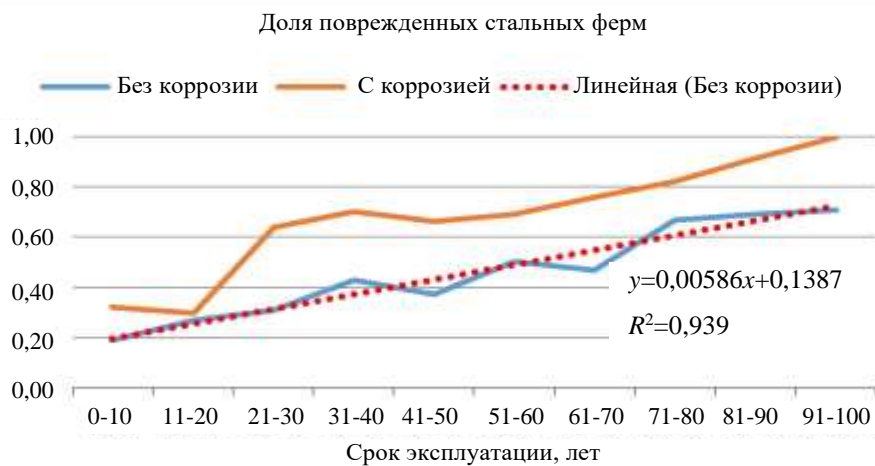


Рис. 5. Зависимость поврежденности стальных ферм от сроков эксплуатации

Как видим, если не учитывать коррозию, примерно половина стальных ферм повреждается к 55-ти годам эксплуатации. С учетом коррозионных повреждений к 50–60-ти годам эксплуатации будут повреждены 70 % стальных ферм, а к 100 годам — практически все фермы. Половина повреждений стальных ферм связана с коррозией при протечках кровли и водостоков. Местные погибы элементов имеют частоту 9,8 %, общий изгиб стержней — 5,9 %.

Из полученных зависимостей повреждаемости основных несущих конструкций (рис. 2–5) можно сделать вывод, что предельный срок эксплуатации производственных зданий составляет 70–80 лет. К этому сроку износ несущих конструкций достигает значений 60–70 %. За это время технология производства значительно прогрессирует, что чаще всего требует значительной модернизации производственных цехов.

Повреждаемость стальных подкрановых балок прямо не зависит от сроков эксплуатации самого здания, так как подкрановые балки являются самыми повреждаемыми конструкциями и подлежат периодической замене. Наиболее частыми повреждениями балок являются коррозия металла (25,7 %), расстройство креплений (19,6 %) и местные погибы полков и ребер жесткости (4,3 %).

После усреднения данных о повреждаемости по 10 годам (рис. 6) установлено, что балки менялись с периодичностью около 20 лет.

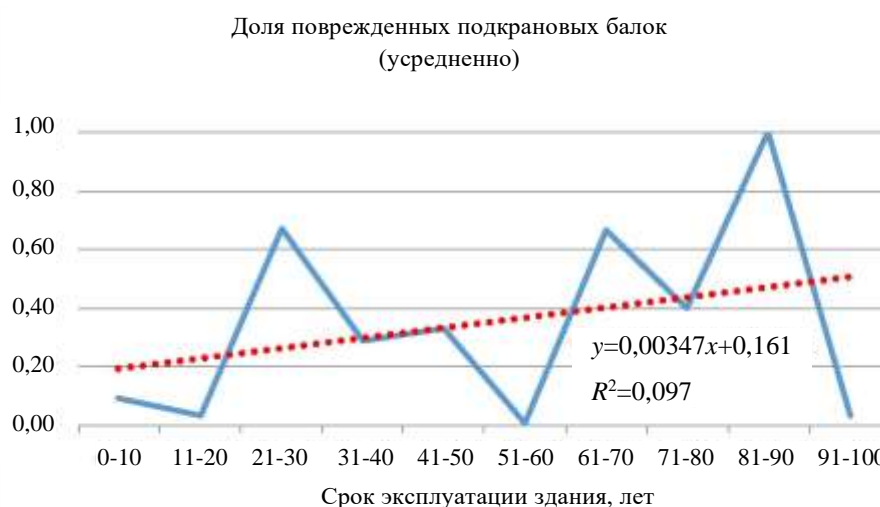


Рис. 6. Зависимость усредненной поврежденности подкрановых балок от сроков эксплуатации здания (с учетом замены)

Из ломаного графика следует, что минимальные значения поврежденности соответствуют 20, 40, 60, 80 годам эксплуатации зданий. Временной тренд показывает, что с увеличением сроков эксплуатации интенсивность повреждений подкрановых балок возрастает, что, вероятно, связано со снижением общей жесткости каркаса со временем [8, 16].

Такая периодичность замены балок подтверждается исследованиями [17, 18], в которых было установлено появление трещин в первые 20 лет эксплуатации балок. При эксплуатации 25–50 лет количество балок с трещинами увеличивается до четверти. При подстановке в линейную модель (рис. 6) времени эксплуатации 25 лет получим повреждаемость подкрановых балок 24,8 %, что практически совпадает с данными [17].

Анализ показал, что срок эксплуатации подкрановых балок можно разбить на условно-постоянные временные периоды: при эксплуатации до 25 лет средняя повреждаемость балок достигает 30 %, следствием чего является выполнение ремонтно-восстановительных работ, приводящих к снижению количества поврежденных конструкций в два раза [6]. Как видно из графика, такие условно-постоянные временные периоды составляют около 20 лет. Вместе с тем при интенсивной работе кранов периоды ремонта и замены подкрановых балок сокращаются до 5–10 лет [9].

Обсуждение и заключение. Результаты исследования корреляций поврежденности и сроков эксплуатации основываются на ранее проведенных и опубликованных авторских исследованиях частотности повреждений конструкций промышленных зданий [14]. Скорость повреждений стальных колонн промышленных зданий больше, чем у железобетонных. Интенсивность повреждений стальных колонн описывается экспоненциальной зависимостью, а железобетонных — линейной. Зависимость «повреждаемость — сроки эксплуатации» железобетонных перекрытий и покрытий аппроксимируется полиномом второй степени, близким к линейной зависимости 1 % в год. Такая же линейная повреждаемость характерна и для стальных ферм. Кирпичные и железобетонные стены

повреждаются по линейной зависимости от сроков эксплуатации и примерно с равной интенсивностью — 0,7 % в год. Подкрановые балки являются самыми повреждаемыми конструкциями каркаса и подлежат периодической замене усредненно через 20 лет эксплуатации (конкретная периодичность зависит от режима работы кранов). Повреждаемость подкрановых балок прямо не зависит от сроков эксплуатации самого здания. Временной тренд показал, что с увеличением сроков эксплуатации здания интенсивность повреждений подкрановых балок возрастает, что, вероятно, связано со снижением со временем общей жесткости каркаса и износом грузоподъемного оборудования.

По результатам исследования выборки промышленных зданий установлены неявные особенности накопления повреждаемости. Так для получивших распространение стальных колонн и ферм покрытия, в сравнении железобетонными, отмечено наличие дефектов и повреждений уже на начальном этапе эксплуатации. Поврежденность на интервале периода эксплуатации от 0 до 10 лет для колонн составляет 10 % от общего количества колонн, поврежденность ферм покрытия составляет 19–32% от общего количества ферм. Более того, поврежденность стальных колонн зданий в возрасте до 10 лет оказалась больше, чем для зданий эксплуатируемых 10–20 лет. Очевидно, что наличие дефектов и повреждений на начальном этапе эксплуатации связано ошибками исполнителей при выполнении СМР и приемочного контроля. Металлические конструкции на стадиях складирования, монтажа и при устройстве инженерных систем получают повреждения и накапливают дефекты (погибы полок, повреждения защитной грунтовки, огнезащиты, дефекты болтовых и сварных соединений), не устраняемые своевременно до ввода объекта в эксплуатацию. Анализом обследований и экспертиз отмечено влияние качества устройства фундаментов под колонны на каркас здания — отклонения приводят к нестыковкам отверстий, зазорам в соединяемых элементах металлического каркаса, появляющиеся на стадии сборки ввиду отсутствия разработанных в составе ПД рекомендаций по их устранению, отсутствия дополнительных плоских и клиновидных прокладок и удлиненных болтов в составе нормокомплектов.

Для увеличения срока безопасной эксплуатации и интервалов между ремонтами для вновь возводимых промышленных зданий с металлическим каркасом необходимо заблаговременно проектом или в рамках сопровождения предусматривать меры по снижению количества дефектов и повреждений. Целесообразно применять риск-ориентированный подход к определению таких мер, учитывающий прогнозируемую вероятность возникновения ошибок исполнителей, частотность дефектов и повреждений и стоимость восстановительных мероприятий [19].

В результате исследования частотности повреждений были получены математические модели «поврежденность — срок эксплуатации», которые могут быть использованы для оптимизации технического обслуживания, планирования экспертиз, периодических осмотров, текущих и капитальных ремонтов зданий, разработки стратегии предприятий по замене основных производственных фондов.

Список литературы/ References

1. Травуш В.И., Гурьев В.В., Дмитриев А.Н., Дорофеев В.М., Волков Ю.С. О концепции развития нормативно-технической базы строительных объектов в период их эксплуатации. *Academia. Архитектура и строительство*. 2021;1:121–133. <https://doi.org/10.22337/2077-9038-2021-1-121-133>
- Travush VI, Guriev VV, Dmitriev AN, Dorofeev VN, Volkov YuS. On the Concept of Development of the Regulatory and Technical Base of Construction Objects during their Operation. *Academia. Architecture and Construction*. 2021;(1):121–133. (In Russ.) <https://doi.org/10.22337/2077-9038-2021-1-121-133>
2. Махутов Н.А., Лобов О.И., Ерёмин К.И. *Безопасность России. Безопасность строительного комплекса*. М.: Знание; 2012. 798 с.
- Mahutov NA, Lobov OI, Eremin KI *Safety of Russia. Construction Industry Safety*. Moscow: MGOF Znanie 2012. 798 p. (In Russ.)
3. Ерёмин К.И. (ред.) *Предотвращение аварий зданий и сооружений*. Вып. 7. М.: МДП; 2008. 360 с.
- Eryomin KI (ed.) *Prevention of Accidents of Buildings and Structures. Issue 7*. Moscow: MDP; 2008. 360 p. (In Russ.)
4. Ерёмин К.И. (ред.) *Предотвращение аварий зданий и сооружений*. Вып. 8. М.: МДП; 2009. 580 с.
- Eryomin KI (ed.) *Prevention of Accidents of Buildings and Structures. Issue 8*. Moscow: MDP; 2009. 580 p. (In Russ.)
5. Перельмутер А.В. *Избранные проблемы надежности и безопасности строительных конструкций*. М.: АСВ; 2007. 256 с.
- Perel'muter AV *Problems of Reliability and Safety of Buildings*. М.: ASV; 2007. 256 с. (In Russ.)
6. Коротеев Д.В., Новак А.П. *Предупреждение характерных аварий и несчастных случаев в строительстве*. М.: Стройиздат; 1974. 263 с.
- Koroteev DV *Prevention of Typical Accidents and Incidents in Construction*. Moscow: Stroyizdat; 1974. 263 p. (In Russ.)
7. Алексеева Е.Л. *Оценка технического состояния строительных конструкций на основе закономерностей повреждаемости главных корпусов предприятий теплоэнергетики*. Автореф. дис. канд. техн. наук. М.: МГСУ; 2012. 20 с.

Alekseeva EL *Building Structures Technical Assessment Based on the Characteristics of Damage to the Main Buildings of Thermal Power Plants*. Abstract of the dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences, Moscow: MSUCE; 2012. 20 p. (In Russ.)

8. Ерёмин К.И. (ред.) *Предотвращение аварий зданий и сооружений*. Вып. 9. М.: МДП; 2009. 704 с.

Eryomin KI (ed.) *Prevention of Accidents of Buildings and Structures. Issue 9*. Moscow: MDP; 2009. 704 p. (In Russ.)

9. Кикин А.И., Васильев А.А., Кошутин Б.Н., Уваров Б.Ю. *Повышение долговечности металлических конструкций промышленных зданий*. М.: Стройиздат, 1984. 303 с.

Kikin AI, Vasil'yev AA, Koshchitin BN *Increasing the Durability of Steel Structures of Industrial Buildings*. Moscow: Stroyizdat, 1984. 303 p. (In Russ.)

10. Krahmalny T.A., Evtushenko S.I. Damage to the Vertical Braces of Industrial Buildings. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2021;1079(5):052086. <http://doi.org/10.1088/1757-899X/1079/5/052086>

11. Евтушенко С.И., Крахмальный Т.А. Дефекты и повреждения металлических колонн производственных зданий. *Строительство и архитектура*. 2021;9(2):11–15. <https://doi.org/10.29039/2308-0191-2021-9-2-11-15>

Evtushenko SI, Krahmalnyu TA Defects and Damages of Metal Columns of Industrial Buildings. *Construction and Architecture*. 2021;9(2):11–15 (In Russ.) <https://doi.org/10.29039/2308-0191-2021-9-2-11-15>

12. 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;896(1):012044 <https://doi.org/10.1088/1757-899X/896/1/012044>

13. Krahmalny T.A., Evtushenko S.I. Typical defects and damage to the industrial buildings' facades. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020;775(1):012135 <http://doi.org/10.1088/1757-899X/775/1/012135>

14. Байбурин Д.А., Тупицына Д.С. Частотность дефектов и повреждений промышленных зданий. *Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура»*. 2022;22(1):23–32. <https://vestnik.susu.ru/building/article/view/11753> (дата обращения: 08.04.2026).

Bayburin D.A., Tupitsyna D.S. Frequency of Defects and Damages of Industrial Buildings. *Bulletin of South Ural State University. Series "Construction Engineering and Architecture"*. 2022;22(1):23–32. (in Russ.) URL: <https://vestnik.susu.ru/building/article/view/11753> (accessed: 08.04.2026).

15. Веселов В.В., Абу-Хасан М.С. Повреждаемость и резервы несущей способности каркасов промышленных зданий. *БСТ: Бюллетень строительной техники*. 2022;1051(3):56–58. URL: <http://bstmag.ru/archive/view?id=265> (дата обращения: 08.04.2026).

Veselov VV, Abu-Hasan VS Damageability and Bearing Capacity Reserves of Industrial Building Frames. *Construction Technics Bulletin*. 2022;1051(3):56–58. (In Russ.) URL: <http://bstmag.ru/archive/view?id=265> (accessed: 08.04.2026)

16. Шишов К.А. Промышленные сооружения В.Г. Шухова на Урале. В кн.: *Металлические конструкции академика В.Г. Шухова*. М.: Наука; 1990. 112 с.

Shishov KA, Shuhov's VG Industrial Constructions of Ural. *Steel Constructions of Academic V.G. Shuhov*. Moscow: Nauka; 1990. 112 p. (In Russ.)

17. Ерёмин К.И. (ред.) *Особенности эксплуатации металлических конструкций промышленных зданий*. М.: МГСУ; 2012. 248 с.

Eryomin KI (ed.) *Steel Structures of Industrial Buildings Operation Features*. Moscow: MSUCE; 2012. 248 p. (In Russ.)

18. Ерёмин К.И., Кунин Ю.С., Матвеюшкин С.А., Алексева Е.Л. *Атлас дефектов и повреждений эксплуатируемых строительных конструкций*. Магнитогорск: ВЕЛД; 2010. 162 с.

Eryomin KI, Kunin YuS, Matveyushkin SA, Alekseyeva EL *Atlas of Defects and Damages of Exploited Building Structures: Educational and Methodical Manual*. Magnitogorsk: VELD; 2010. 162 p. (In Russ.)

19. Байбурин Д.А., Потапов А.Н. Риск-ориентированный метод обследования технического состояния промышленных зданий. *Известия вузов. Строительство*. 2026;(3);112–127. <http://doi.org/10.32683/0536-1052-2026-807-3-112-127>

Baiburin DA, Potapov NA Risk-Based Technical Condition Inspection Method for the Industrial Buildings. *News of Higher Educational Institutions. Construction*. 2026;(3);112–127. (In Russ.) <http://doi.org/10.32683/0536-1052-2026-807-3-112-127>

Об авторах:

Байбурин Денис Альбертович, старший преподаватель кафедры строительного производства и теории сооружений Южно-Уральского государственного университета (454080, Российская Федерация, г. Челябинск, пр. Ленина, 76), [ResearcherID](#), [ScopusID](#), [ORCID](#), baiburinda@susu.ru

Потапов Александр Николаевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры строительного производства и теории сооружений Южно-Уральского государственного университета (454080, Российская Федерация, г. Челябинск, пр. Ленина, 76), [ResearcherID](#), [ScopusID](#), [ORCID](#), potapovan@susu.ru

Заявленный вклад соавторов:

Д.А. Байбурин: поиск и анализ литературы, разработка цели и задачи исследования, подготовка и обработка статистического материала, подготовка основного текста, формирование выводов.

А.Н. Потапов: научное руководство, анализ результатов исследований, корректировка выводов.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

About the Authors:

Denis A. Baiburin, Senior Lecturer of the Department of Building Technologies and Structural Engineering, South Ural State University (76 Lenin Ave., Chelyabinsk, 454080, Russian Federation), [ResearcherID](#), [ScopusID](#), [ORCID](#), baiburinda@susu.ru

Alexander N. Potapov, D.Sc.(Eng.), Professor, Professor of the Department of Building Technologies and Structural Engineering, South Ural State University (76 Lenin Ave., Chelyabinsk, 454080, Russian Federation), [ResearcherID](#), [ScopusID](#), [ORCID](#), potapovan@susu.ru

Claimed contributorship:

DA Baiburin: search and analysis of the literature, development of the aims of the research, preparation and processing of the statistical material, preparation of the main manuscript, formation of the conclusions.

AN Potapov: scientific supervision, analysis of the research results, correction of the conclusions.

Conflict of interest statement: the authors do not have any conflict of interest.

All authors have read and approved the final version of manuscript.

Поступила в редакцию / Received 09.04.2026

Поступила после рецензирования / Reviewed 29.04.2026

Принята к публикации / Accepted 18.05.2026