

СПОСОБЫ РАНЖИРОВАНИЯ ДЕФЕКТОВ И ПОВРЕЖДЕНИЙ КОНСТРУКЦИЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ

Д.А. Байбурина✉

Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

✉ baiburinda@susu.ru

Аннотация. Цель исследования – разработка методов ранжирования дефектов и повреждений промышленных зданий по степени значимости и усовершенствование их классификации с учетом критериев риска. Объект исследования – промышленные здания. Предмет исследования – параметры дефектов и повреждений зданий и критерии их оценки. Методы исследования основаны на нормативных расчетах конструкций, методологии оценки их технического состояния. В результате работы предложены различные критерии для оценки критичности дефектов и повреждений. Усовершенствована и расширена классификация дефектов и повреждений с учетом параметров риска и возможности кодификации в различных цифровых моделях зданий. Практическая значимость заключается в применении риск-ориентированного подхода для ранжирования несоответствий, что является основой для разработки научно обоснованной программы эксплуатационных ремонтов зданий.

Ключевые слова: промышленные здания, обследование, дефекты, повреждения, техническое состояние, конструктивная надежность, риск, безопасность

Для цитирования. Байбурина Д.А. Способы ранжирования дефектов и повреждений конструкций промышленных зданий // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». 2026. Т. 26, № 2. С. 39–47. DOI: 10.14529/build260205

Original article
DOI: 10.14529/build260205

METHODS FOR RANKING DEFECTS AND STRUCTURAL DAMAGES IN INDUSTRIAL BUILDINGS

D.A. Baiburina✉

South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

✉ baiburinda@susu.ru

Abstract. The purpose of the study is to develop methods for ranking defects and damages in industrial buildings by the degree of importance and to improve their classification, taking into account risk criteria. The object of the study is industrial buildings. The subject of the study is the parameters of defects and damages of buildings and criteria for their assessment. The research methods are based on normative calculations of structures and a methodology for assessing their technical condition. As a result of the research, various criteria for assessing the criticality of defects and damages have been proposed. The classification of defects and damages has been improved and expanded, taking into account risk parameters and the possibility of codification in various digital models of buildings. The practical significance lies in the application of a risk-based approach to ranking nonconformities, which forms the basis for the development of a scientifically based program of operational repairs of buildings.

Keywords: industrial buildings, inspection, defects, damages, technical condition, constructive reliability, risk, safety

For citation. Baiburina D.A. Methods for ranking defects and structural damages in industrial buildings. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*. 2026;26(2):39–47. (in Russ.). DOI: 10.14529/build260205

Введение

В Государственном реестре опасных производственных объектов (ОПО) зарегистрировано около 1500 предприятий. Построенные в основном 50–60 лет назад здания ОПО характеризуются большим износом. Нагрузки на конструкции зданий увеличились как за счет ремонтов кровли и модернизации грузоподъемного оборудования, так и ввиду увеличения нормативной снеговой нагрузки. Повреждения промышленных зданий и сооружений могут привести (и приводят) к серьезным экономическим и социальным ущербам.

К основным дефектам строительных конструкций производственных зданий относятся [1]: повреждение защитных покрытий и коррозия металла; деформации ветвей колонн; вырезы в элементах вертикальных связей, тормозных ферм; локальные и общие погибы стержней стропильных ферм и фонарей; разрушение кровельного ковра и плит покрытий; утрата эксплуатационных свойств устаревших утеплителей (фибролит, шлак, керамзит и пр.). Согласно исследованиям, большинство повреждений промышленных зданий сосредоточено в несущих и ограждающих конструкциях, чаще всего в стропильных фермах и покрытиях, подкрановых балках, а также в наружных стенах и кровле [2, 3].

К основным причинам повреждений относят: несвоевременное восстановление антикоррозионной защиты конструкций; нарушение технологических режимов и протечки в технологическом оборудовании; нарушение сроков проведения ремонтных работ (особенно кровли); неудовлетворительное содержание территории вблизи здания; изменения конструктивных решений при капитальных ремонтах [4].

Наиболее полный анализ дефектов и повреждений промышленных зданий выполнен в работах [5, 6]. Лишь немногие работы связывают величины повреждений с категориями технического состояния [7]. Мало внимания обращалось ранжированию повреждений по степени их влияния на прочность и надежность конструкций, что является основой современных риск-ориентированных подходов к эксплуатации зданий и сооружений. Целью данной работы является восполнение указанного пробела в исследованиях, а именно разработка методов ранжирования дефектов и повреждений по степени значимости и их комплексной классификации по степени риска. Методы исследования основаны на нормативных расчетах конструкций, методологии оценки их технического состояния.

Ранжирование повреждений по критерию риска

В предыдущих авторских исследованиях были получены частоты дефектов и повреждений конструкций промышленных зданий [6]. Кроме частоты важными параметрами, влияющими на значимость повреждений и программу эксплуатационного обслуживания зданий, являются опас-

ность последствий повреждения и вероятность его оперативного обнаружения. Произведение вероятности повреждения (частоты) на их значимость в виде ущерба характеризует риск.

Поэтому систематизацию повреждений предлагается проводить на основе методики FMEA ГОСТ 27.310-95 «Надежность в технике. Анализ видов, последствий и критичности отказов» и стандарта МЭК IEC 60812:2006. При этом критичность повреждения C_D оценивается произведением: $C_D = D_1 \cdot D_2 \cdot D_3$, где D_1, D_2, D_3 – оценки в баллах соответственно частоты повреждения, значимости по последствиям и вероятности выявления повреждения, определяемые в баллах по соответствующим таблицам FMEA, адаптированным к конкретным объектам.

Оценку повреждения с учетом значимости, частотности и вероятности обнаружения C_D можно называть комплексным риском повреждения, а количественный показатель комплексного риска C_D – приоритетным числом риска. Граничное значение для приоритетного числа риска устанавливают обычно в пределах от 100 до 125 [8]. Повреждения подразделяют на три класса: критические, значительные и малозначительные, аналогично классификации дефектов, принятой в процедурах госстройнадзора. В РД 22-01-97 в системе Ростехнадзора принята аналогичная классификация: дефекты и повреждения категорий опасности «А», «Б», «В». Предлагается следующая классификация повреждений по критерию риска: критические ($C_D > 125$), значительные ($C_D = 50 \dots 125$), малозначительные ($C_D < 50$).

Результаты анализа позволяют оперативно оценить критичность повреждений, выполнить их ранжирование, обосновать программу превентивных мероприятий по предупреждению повреждений, назначить программу эксплуатационного контроля и обслуживания.

По данным исследования частотности выполним ранжирование повреждений железобетонных колонн по степени критичности. При этом частота повреждений была ранее определена по данным обследования 100 объектов. Установлено, что самым частым повреждением колонн являются сколы бетона – 25,3 %. Распределение сколов бетона по величине таково: 10–20 мм – 55,4 %; 21–40 мм – 29,7 %; 41–100 мм – 14,9 %. Сколы свыше 20–25 мм обычно сопровождаются оголением рабочей арматуры колонн. Таким образом, сколы бетона с оголением арматуры составляют $25,3 \cdot (0,75 \cdot 0,297 + 0,149) = 9,4$ %, а сколы без оголения арматуры – 15,9 %. На втором месте – замачивание различной степени интенсивности (12 %): слабое увлажнение – 5,3 %, увлажнение средней степени – 6,7 % и сильное замачивание – 0,03 %. На третьем месте – трещины (7,7 %) величиной от 0,1 до 4,0 мм. Трещины возникают в основном в процессе усадки бетона и размещены вдоль хомутов арматурных каркасов и рабочих стержней. На четвертом месте – разруше-

ние защитного слоя бетона (3,2 %) на глубину от 40 до 80 мм, которое происходит чаще всего от коррозии в результате замачивания бетона или от механических воздействий.

Результаты анализа критичности повреждений железобетонных колонн представим в табл. 1.

Весомости повреждений, приведенные в последнем столбце табл. 1, рассчитывались как отношение критичности i -го повреждения к сумме C_i рассматриваемых видов повреждений.

Количественный анализ по рангу B необходимо сделать для повреждений в виде сколов и трещин в бетоне. Причины указанных повреждений должны быть дополнительно изучены. Для повреждений ранга C достаточно ограничиться качественным анализом. По весомости относительного риска приоритетными для устранения являются: отклонение от вертикали (0,44); трещины в бетоне (0,16); оголение и коррозия арматуры (0,13). Отклонение колонн от вертикали по показателю критичности $C_D = 168$ выходит за границы допустимого риска.

Нормирование повреждений по уровню надежности

Нормирование уровня повреждений предлагается производить по методике, предложенной А.Н. Добромысловым [9], по степени снижения запаса, обеспеченного нормативными коэффициентами надежности по ГОСТ 27751-2014: по материалам γ_m , нагрузкам γ_f , условиям работы γ_d и ответственности сооружения γ_n . Общий коэффициент надежности $\gamma_0 = \gamma_m \gamma_f \gamma_d \gamma_n$. Учитывая большое разнообразие коэффициентов условий работы различных конструкций, примем для сравнительных расчетов $\gamma_d = 1$.

Предложенный подход органически вытекает из сути оценки технического состояния конструкции с учетом деградации свойств материалов, снижения сопротивления R и изменения эксплуатационных нагрузок N (см. рисунок).

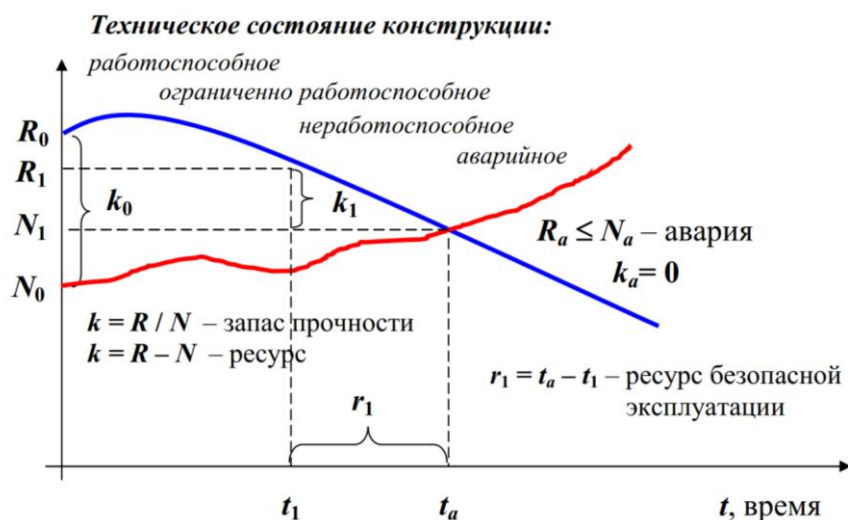
Рост нагрузки может происходить в результате изменения технологии, ремонта кровельных покры-

Таблица 1

Анализ критичности повреждений железобетонных колонн

Вид повреждения колонн	$f, \%$	D_1	D_2	D_3	C_D	Ранг	Категория риска	Весомость повреждения
Сколы бетона без оголения арматуры	15,9	7	2	1	14	B	V	0,0366
Сколы бетона с оголением арматуры	9,4	6	4	1	24	B	III	0,0628
Трещины в бетоне	7,7	6	5	2	60	B	III	0,1571
Замачивание бетона	6,7	6	3	1	18	C	IV	0,0471
Слабое увлажнение бетона	5,3	5	1	2	10	C	V	0,0262
Коррозия защитного слоя бетона	3,2	5	2	3	30	C	IV	0,0785
Оголение и коррозия арматуры	0,8	4	4	3	48	C	III	0,1257
Отклонение от вертикали	0,7	4	6	7	168	C	III	0,4398
Сильное замачивание бетона	0,03	2	5	1	10	C	III	0,0262

Примечание: f – частотность повреждения; D_1, D_2, D_3 – балльные оценки соответственно частоты, значимости и вероятности выявления повреждения; C_D – критичность повреждения; A, B, C, D – ранги повреждений, назначаемые в зависимости от категории значимости и ожидаемой частоты по методу FMEA. В отличие от категорий они определяют корректирующие действия.



Принцип оценки технического состояния конструкций

тий, установки нового грузоподъемного оборудования и т. д. По степени снижения коэффициента запаса прочности конструкцию относят к определенной категории технического состояния.

Запас несущей способности можно выразить через коэффициенты надежности следующим образом:

$$k = \frac{R}{N} = \frac{\gamma_f \gamma_n}{\gamma_m \gamma_d}. \quad (1)$$

Это следует из условия предельного состояния $R\gamma_m\gamma_d \geq N\gamma_f\gamma_n$. Согласно п. 10.3 ГОСТ 27751–2014 на γ_n следует умножать нагрузочные эффекты при расчете по первой группе предельных состояний. Поскольку в процессе эксплуатации идут разнонаправленные процессы снижения сопротивления R и увеличения нагрузок N , то общий начальный коэффициент запаса прочности выражается произведением $\gamma_0 = \gamma_m\gamma_f\gamma_d\gamma_n$.

Следуя изложенному подходу, проанализируем последствия исчерпания запасов прочности при различных категориях повреждений. Разделим повреждения на категории согласно РД 22-01-97: категория «А» – дефекты и повреждения особо ответственных элементов и соединений, представляющие опасность разрушения; категория «Б» – дефекты и повреждения, не грозящие в момент осмотра опасностью разрушения конструкций, но способные в дальнейшем (по мере их развития) вызвать повреждения других элементов и узлов или при развитии перейти в категорию «А»; категория «В» – дефекты и повреждения локального характера, которые либо не развиваются, либо при последующем развитии не могут оказать влияния на другие элементы конструкций.

По опасности прогрессирующего обрушения категории могут быть дополнительно разделены: категория «А» – дефекты и повреждения, представляющие опасность прогрессирующего обрушения как по виду, так и по величине повреждения; категория «Б» – дефекты и повреждения, не грозящие опасностью прогрессирующего обрушения по величине, но способные по мере их развития перейти в категорию «А»; категория «В» – дефекты и повреждения локального характера, не представляющие опасность прогрессирующего обрушения как по виду, так и по величине.

При категории повреждения «В» может быть допущено исчерпание запаса по расчетному сопротивлению γ_{m1} , но при этом сохраняется запас по браковочному минимуму сопротивления (квантиль браковочного минимума 1,64). Общий коэффициент надежности при этом будет снижен на величину γ_0/γ_{m1} , а относительная надежность конструкции будет равна $\Delta\gamma = \gamma_0/\gamma_0/\gamma_{m1} = 1/\gamma_{m1}$. Для железобетонных конструкций при расчете по бетону получим $\Delta\gamma = 1/1,3 = 0,769$. Выражая величину поврежденности конструкции через ее относительную надежность

$d = 1 - \Delta\gamma$, будем иметь для этого случая $d = 0,23$. При расчете по арматуре соответственно получим $\Delta\gamma = 1/1,1 = 0,909$ и $d = 0,09$.

При категории повреждения «Б» резервы прочности будут полностью использованы $\gamma_m = 1$, но запас по нагрузке еще сохраняется и $\gamma_f = 1,15$. Общий запас будет снижен на величину γ_0/γ_m , при этом относительная надежность снижается до $\Delta\gamma = \gamma_0/\gamma_0/\gamma_m = 1/\gamma_m = 0,599$, а величина поврежденности увеличивается до $d = 0,40$.

При развитии повреждения в категорию «А» исчерпан запас по нагрузке $\gamma_f = 1$ и относительная надежность снижается до значения $\Delta\gamma = 1/(\gamma_m\gamma_f) = 0,521$.

Расчеты относительной надежности для сооружений класса КС-2 и второй группе конструкций по повреждаемости (при $\gamma_n = \gamma_e = 1$) приведены в табл. 2.

Как видим, для прочных и легких стальных конструкций высока доля временной нагрузки, имеющей значительную вариацию, поэтому и коэффициент надежности по суммарной нагрузке больше. Для тяжелой и относительно малопрочной каменной кладки доля постоянной нагрузки велика, вариация полной нагрузки небольшая и, соответственно, запас по суммарной нагрузке меньше.

Усредняя результаты по арматуре и бетону, установим критерии оценки повреждений для рассматриваемых видов конструкций (табл. 3).

Таким образом, категории опасности повреждений по критерию относительной надежности или степени поврежденности конструкций зависят от вида материала конструкций и нормативных запасов сопротивления, обусловленных коэффициентами надежности, принятых в методе предельных состояний. Чем однороднее материал, тем меньше нормативные запасы сопротивления и допустимая степень повреждений.

Техническое состояние конструкций, имеющих дефекты и повреждения категории «В», обычно характеризуют как работоспособное. При повреждениях категории «В» и «Б» состояние оценивают как ограниченно работоспособное. Повреждения конструкций категории «А» приводят к неработоспособному или аварийному состоянию.

В современных исследованиях [10, 11] для оценки технического состояния конструкций применяют различные показатели надежности и безопасности. Так, для железобетонных конструкций кроме снижения запаса прочности целесообразно использовать критерии увеличения трещин и деформаций, а также снижения характеристики безопасности и увеличения вероятности отказа. Используя полученные результаты и данные исследований С.И. Меркулова [11], можно предложить расширенную систему критериев оценки технического состояния железобетонных конструкций (табл. 4).

Таблица 2

Расчет оценочных критериев дефектов и повреждений

Расчетная характеристика	Вид строительных конструкций			
	стальные	железобетонные при расчете		каменные
		по арматуре	по бетону	
Коэффициент надежности:				
– по нагрузке γ_f	1,26	1,15	1,15	1,10
– по материалу γ_{m1}	1,05	1,10	1,30	1,40
– полный по материалу γ_m	1,186	1,243	1,670	2,00
– общий γ_0	1,495	1,429	1,920	2,20
Вариация прочности V_R	0,07	0,07	0,135	0,15
Квантиль браковочного минимума	1,64	1,64	1,64	2,00
Надежность $\Delta\gamma$ для повреждения:				
– категории «В» $\Delta\gamma = 1/\gamma_{m1}$	0,952	0,909	0,769	0,714
– категории «Б» $\Delta\gamma = 1/\gamma_m$	0,843	0,805	0,599	0,500
– категории «А» $\Delta\gamma = 1/(\gamma_m\gamma_f)$	0,669	0,700	0,521	0,455

Примечания: 1. Согласно п. 7.2 ГОСТ 27751 обеспеченность нормативных значений прочности материалов должна быть не ниже 0,95, что соответствует квантилю браковочного минимума 1,64. Для каменных конструкций в нормах проектирования на основании статистических данных принят коэффициент вариации прочности $V_R = 0,15$, квантиль $u_{0,98} = 2$ при обеспеченности 0,98.

2. Для сооружений класса КС-3 и первой группы конструкций по повреждаемости расчетные значения относительной надежности необходимо умножить на 1,1.

Таблица 3

Нормирование повреждений по уровню надежности

Характеристики для видов конструкций	Исчерпание запаса прочности для категории повреждения		
	«В»	«Б»	«А»
Относительная надежность $\Delta\gamma$:			
– стальные	Св. 0,95	0,85...0,95	0,70...0,85
– железобетонные	Св. 0,85	0,70...0,85	0,60...0,70
– каменные	Св. 0,70	0,50...0,70	0,45...0,50
Поврежденность $d = 1 - \Delta\gamma$:			
– стальные	Менее 0,05	0,05...0,15	0,15...0,30
– железобетонные	Менее 0,15	0,15...0,30	0,30...0,40
– каменные	Менее 0,30	0,30...0,50	0,50...0,55

Классификация повреждений по критерию риска

При обследовании, экспертизе и технической эксплуатации зданий и сооружений дефекты и повреждения можно классифицировать по разным признакам: относительно видов конструкций; по категории технического состояния; по степени критичности; по категории рисков; по срочности ремонта и т. д.

С учетом вышеизложенного классификацию дефектов и повреждений предложено выполнять по следующим признакам: тип конструкций; вид повреждений и дефектов; величина повреждений и дефектов; частота повреждений и дефектов; критичность повреждений и дефектов; вероятность обнаружения повреждений и дефектов; ранг несоответствия (тип управляющего решения).

Каждый признак имеет определенные реализации.

1. Тип конструкций: а) основание; б) фундамент; в) колонны; г) стены/перегородки; д) подкрановые балки; е) подстропильные фермы/балки; ж) стропильные фермы/балки; з) прогоны/балки; и) покрытие/перекрытия/фонари; л) кровля; м) окна/двери/ворота; н) конструкции инженерных систем.

2. Вид повреждений и дефектов (основные виды): а) сколы и раковины; б) вырезы/задиры/выкрошивания/уменьшение сечения; в) трещины; г) коррозия/утрата защитных покрытий; д) локальные погибы; е) общие изгибы/прогибы/изменение формы; ж) отклонения от проектного положения; з) нарушения опирания; и) разрушение связей/узлов/швов; л) переувлажнение; м) износ

Таблица 4

Критерии оценки повреждений железобетонных конструкций

Категории технического состояния	Коэффициенты надежности			Показатели безопасности		
	$\Delta M = M/M_u$	$\Delta f = f/f_u$	$\Delta a = a_{crc}/a_{crc,u}$	β	K_β	P_f
Исправное (нормативное)	1,00	1,0	1,0	4,753	1,00	10^{-6}
Работоспособное	0,90	1,2	1,2	4,265	0,90	10^{-5}
Ограниченно работоспособное	0,85	1,4	1,5	3,719	0,78	10^{-4}
Неработоспособное	0,70	1,7	2,0	3,090	0,65	10^{-3}
Аварийное (предельное)	0,60	2,0	2,5	2,327	0,49	10^{-2}

Примечание: ΔM , Δf , Δa – коэффициенты надежности по несущей способности, деформациям и раскрытию трещин; M , f , a_{crc} – параметры конструкции с учетом накопленных повреждений и фактического состояния; M_u , f_u , $a_{crc,u}$ – расчетные параметры при проектных нагрузках; β – характеристика безопасности по А.Р. Ржаницыну; K_β – показатель снижения β ; P_f – вероятность отказа.

структуры материала; л) химические повреждения; м) биологические повреждения.

3. Величина повреждений/дефектов от наблюдаемого/возможного/нормативного диапазона значений: а) до 1 %; б) от 1 до 10 %; в) от 10 до 25 %; г) от 25 до 50 %; д) от 50 до 100 %.

4. Частота повреждений и дефектов: а) очень редкие; б) редкие; в) возможные; г) частые; д) очень частые.

5. Критичность повреждений и дефектов: а) незначительные; б) малозначительные; в) значительные; г) критические; д) катастрофические.

6. Вероятность обнаружения повреждений и дефектов: а) очень высокая; б) высокая; в) умеренная; г) малая; д) очень малая.

7. Ранг по классу управляющего решения: а) А – количественный анализ на всех этапах ЖЦ; б) В – количественный анализ; в) С – качественный анализ; г) D – анализ не требуется.

Преимущества предложенной классификации по сравнению с известными: полнота (390 тысяч потенциальных вариантов); риск-ориентированный подход; возможность кодификации дефектов и повреждений для электронной фиксации (BIM, цифровые модели, электронные паспорта и системы документооборота).

Например, повреждение в виде местного погиба $f = 20/L = 200$ мм сжатого стержня стропильной фермы будет иметь кодификацию: 1g-2e-3d-4d-5c-6a-7a; трещины до 0,2 мм в железобетонной плите перекрытия – 1i-2c-3c-4c-5c-6b-7a; коррозия до 0,5 мм стальной профнастила покрытия – 1i-2d-3d-4e-5d-6c-7a.

Ранее автором были изучены частотность и величины повреждений основных конструкций промышленных зданий [6]. Частоту повреждений и дефектов предлагается классифицировать следующим образом: очень редкие – до 1 %; редкие – от 1 до 10 %; возможные – от 10 до 25 %; частые – от 25 до 50 %; очень частые – от 50 до 100 %.

Так, например, для железобетонных колонн на основании проведенных натурных исследований на большой выборке объектов определена частотность повреждений и дефектов: возможные – сколы бетона; редкие – трещины, замачивания, разрушение защитного слоя бетона, раковины, внецентренное нагружение; очень редкие – оголение и коррозия арматуры, отклонения от вертикали.

Стальные колонны: частые – коррозия металла; возможные – локальные погибы; редкие – вырезы в полках, вырезы и общий изгиб элементов решетки; очень редкие – выгибы стенки двутавра.

Стальные подкрановые балки: частые – коррозия металла; возможные – расстройство узлов креплений; редкие – непроектное крепление, утрата болтов креплений, отклонение от вертикали, износ антикоррозионного покрытия, скопления едкой пыли; очень редкие – трещины в шве верхней полки, деформация ребер жесткости, вырезы в тормозном настиле, трещины в стенке.

Стальные стропильные фермы: частые – коррозия металла; редкие – скопления едкой пыли и окарины, общий изгиб элементов, внеузловая передача нагрузки, износ антикоррозионного покрытия, вырезы в полках элементов; очень редкие – смещение ферм на опоре, отрыв сварных швов.

Железобетонные плиты покрытий и перекрытий: очень частые – замачивание, коррозия бетона; редкие – разрушение защитного слоя бетона, оголение и коррозия арматуры, коррозионные трещины; очень редкие – сколы бетона, пробойны в полках плит.

Каменные стены: возможные – эрозия, размораживание кладки, утрата оконных отливов, трещины, замачивания; редкие – утрата защиты парапета, вывалы и сколы, разрушение отделки, отклонение от вертикали/выпучивания.

Вероятность выявления повреждений определяется по табл. 5.

Соответствие различных критериев и их связь с категориями технического состояния указаны в табл. 6.

Таблица 5

Оценка вероятности выявления повреждений в процессе эксплуатации

Виды повреждений по вероятности обнаружения в процессе эксплуатации	Доступность для контроля	Методы обнаружения	Вероятность выявления повреждения
Очень высокая вероятность обнаружения повреждения в результате эксплуатационного контроля	Явные, в доступных местах	Визуальный осмотр	Более 0,95
Высокая вероятность обнаружения повреждения. Незначительное число повреждений может быть не обнаружено в результате эксплуатационного контроля	Явные, в малодоступных местах	Технический осмотр без вскрытия защитных слоев/отделки	От 0,95 до 0,75
Умеренная вероятность выявления повреждения. Некоторое число повреждений не будет обнаружено при эксплуатационном контроле	Неявные, в малодоступных местах	Технический осмотр со вскрытием	От 0,75 до 0,50
Малая вероятность обнаружения повреждения. Эксплуатационный контроль не гарантирует выявления повреждения	Подповерхностные, скрытые	То же, контроль обычными средствами	От 0,50 до 0,10
Очень малая вероятность выявления повреждения. Повреждение является скрытым и, скорее всего, не будет обнаружено	Внутренние, скрытые	Специальная инструментальная диагностика	Менее 0,10

Таблица 6

Соответствие критериев и категорий технического состояния

Категория/критерий	Обозначения/значения категорий и критериев				
Техническое состояние	И	Р	ОР	НР	А
Категория повреждения	Нет	В	В, Б	Б, А	А
Вид дефекта (по классификации ГОСТ 15467)	Нет	М	М, 3	3, К	3, К
Ранг повреждения/дефекта	Нет	Д	С, В	В, А	А
Уровень поврежденности:					
– стальные	Нет	Менее 0,05	0,05–0,15	Св. 0,15	Св. 0,15
– железобетонные	Нет	–«– 0,15	0,15–0,30	–«– 0,30	–«– 0,30
– каменные	Нет	–«– 0,30	0,30–0,50	–«– 0,50	–«– 0,50
Вероятность отказа	10^{-6} – 10^{-5}	10^{-5} – 10^{-4}	10^{-4} – 10^{-3}	10^{-3} – 10^{-2}	10^{-2} – 10^{-1}
Характеристика безопасности	4,753–4,265	4,265–3,719	3,719–3,090	3,090–2,327	2,327–1,282

Примечания: 1. Категория технического состояния: И – исправное, Р – работоспособное, ОР – ограниченно работоспособное, НР – неработоспособное, А – аварийное.

2. Категория повреждения, вид дефекта – см. выше.

Заключение

На основании предварительно изученной частотности дефектов и повреждений промышленных зданий предложены способы их ранжирования по значимости с использованием критериев: приоритетного числа риска; запаса по нормативным коэффициентам надежности. На конкретных примерах конструкций показана их реализация и возможность привязки к категориям технического состояния.

Усовершенствована классификация дефектов и повреждений с включением признаков: типа конструкции; вида и величины повреждения; частотности; критичности; вероятности обнаружения; ранга по классу управляющего решения. Преиму-

щества предложенной классификации заключаются в ее полноте, риск-ориентированном подходе и возможности кодификации в различных цифровых моделях зданий.

Показано соответствие различных критериев и их связь с категориями технического состояния, позволяющие унифицировать экспертные оценки при обследовании (экспертизе) технического состояния зданий. При этом использование критериев уровня поврежденности, вероятности отказа или характеристики безопасности в совокупности с оценкой частотности и критичности позволяют реализовать современные риск-ориентированные подходы к эксплуатации зданий [12, 13].

Список литературы

1. Ведяков И.И., Конин Д.В., Артамонов В.А., Кони́на С.М., Арленинов П.Д. Техническое состояние промышленных зданий и сооружений и их реновация // Промышленное и гражданское строительство. 2024. № 5. С. 6–18.
2. Чернышева А.С., Наркевич М.Ю., Попов Д.В., Митрофанов В.В. Анализ распределения дефектов и повреждений зданий и сооружений на опасных производственных объектах металлургической промышленности // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. 2025. № 2 (16). С. 12–16.
3. Рак В.И., Кожихов А.Г., Якименко И.В. Типичные дефекты и повреждения железобетонных конструкций каркасных промышленных зданий // Материалы международной научно-практической конференции. Строительство-2014: Современные проблемы промышленного и гражданского строительства. РГСУ. 2014. С. 45–47.
4. Леденев В.И. Анализ причин дефектов и повреждений эксплуатируемых промышленных зданий (на примере предприятий Тамбовской области) // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. 2008. № 4 (12). С. 53–57.
5. Ерёмин К.И., Кунин Ю.С., Матвеюшкин С.А., Алексеева Е.Л. Атлас дефектов и повреждений эксплуатируемых строительных конструкций: учебно-методическое пособие. Магнитогорск: ВЕЛД, 2010. 162 с.
6. Tupitsyna D., Baiburin A. Damageability Analysis of industrial building structures. In: Vatin N., Roshchina S., Serdjuk D. (eds) // Proceedings of MPCPE 2022. Lecture Notes in Civil Engineering, 2023. Vol. 335. P. 67–75.
7. Федоров В.С., Трекин Н.Н., Кодыш Э.Н., Терехов И.А. Критерии для оценки категории технического состояния железобетонных колонн, ригелей, балок и ферм // Строительство и реконструкция. 2023. № 3(107). С. 58–69.
8. Александровская Л.Н., Афанасьев А.П., Лисов А.А. Современные методы обеспечения безотказности сложных технических систем. М.: Логос, 2001. 208 с.
9. Добромыслов А.Н. Диагностика повреждений зданий и инженерных сооружений. М.: Изд. АСВ, 2008. 304 с.
10. Бондаренко В.М. Конструктивная безопасность эксплуатируемых железобетонных конструкций // Вестник отделения строительных наук РААСН. М.: Изд. РААСН, 2004. С. 123–129.
11. Меркулов С.И. Конструктивная безопасность железобетонных элементов реконструированных зданий и сооружений: дис. ... д-ра техн. наук. Орел, 2004. 470 с.
12. Baiburin A.Kh., Baiburin D.A. Risk-based monitoring of the condition of industrial buildings // Proceedings of the 5th International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety (ICCATS-2021). Lecture Notes in Civil Engineering, 2022. Vol. 168. P. 251–260.
13. Baiburin D.A., Baiburin A.Kh. Assessment of technogenic accident risk of industrial building structures // International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety (ICCATS-2017), Chelyabinsk, Russian Federation / IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 262. 2017. 012190.

References

1. Vedyakov I.I., Konin D.V., Artamonov V.A., Konina S.M., Arleninov P.D. [Technical condition of industrial buildings and structures and their renovation]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering], 2024, no. 5, pp. 6–18. (in Russ.)
2. Chernysheva A.S., Narkevich M.Yu., Popov D.V., Mitrofanov V.V. [Analysis of the distribution of defects and damages in buildings and structures at hazardous production facilities of the metallurgical industry]. *Aktual'nye problemy sovremennoi nauki, tekhniki i obrazovaniya* [Current Problems of Modern Science, Technology and Education], 2025, no. 2(16), pp. 12–16. (in Russ.)
3. Rak V.I., Kozhikhov A.G., Yakimenko I.V. [Typical defects and damages of reinforced concrete structures of frame industrial buildings]. *Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Stroitel'stvo-2014: Sovremennye problemy promyshlennogo i grazhdanskogo stroitel'stva. RGSU*. [Materials of the international scientific and practical conference. Construction-2014: Modern problems of industrial and civil construction]. RSCU, 2014, pp. 45–47. (in Russ.)
4. Ledenev V.I. [Analysis of the causes of defects and damages in operated industrial buildings (on the example of enterprises of the Tambov region)]. *Nauchnyi vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura* [Scientific Bulletin of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and Architecture], 2008, no. 4 (12), pp. 53–57. (in Russ.)
5. Eremin K.I., Kunin Yu.S., Matveyushkin S.A., Alekseeva E.L. *Atlas de-fektov i povrezhdenij ekspluatiruemyyh stroitel'nyh konstrukcij: uchebno-metodicheskoe posobie*. [Atlas of defects and damages of exploited building structures: a textbook]. Magnitogorsk, WELD, 2010, 162 p. (in Russ.)

6. Tupitsyna D., Baiburin A. Damageability analysis of industrial building structures. In: Vatin N., Roshchina S., Serdjuk D. (eds) *Proceedings of MPCPE 2022. Lecture Notes in Civil Engineering*, 2023, vol. 335, pp. 67–75.
7. Fedorov V.S., Trekin N.N., Kodysh E.N., Terekhov I.A. [Criteria for assessing the category of technical condition of reinforced concrete columns, beams, and trusses]. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya* [Construction and Reconstruction], 2023, no. 3 (107), pp. 58–69. (in Russ.)
8. Alexandrovskaya L.N., Afanasyev A.P., Lisov A.A. *Sovremennye metody obespecheniya bezotkaznosti slozhnykh tekhnicheskikh sistem* [Modern methods of ensuring reliability of complex technical systems]. Moscow, Logos Publ., 2001, 208 p. (in Russ.)
9. Dobromyslov A.N. *Diagnostika povrezhdenij zdaniy i inzhenernykh sooruzhenij* [Diagnostics of damage to buildings and engineering structures]. Moscow, ACU Publ., 2008, 304 p. (in Russ.)
10. Bondarenko V.M. [Constructive safety of operated reinforced concrete structures]. *Vestnik otdeleniya stroitel'nykh nauk RAASN* [Bulletin of the Department of Building Sciences of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences]. Moscow, RAABS Publishing House, 2004, pp. 123–129. (in Russ.)
11. Merkulov S.I. *Konstruktivnaya bezopasnost' zhelezobetonnykh elementov rekonstruirovannykh zdaniy i sooruzhenij: diss. ... dokt. tech. nauk* [Constructive safety of reinforced concrete elements of reconstructed buildings and structures: Doct. sci. diss.]. Orel, 2004, 470 p. (in Russ.)
12. Baiburin A.Kh., Baiburin D.A. Risk-based monitoring of the condition of industrial buildings. *Proceedings of the 5th International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety (ICCATS-2021). Lecture Notes in Civil Engineering*, 2022, vol. 168, pp. 251–260.
13. Baiburin D.A., Baiburin A.Kh. Assessment of technogenic accident risk of industrial building structures. *International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety (ICCATS-2017), Chelyabinsk, Russian Federation / IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 262, 2017. 012190.

Информация об авторе:

Байбурин Денис Альбертович, старший преподаватель, кафедра «Строительное производство и теория сооружений», Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия, baiburinda@susu.ru.

Information about the author:

Denis A. Baiburin, Senior Lecturer, Department of Construction Production and Theory of Structures, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia, baiburinda@susu.ru.

Статья поступила в редакцию 20.01.2026, принята к публикации 12.03.2026.

The article was submitted 20.01.2026, approved after reviewing 12.03.2026.