



Анализ технического состояния здания на примере цеха подготовки кормов

С.Н. Костарев^{1,2✉}, Т.Г. Середа³

¹Пермский военный институт войск национальной гвардии Российской Федерации,
г. Пермь, Россия

²Пермский институт Федеральной службы исполнения наказаний России, г. Пермь, Россия

³Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика
Д.Н. Прянишникова, г. Пермь, Россия

Аннотация. Целью работы является разработка инструментальной модели комплексной оценки состояния строительных конструкций здания, изменяющихся в процессе жизненного цикла, и обоснование необходимости улучшения (реконструкции), направленной на создание благоприятных условий жизнедеятельности людей, или сноса здания. Исследование базируется на общей теории систем, применении методик оценки состояния строительных конструкций. Испытания материалов кирпичных стен проводились неразрушающим методом при помощи измерителя ИПС-МГ-4.03. Испытание кладки стен из гипсовых блоков проведено при помощи прибора ОНИКС-2.5. Испытание бетона проводились неразрушающим методом при помощи склерометра ОМШ-1. При оптимизации расчетов и поиска оптимального решения по затратам на ремонт здания использовано динамическое программирование Беллмана. Приведен пример анализа технического состояния здания и определены мероприятия, позволяющие продлить его жизненный цикл. Был сделан вывод, что оценка безопасной эксплуатации здания должна учитывать комплексное состояние основных несущих конструкций с учетом воздействия окружающей среды, что минимизирует риски разрушения здания и расходы на реконструкцию здания. Чтобы оценить текущее состояние здания, оно было поделено на множество элементов: фундамент, стеновая коробка, перекрытия, кровля. Также учитываются гидрогеологические параметры почвы. Исходя из износа строительных элементов, были рассчитаны коэффициенты ослабления здания. Разработана система математических моделей, учитывающая совокупность изменений при эксплуатации. Переходные состояния системы описаны полумарковскими процессами. Полученные результаты могут быть полезны при оценке остаточного ресурса здания, направленности мероприятий на улучшения прочности конструкций, имеющих большой износ и использованы при обосновании концепций реноваций территорий.

Ключевые слова: безопасность эксплуатации зданий, системный анализ, ресурсосбережение, строительные конструкции, динамическое программирование Беллмана

Для цитирования: Костарев С.Н., Середа Т.Г. Анализ технического состояния здания на примере цеха подготовки кормов // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2024. Т. 14. № 2. С. 311–325. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-2-311-325>. EDN: UZYS DP.

Original article

Analysis of the technical condition of building structures on the example of a feed preparation workshop

Sergey N. Kostarev^{1,2✉}, Tatyana G. Sereda³

¹Perm Military Institute of National Guard Troops of the Russian Federation, Perm, Russia

²Perm Institute of the Federal Penitentiary Service of Russia, Perm, Russia

³Perm State Agrarian and Technological University named after Academician D.N. Pryanishnikov, Perm, Russia

Abstract. The article aims to develop an instrumental model for a complex assessment of building structures that are subject to changes during their life-cycle process. This model can be used to substantiate the need either to reconstruct the existing building structures with the purpose of creating favorable living conditions or to demolish the building. The research methodology involved the general theory of systems and available techniques for estimating the state of building structures. Brick walls were tested by a non-destructive method using an IPS-MG-4.03 meter. Gypsum block masonry walls were tested by an ONIKS-2.5 meter. Concrete was tested by an OMSH-1 hardness tester. Bellman dynamic programming was used to optimize the calculations and to find a solution for optimizing reconstruction costs. An example of assessing the condition of a building construction is provided, along with measures for extending its life-cycle. A conclusion is made that evaluation of the reliable operation of a building structure should consider the integral condition of the basic load-bearing structures under the action of environmental factors. This allows the risks of building destruction and the costs of building reconstruction to be reduced. For evaluating the current condition of the building under study, its structure was divided into a number of elements: foundation, wall box, floor slabs, roof. The hydrogeological parameters of the soil were also considered. Basing on the wear of building elements, the weakening coefficients of the building were calculated. The transient states of the system were described by semi-Markov processes. The results obtained can be used when evaluating the building residual life, selecting measures for improving the durability of structures with high wear and tear, and justifying the renovation concepts of territories.

Keywords: building operation safety, system analysis, resource saving, building structures, Bellman dynamic programming

For citation: Kostarev S.N., Sereda T.G. Analysis of the technical condition of building structures on the example of a feed preparation workshop. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2024;14(2): 311-325. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-2-311-325>. EDN: UZYS DP.

ВВЕДЕНИЕ

В задачи реноваций территорий входит оценка состояния жилищного фонда, включая поэтапные задачи восстановления (реконструкции) зданий [1–5].

В настоящее время остается множество зданий постройки 1950–1960 гг. прошлого столетия. Возникает необходимость в оценке их остаточного ресурса. Несмотря на то, что существуют инструментальные методики, зачастую оценка состояния здания происходит визуально, к тому же известные методики оценивают отдельно элементы без обобщающих целостных расчетов.

Одним из путей решения данной проблемы, по мнению авторов, может служить разработка методики комплексной оценки остаточного ресурса здания, обеспечивающая безопасность его эксплуатации.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Гипотеза исследования опирается на достигнутые результаты в области проектов развития строительства¹, ресурсосбережения, реновации городских и сельских территорий и обеспечения их экологической безопасности [6–13]. В работе использованы ранние

результаты авторов в области разработки математических моделей оценки состояния здания, мониторинга и управления сложными объектами [14–16].

Математический аппарат исследования основывается на таких методах, как общая теория систем, системный анализ и строительная механика. Испытания материалов проводились неразрушающим методом при помощи электронных измерителей прочности ИПС-МГ-4.03, ОНИКС-2.5 и ОМШ-1.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Цели и критерии задачи управления реконструкцией здания

Гипотеза исследования базируется на предположении, что инструментальная модель оценки состояния здания обеспечит решение комплексных задач, связанных с ресурсосбережением, уменьшением экологической нагрузки на окружающую среду и войдет в расчет полного жизненного цикла строительного объекта.

Цели и критерии управления реконструкцией здания включают два направления: предупреждение разрушения и увеличение срока его службы (табл. 1).

¹Яковлева М.В. Обследование технического состояния зданий и сооружений. Москва, 2011. 266 с.

Таблица 1. Цели и критерии управления реконструкцией здания

Table 1. Objectives and criteria for building renovation management

Цель	Стратегия управления	Характеристика критерия	Функциональная зависимость	Параметры
Предупреждение разрушения здания	Минимизация процесса разрушения здания	Технологический	$K_1(S_\alpha) = \sum_{i=1}^7 \sum_{g=1}^k f(g_i t_j) \rightarrow \min$	$G = \{g_1, g_2, \dots, g_k\}$ – базис элементов $t = \{t_1, \dots, t_j, \dots, t_7\}$ – продолжительность стадий
Увеличение срока службы здания	Уменьшение реконструируемого и проектируемого периодов	Ресурсный	$K_2(S_\alpha) = T_{\text{РЕК}} + T_{\text{ПРА}} \rightarrow \min$	$T_{\text{рек}}$ – продолжительность реконструируемого периода $T_{\text{пра}}$ – продолжительность проектируемого периода

Общее исследование здания

Общий объем здания составил 2961,34 м³. Занимаемая площадь здания 466,09 м². Класс здания – I, степень долговечности – I, степень огнестойкости – II. В плане здание имеет форму двух прямоугольников разных по высоте и объему, с размерами в осях 1–7 – 35,7 м, в осях А–В – 11,6 м.

Максимальная высота здания от уровня земли до чердачного перекрытия составила 6,3 м (рис. 1). Обследуемое здание состоит из двух частей – основной и вспомогательной, расположенных в осях 1–2/А–В и 2–7/А–В соответственно, сопряженных по оси 2. Основная часть – цех, во вспомогательной расположен

гараж и котельная на газовом топливе. Обследуемое здание в осях 1–2/А–В имеет смешанный каркас с несущими продольными стенами из гипсовых блоков и несущими колоннами, вмонтированными в кладку стен по оси 1 и 2, по тем же осям на своем фундаменте расположены кирпичные колонны. На них опирается подстропильная железобетонная балка двутаврового сечения. В осях 2–7/А–В обследуемое здание каркасное, представлено несущими железобетонными колоннами, диском железобетонных плит перекрытия и балками таврового сечения, опирающимися на столбчатые фундаменты и самонесущие стеновые панели (рис. 2).



Рис. 1. Фотография фасада здания в осях 1–7
Fig. 1. Photograph of the building facade in axes 1–7



Рис. 2. Фотография фасада здания в осях В–А
Fig. 2. Photograph of the building facade in axes B–A

Пространственная жесткость и геометрическая неизменяемость здания достигаются за счет сопряжения плит перекрытия, тавровых балок, колонн и навесных панелей.

В здании в осях 1–2/А–В устроен чердак с габаритными размерами, соответствующий размерам плана здания, с максимальной высотой в коньке 9,5 м. В осях 2–7/А–В

максимальная высота в коньке 7,83 м. Выход на чердак осуществляется через проем во фронтоне крыши по оси 2 и 7.

Чердак не оснащен слуховыми окнами. Кровля обследуемого здания двускатная. Покрытие кровли выполнено из шифера. Сброс осадков неорганизованный, вдоль здания по осям А–В (рис. 3).



Рис. 3. Фотография фасада здания в осях А–В
Fig. 3. Photograph of the building facade in axes A–B

Обследуемое здание имеет оконные проемы, расположенные по периметру. Рамы окон выполнены из древесины. Для сообщения между помещениями имеются дверные проемы. Помещения обследуемого здания имеют искусственное и естественное освещение. Естественное освещение осуществляется через оконные проемы в стенах здания, искусственное – при помощи люминесцентных ламп. Здание оборудовано системами электроснабжения, водоснабжения и водоотведения, отопления и вентиляции. Прилежащая к зданию цеха территория имеет заасфальтированные пешеходные и автотранспортные площадки. Техническое состояние строительных конструкций здания цеха определено в соответствии с требованиями нормативных документов как результат визуального обследования.

Проведение технического обследования

Методика проведения обследования, цели, объем и состав работ заключались в определении технического состояния строительных конструкций здания и возможности его дальнейшей эксплуатации, а также в осуществлении сбора исходной технической информации, необходимой для определения целесообразности дальнейшей эксплуатации. На основании сформулированных целей разработана программа, в которой отражена методика, уточнены объемы, детальность и виды работ по обследованию здания. Техническое состояние здания определено исходя из оценок соответствия конструкций эксплуатационным качествам двух групп. Соответствие строительных конструкций здания требованиям эксплуатационных качеств первой группы, чьим критерием является надежность и безопасность здания, обеспечивается несущей способностью конструктивных элементов, их устойчивостью и геометрической неизменяемостью.

Соответствие определено на основании следующих оценок:

1. Общего и местного деформированного состояния здания.
2. Состояния связей конструктивных элементов.
3. Общего и местного деформированного состояния несущих конструктивных элементов.
4. Состояния материалов несущих конструкций.

Для определения соответствия первой группе оценке были подвергнуты основные несущие конструкции здания, а именно кровля, покрытие, перекрытие, стеновые ограждения, пол и фундамент. Соответствие строительных конструкций здания требованиям эксплуатационных качеств второй группы, чьим критерием

является способность конструктивных элементов обеспечивать необходимые санитарно-гигиенические, экологические и прочие требования. При обследовании поставленные цели были достигнуты путем проведения визуального и инструментального обследования составляющих строительных конструкций здания.

Техническое состояние элементов и общая оценка технического состояния определены на основании анализа результатов обследования. Общая оценка представлена по наиболее «тяжелому» состоянию конструктивных элементов, определяющего надежность и безопасность здания. Испытания материалов кладки стен из кирпича проводилось с помощью неразрушающего метода и электронного измерителя прочности ИПС-МГ-4.03. Тем же методом проводилось испытание кладки стен из гипсовых блоков, только электронным измерителем прочности был ОНИКС-2.5. С помощью механического прибора – склерометра ОМШ-1 – была определена прочность бетона на сжатие в бетонных и железобетонных изделиях методом упругого отскока. При помощи электронного измерителя и метода, который был представлен в других испытаниях, было проведено исследование бетона фундаментных блоков и монолитных стаканов под колонны фундамента здания с целью определения его прочностных характеристик.

Геоморфология, геолого-литологическое и гидрогеологическое описание земельного участка

Обследование земельного участка показало, что рельеф площадки преимущественно ровный с уклоном в западном направлении. Исследование свойств образцов показывает, что грунт основания под зданием имеет ненарушенную структуру и представлен суглинком. Грунтовые воды не обнаружены. В табл. 2 представлены физические характеристики грунта.

Оценка состояния здания

Оценка проведена для определения фактического технического состояния основных несущих конструкций здания.

Задачи оценки состояли в следующем:

1. Определить фактическое техническое состояние с фиксацией имеющихся дефектов и повреждений строительных конструкций обследуемого здания.

2. Оценить возможность дальнейшей эксплуатации строительных конструкций здания цеха.

Модель здания можно представить в виде взаимосвязанных элементов (рис. 4) [13].

Таблица 2. Физические характеристики грунта
Table 2. Physical characteristics of the soil

№ п/п	Физические характеристики	Ед. изм.	Величина
1	Естественная влажность		0,24
2	Влажность на границе текучести		0,30
3	Влажность на границе раскатывания		0,18
4	Число пластичности		0,12
5	Показатель текучести		0,50
6	Плотность	г/см ³	1,83
7	Плотность частиц грунта	г/см ³	2,69
8	Плотность в сухом состоянии	г/см ³	1,48
9	Плотность с учетом взвешивающего действия воды	г/см ³	0,00
10	Коэффициент пористости		0,82
11	Полная влагоемкость		0,00
12	Коэффициент водонасыщения		0,78
13	Относительное содержание органического вещества		0,00
14	Угол внутреннего трения	град.	15,0
15	Удельное сцепление среза	МПа	0,03

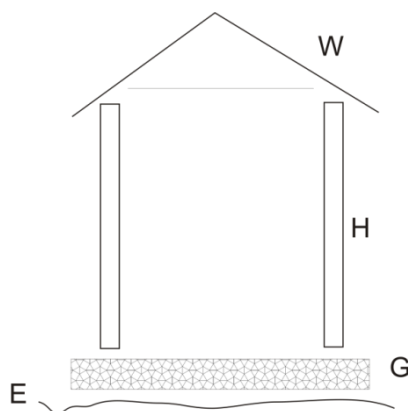


Рис. 4. Множество элементов здания: *W – крыша, H – стены, G – фундамент, E – почва, элементы окружающей среды*
Fig. 4. Set of building elements: *W – roof, H – walls, G – foundation, E – soil, environmental elements*

Оценка состояния кровли крыши

Кровля здания двускатная с деревянными наклонными стропилами и обрешеткой с деревянными фронтонами. Кровля выполнена из листов шифера. Водоотвод с кровли неорганизованный внешний. Уклон кровли на обе стороны от конька составляет 30°. Результаты обследований и выявленные конструктивные недостатки показали нарушение целостности покрытия кровли, что является причиной образования следов протечек. Техническое состояние кровли признано ограниченно работоспособным. Настоящее состояние назначено в связи с нарушением целостности покрытия кровли из шифера (рис. 5). Каркас крыши двускатный пространственный, с деревянными фронтонами, выполнен из древесины. Стропильные конструкции из кругляка диаметром

220 мм с шагом 1,46 м. В опорной части по продольным стенам здания, в осях А и В, стропильные конструкции опираются на деревянный мауэрлат, диаметром 220 мм. Он закреплен к чердачным железобетонным плитам перекрытия двумя скрутками из гладкой проволоки, каждая диаметром по 6 мм. В коньковой части кровли стропила опираются на продольный брус, сечением 150×150 мм по всей длине здания. По длине брус состыкован накладками из обрезной доски, длиной 500 мм и сечением 150×40 мм и на деревянные стойки из кругляка, диаметром 220 мм с шагом по длине здания 1,46 м. Стойки опираются на продольный распределительный лежак с сечением 240 мм. Лежак расположен на столбиках из керамического кирпича, высотой 250 мм и сечением 380×380 мм.



Рис. 5. Разрушение кровли
Fig. 5. Roof collapse

Часть нагрузки от наклонных стропил распределяется на лежак за счет деревянных подкосов из круглого бревна, сечением 180 мм с шагом, который соответствует шагу стропил.

Составные элементы каркаса крыши соединены врубками, гвоздевыми соединениями и металлическими скобами. В результате обследования были выявлены такие

конструктивные недостатки, как повсеместные следы увлажнения элементов каркаса крыши и биоповреждения деревянных конструкций обрешетки в местах нарушения кровельного покрытия.

Визуальное освидетельствование стропильных конструкций показывает отсутствие прогиба (рис. 6).



Рис. 6. Фотография стропил
Fig. 6. Photograph of the rafters

Причиной наличия следов увлажнения элементов обрешетки крыши и биоповреждений является нарушение целостности кровельного покрытия кровли.

Техническое состояние стропильных конструкций признано ограниченно работоспособным. В табл. 3 приведены обследуемые параметры стропил и кровли.

Таблица 3. Обследуемые параметры крыши
Table 3. Surveyed roof parameters

Объект	Состояние	Обозначение	Коэффициент ослабления
Стропила	Биоповреждения и следы увлажнения конструкций обрешетки крыши	L_{wc}	0,7
Кровля	Нарушение целостности покрытия кровли	L_{wp}	0,7

Оценку состояние кровли здания и каркаса крыши (C_w) опишем уравнением:

$$C_w = \Theta_{wp} + \Delta\Theta_{wp}(E) + \Theta_{wc} + \Delta\Theta_{wc}(E), \quad (1)$$

где Θ_{wp} – показатель состояния свойств крыши,

$\Delta\Theta_{wp}(E)$ – изменение состояние крыши от влияния ветра, осадков,

Θ_{wc} – показатель состояния стропил,

$\Delta\Theta_{wp}(E)$ – изменение состояние стропил.

Оценку степени стропил опишем уравнением:

$$B_{wc} = \frac{k_1 k_2 C_{wc}^D - C_{wc}}{k_1 k_2 C_{wc}^D}, \quad (2)$$

где k_1 – коэффициент ослабления биоповреждения стропил;

k_2 – коэффициент проектного запаса.

$$B_{wc} = \frac{0,7 \cdot 1,5 C_{wc}^D - C_{wc}}{0,7 \cdot 1,5 C_{wc}^D} \quad (3)$$

Оценку степени целостности покрытия кровли опишем уравнением:

$$L_{wp} = \frac{k_{1p} C_{wp}^D - C_{wp}}{k_{1p} C_{wp}^D} \quad (4)$$

где k_{1p} – коэффициент ослабления целостности покрытия кровли.

Тогда оценка состояния кровли здания и каркаса крыши (C_w) можно описать коэффициентом

$$C_w = L_{wp} * L_{wc} = 0,7 * 1,5 * 0,7 = 0,735$$

Чердачное перекрытие здания представляет собой сборные железобетонные ребристые плиты, уложенные на шестиметровые железобетонные балки таврового сечения. По осям 2–3/А–В чердачное перекрытие здания представляет собой сборные железобетонные пустотные плиты, уложенные на эти балки по оси 3/А–В и на стену по оси 2/А–В. Во вспомогательной части перекрытия – плиты ребристые, которые опираются на несущие стены по

осям А и В, в середине части здания по оси Б имеется балка железобетонная, двутаврового сечения, опирающаяся на железобетонные колонны с сечением 300×300 мм, заделанными в стены из гипсовых блоков. Под балку дополнительно сделаны колонны из кирпича с металлической обвязкой из уголка, сечение колонны 380×380. Передачи нагрузки на кирпичные колонны от двутавровой балки нет, в связи с наличием зазора между верхом колонны и низом балки.

Опорный узел ребристых плит на кладку по осям А и В вспомогательного здания выполнен без распределительного железобетонного пояса, что может привести к разрушению кладки под опорной частью плит. Состав чердачного перекрытия основной части здания представлен шлаком (30 мм), фиброплитой (80 мм), плитой ребристой ПР (60,15 мм). Высота несущих ребер составляет 290 мм. Состав чердачного перекрытия вспомогательной части здания представлен опилом (130 мм), плитой ребристой ПР (60,30 мм). Высота несущих ребер составляет 250 мм. Визуальное освидетельствование ребристых плит покрытия показывает их общее удовлетворительное состояние. Сопряжения плит с несущими стенами во вспомогательном здании выполнено с нарушением при производстве строительно-монтажных работ. Необходимо при дальнейшей эксплуатации здания вести наблюдение за состоянием стен из гипсовых блоков. Прогиб плит не наблюдается (рис. 7). Визуальное освидетельствование утеплителя показывает его неудовлетворительное состояние. Местами имеются повреждения. Отсутствие пароизоляции ведет к намоканию утеплителя и увеличению теплопроводности. Теплотехническим расчетом чердачного перекрытия в осях 1–6/А–Б установлено, что фактическое сопротивление теплопередаче составляет 0,63 м² град/Вт, а требуемое – 3,22 м² град/Вт. Теплоизоляция перекрытия не обеспечена.



Рис. 7. Фотография ребристых плит перекрытия
Fig. 7. Photograph of ribbed floor slabs

Техническое состояние покрытия на основе визуального обследования признано ограничено работоспособным. Настоящее состояние назначено в связи с повреждением утеплителя и отсутствием пароизоляции, несоответствием фактического сопротивления теплопередаче конструкции чердачного перекрытия требуемой. Несоответствия Свода Правил 22.13330.2016 выполненных узлов опирания стен на кладку. Необходимо проведение мероприятий по устранению конструктивных недостатков и повреждений.

Оценка состояния стенового ограждения и каркаса здания

Наружные несущие стены основной части здания, толщиной 400 и 600 мм, выполнены из керамзитобетонных самонесущих панелей, опирающихся на фундамент здания. Стены вспомогательной части здания выполнены из гипсовых блоков на цементно-песчаном кладочном растворе. Внутренние колонны, сечением 380×380 мм, выполнены из керамического кирпича на цементно-песчаном кладочном растворе и усиленные металлическим каркасом. Внутренние несущие элементы – железобетонные колонны, сечением 300×300 мм, и несущие железобетонные балки таврового сечения. Внутренние не несущие стены и простенки, толщиной 120–250 мм,

выполнены из керамического кирпича на цементно-песчаном кладочном растворе. Поверхности стен внутри помещений оштукатурены и покрашены масляными составами. Стены в санузлах и производственном цехе покрыты керамической плиткой на высоту низа оконных проемов. Были выявлены следующие конструктивные недостатки, такие как вертикальные трещины по фасаду здания на всю высоту стены по оси В–А/1 (ширина раскрытия трещин 0,5–1 мм), вертикальные трещины на фасадах здания (ширина раскрытия трещины 0,5–1 мм) по оси 1–2/В, вертикальные трещины во внутренних перегородках шириной раскрытия 0,5–1,0 мм. Осадочные трещины по кладке из гипсовых блоков по внутренней стене (рис. 8).

Несоответствие площади опоры ригеля на колонну. Причиной трещинообразования стен является неравномерная осадка системы основание–фундамент здания вследствие замачивания грунта основания и температурно-влажностными колебаниями.

Теплотехническим расчетом наружных стен в осях 2–7/А–В установлено, что фактическое сопротивление теплопередаче составляет 0,71 м² град./Вт, а требуемое – 2,84 м² град./Вт. Теплоизоляция перекрытия не обеспечена (рис. 9).



Рис. 8. Трещины на стене здания
Fig. 8. Cracks on the building wall



Рис. 9. Фотография стены здания
Fig. 9. Photograph of the building wall

Техническое состояние стен здания на основании обследования признано ограниченно работоспособным.

Настоящее состояние назначено в связи наличием на стенах вертикальных трещин, несоответствием фактического сопротивле-

ния теплопередаче конструкции стенового ограждения требуемой. Необходимо проведение работ по устранению выявленных недостатков и повреждений. Состояние безопасности стен (C_H) зависит от показателя собственных свойств (Θ_H), показателя подошвы

($\Delta\Theta_H(G)$), крыши ($\Delta\Theta_H(W)$) и почвы ($\Delta\Theta_H(E)$). Все это запишем выражением:

$$C_H = \Theta_H + \Delta\Theta_H(G) + \Delta\Theta_H(W) + \Delta\Theta_H(E) \quad (5)$$

В табл. 4 приведены обследуемые параметры стен.

Таблица 4. Обследуемые параметры стенового ограждения здания

Table 4. Surveyed parameters of the building wall envelope

Объект	Состояние	Обозначение	Коэффициент ослабления
Стены	Наличие на стенах вертикальных трещин	B_{HC}	0,9
Теплоизоляция	Фактическое сопротивление теплопередаче составляет 0,71 м ² град./Вт, а требуемое – 2,84 м ² град./Вт	B_{HT}	0,25

Оценку степени повреждения стен опишем уравнением:

$$B_{WC} = \frac{k_1 k_2 C_{HC}^D - C_{HC}}{k_1 k_2 C_{HC}^D} \quad (6)$$

где k_1 – коэффициент ослабления стен;
 k_2 – коэффициент проектного запаса.

$$B_{WC} = \frac{0,9 \cdot 1,3 C_{HC}^D - C_{HC}}{0,9 \cdot 1,3 C_{HC}^D} \quad (7)$$

В табл. 5 приведены совокупные обследуемые коэффициенты параметров ослабления здания.

Таблица 5. Совокупные обследуемые коэффициенты параметров ослабления здания

Table 5. Cumulative surveyed coefficients of building attenuation parameters

Кровля	L_{WP}	0,7
Стропила	L_{WC}	0,7
Стены	L_H	0,9
Перекрытия	L_{WP}	0,8
Фундамент	L_G	0,8
Теплоизоляция	L_T	0,25

По результатам проведенного технического обследования строительных конструкций здания установлена степень эксплуатационной пригодности и дана оценка категорий технического состояния несущих строительных конструкций здания.

По результатам обследования было установлено, что техническое состояние здания, кровли, каркаса крыши, несущих конструкций чердачного перекрытия, стенового ограждения и железобетонного каркаса здания, фундамента – ограниченно работоспособное. Состояние инженерных коммуникаций – неработоспособное, а пола – работоспособное.

Строительные конструкции здания пригодны к дальнейшей эксплуатации после проведения комплекса работ по капитальному ремонту конструктивных элементов, включающих следующие мероприятия:

- ремонт кровли здания;
- замена утеплителя с устройством его естественной вентиляции и пароизоляции;
- утепление ограждающих конструкций;
- отвод ливневых вод от наружных стен по всему периметру здания;
- отвод попадания хозяйственно бытовых вод под подошву фундамента (своевременная откачка хозяйственно бытовых отходов из наружного накопителя);
- устройство сигнальных маячков на трещины несущих стен с дальнейшим наблюдением и ведением журнала наблюдений за появлением трещин.

Оптимизация расходов на ремонт здания

Для дальнейшей эксплуатации здания необходимо провести ремонт кровли. Варианты ремонта представлены в табл. 6. Задача оптимизации состоит в выборе более оптимальной операции с ограничением на ресурсы [17–19]. Задача была решена с помощью метода динамического программирования Беллмана, для чего была разработана компьютерная программа [20]. Исходными условиями были следующие: для ремонта кровли необходимо два человека, для полного ремонта с заменой стропил – четыре человека. Исходные данные по расходу ресурсов приведены в табл. 6. Результаты вычислений показали, что при таких параметрах выгодней заменить шифер на профнастил.

Для дальнейшей эксплуатации здания рекомендуется провести следующие мероприятия:

- ремонт кровли здания;
- замена утеплителя с устройством его естественной вентиляции и пароизоляции;

- утепление ограждающих конструкций;
- отвод ливневых вод от наружных стен по всему периметру здания;
- отвод попадания хозяйственно бытовых вод под подошву фундамента (своевременная откачка хозяйственно бытовых отходов из наружного накопителя);
- устройство сигнальных маячков на трещины несущих стен с дальнейшим наблюдением и ведением журнала наблюдений за появлением трещин;
- подмоноличивание мест примыкания ригелей в местах недостаточного опирания на колонны, увеличение опорной части.

Таблица 6. Задача оптимизации ремонта здания
Table 6. Building renovation optimisation task

Операции	Ресурсы		Эффективность
	Персонал	Технические средства	
Ремонт кровли заменой шифера	$2x_1$	$1x_1$	5
Замена шифера на профнастил	$2x_2$	$2x_2$	10
Полный ремонт с заменой стропил	$4x_3$	$3x_3$	20
	≤ 11	≤ 11	
	Ограничение ресурса		

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Реализация предлагаемой модели на базе применения инструментов системного анализа с учетом нормативно-технической базы и организационно-управленческих решений приведет к обеспечению взвешенных решений при проведении мероприятий по оценке фонда

строительных конструкций. Применение методики комплексной оценки состояния здания может обеспечить решение вопросов технического регулирования, определить направления реноваций с учетом ресурсосберегающих механизмов устойчивого и безопасного развития городских и сельских территорий.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Суцев С.П., Самарин В.В., Адаменко И.А., Сотин В.Н. Мониторинг технического состояния несущих конструкций зданий и сооружений // Мониторинг. Наука и безопасность. 2011. № 1. С. 24-32. EDN: NUHNWJ.

2. Козлова Н.И. Оценка технического состояния конструкций здания санатория // Аллея науки. 2017. Т. 3. № 15. С. 31–34. EDN: YMDQOD.

3. Лобанов Д.В., Мерциев А.А., Звенигородский И.И., Сафонов С.А. Обследование здания лаборатории с рекомендациями по его дальнейшей эксплуатации // Высокие технологии в строительном комплексе. 2022. № 2. С. 44–50. EDN: KWTYLZ.

4. Потапова Т.В. История и современное состояние строительных конструкций павильона № 67 «Карелия» на Выставке достижений народного хозяйства // Вестник Евразийской науки. 2019. Т. 11. № 3. С. 1–45. EDN: ZKSATB.

5. Бирюков Ю.А. Методика мониторинга технического состояния зданий и сооружений в ограниченно работоспособном и аварийном состояниях // Нормирование и оплата труда в строительстве. 2019. № 2. С. 43–51. EDN: XLSIUM.

6. Строганова Т.Б. Парадигма и программа формирования вектора устойчивого развития сельских территорий // Высокие технологии в строительном комплексе. 2022. № 2. С. 51–55. EDN: EVCFZF.

7. Бондаренко А.Н., Чернышев А.А., Адилов Р.Р., Патрин С.А., Кошечев И.Г. Обследование здания котельной, с целью определения технического состояния строительных конструкций и оценки их эксплуатационной пригодности // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 1-2. С. 23–27. EDN: VLCEVP.

8. Sazonova S.A., Nikolenko S.D., Akamsina N.V., Sysoev D.V., Stenyukhin L.V. Monitoring of The Technical Condition of Structures and Building Materials of an Elevator Silo Housing // XIV International Conference on Transport Infrastructure: Territory Development and Sustainability (TITDS-XIV-2023). 2024. Vol. 471. p. 1–7. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202447102025>.

9. Egorochkina I.O., Serebryanay I.A., Shlyakhova E.A. Monitoring The Condition of Structures of an Existing Building Near New Construction // Physics and Mechanics of New Materials and Their Applications. 2020 International Conference on "Physics and Mechanics of New Materials and Their Applications"(Phenma 2020) (Kitakyushu, 26–29 марта 2021 г.). Kitakyushu, 2021. P. 99–100. EDN: JYSAGT.
10. Гевара Рада Л.Т., Пешков В.В., Мартянов В.И., Радионова Е.А., Бужеева Ф.Г., Сайбаталова Е.В. Технологии информационного моделирования (BIM) как основа бережливого строительства // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12. № 1. С. 70–81. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-1-70-81>. EDN: TDEUOH.
11. Козлова Н.И. Определение предварительного технического состояния здания с целью обоснования актуальности проведения капитального ремонта // Синергия наук. 2017. № S14. С. 116–122. EDN: ZEKRUN.
12. Хлобыстов С.А. Оценка технического состояния объекта недвижимости // Синергия Наук. 2017. № 17. С. 513–525. EDN: ZWUBGZ.
13. Сморгачев А.А., Кереб С.А., Орлов Д.А., Барановская К.О. Оценка технического состояния эксплуатируемых строительных конструкций зданий и сооружений // Инженерно-строительный журнал. 2012. № 7 (33). С. 70–75. EDN: PHGQRX.
14. Доминов Р.Р., Костарев С.Н. Разработка методики оценки состояния реконструируемого здания // Инвестиции, строительство, недвижимость как материальный базис модернизации и инновационного развития экономики. Материалы VII Междунар. науч.-практ. конф. В 2-х частях. (г. Томск, 14–16 марта 2017 г.). Томск, 2017. Ч. 1. С. 328–332. EDN: YOKIWW.
15. Костарев С.Н., Середа Т.Г., Пугин К.Г., Цховребов Э.С. Переход системы жизнеобеспечения на замкнутый цикл ресурсно-сырьевого обращения: тенденции, механизмы, перспективы // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. 2022. № 2 (46). С. 69–86. <https://doi.org/10.15593/2409-5125/2022.02.07>. EDN: RYKHAJ.
16. Цховребов Э.С., Костарев С.Н., Середа Т.Г., Ниязгулов Ф.Х. Математические методы обоснования и логическое моделирование ресурсосберегающей системы экологически безопасного жизнеобеспечения // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12. № 3. С. 394–407. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-3-394-407>. EDN: CJBJRL.
17. Костарев С.Н., Середа Т.Г. Проектирование комбинационного автомата для оценки безопасности источника опасности // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Безопасность и управление рисками. 2016. № 4. С. 77–87. EDN: VYWIJP.
18. Kostarev S.N., Tatarnikova N.A., Kochetova O.V., Sereda T.G. Development of a sequence automaton for recognition of deviations indicators in diagnosis of natural systems // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 677. P. 1–6. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/677/4/042004>. EDN: FVBKWU.
19. Kostarev S.N., Sereda T.G., Kochetova O.V., Sidorova K.A. Technological and Constructor Solutions for The Design of Silage Trenches Using CAD // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. Vol. 421. Iss. 4. P. 1–7. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/421/4/042010>. EDN: DYOOTN.
20. Середа Т.Г., Костарев С.Н. Моделирование оперативно-производственного планирования деревоперерабатывающего предприятия // Агротехнологии XXI века: стратегия развития, технологии и инновации. Материалы Всеросс. науч.-практ. конф., посвященной Десятилетию науки и технологий в Российской Федерации (Пермь, 10–13 октября 2023 г.). Пермь, 2023. С. 465–471. EDN: ZGVOSG.

REFERENCES

1. Sushchev S.P., Samarin V.V., Adamenko I.A., Sotin V.N. Monitoring The Technical Condition of Load-Bearing Structures of Buildings and Structures. *Monitoring. Nauka i bezopasnost' = Monitoring. Science and Safety*. 2011;1:24-32. (In Russ.). EDN: NUHNWJ.
2. Kozlova N.I. Assessment of The Technical Condition of the Sanatorium Building Structures. *Alleya nauki = Alley of Science*. 2017;3(15):31-34. (In Russ.). EDN: YMDQOD.
3. Lobanov D.V., Mershchiev A.A., Zvenigorodskiy I.I., Safonov S.A. Inspection of The Laboratory Building with Recommendations for its Further Operation. *Vysokie tekhnologii v stroitel'nom komplekse = High Technologies in Construction Complex*. 2022;2:44-50. (In Russ.). EDN: KWTYLZ.
4. Potapova T.V. History and Present State of Building Constructions of Pavilion №67 "Karelia" On Exhibition of Achievements of National Economy in Moscow. *Vestnik Evraziiskoi nauki = The Eurasian Scientific Journal*. 2019;11(3):1-45. (In Russ.). EDN: ZKSATB.
5. Biryukov Yu.A. Methodology for Monitoring the Technical Condition of Buildings and Structures in Limited Operable and Emergency Conditions. *Normirovanie i oplata truda v stroitel'stve = Rationing and Remuneration of Labor in Construction*. 2019;2:43-51. (In Russ.). EDN: XLSIUM.

6. Stroganova T.B. Paradigm and The Program for Forming the Vector of Sustainable Development. *Vysokie tekhnologii v stroitel'nom komplekse = High Technologies in Construction Complex*. 2022;2:51-55. (In Russ.). EDN: EVCFZF.
7. Bondarenko A.N., Chernyshev A.A., Adilov R.R., Patrino S.A., Koshcheev I.G. Inspection of The Boiler House Building in Order to Determine the Technical Condition of Building Structures and Assess Their Operational Suitability. *Aktual'nye problemy gumanitarnykh i estestvennykh nauk = Current Problems in The Humanities and Natural Sciences*. 2016;1-2:23-27. (In Russ.). EDN: VLCEVP.
8. Sazonova S.A., Nikolenko S.D., Akamsina N.V., Sysoev D.V., Stenyukhin L.V. Monitoring of The Technical Condition of Structures and Building Materials of an Elevator Silo Housing. In: *XIV International Conference on Transport Infrastructure: Territory Development and Sustainability (TITDS-XIV-2023)*. 2024. Vol. 471. p. 1-7. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202447102025>.
9. Egorochkina I.O., Serebryanay I.A., Shlyakhova E.A. Monitoring The Condition of Structures of an Existing Building Near New Construction. In: *Physics and Mechanics of New Materials and Their Applications. 2020 International Conference on "Physics and Mechanics of New Materials and Their Applications" (Phenma 2020)* 26–29 March 2021, Kitakyushu. Kitakyushu; 2021. P. 99–100. EDN: JYSAGT.
10. Guevara Rada L.T., Peshkov V.V., Mart'yanov V.I., Radionova E.A., Buzheeva F.G., Saibatalova E.V. Building Information Modelling (BIM) Technology as A Basis for Lean Construction. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2022;12(1):70-81. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-1-70-81>. EDN: TDEUOH.
11. Kozlova N.I. Preliminary Definition of the Technical Condition of the Building, with a View to Justify the Relevance of Major Repairs. *Sinergiya nauk = Synergy of Sciences*. 2017;S14:116-122. (In Russ.). EDN: ZEKRUN.
12. Khlobystov S.A. Assessment of The Technical Condition of the Property. *Sinergiya nauk = Synergy of Sciences*. 2017;17:513-525. (In Russ.). EDN: ZWUBGZ.
13. Smorchkov A.A., Kereb S.A., Orlov D.A., Baranovskaya K.O. Testing The Technical Condition of Maintained Building Structures. *Inzhenerno-stroitel'nyi zhurnal = Magazine of Civil Engineering*. 2012;7(33):70-75. (In Russ.). EDN: PHGQRX.
14. Dominov R.R., Kostarev S.N. Development of a Methodology for Assessing the Condition of a Reconstructed Building. In: *Investitsii, stroitel'stvo, nedvizhimost' kak material'nyi bazis modernizatsii i innovatsionnogo razvitiya ekonomiki. Materialy VII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii. V 2-kh chastyakh = Investments, Construction, Real Estate as The Material Basis for Modernization and Innovative Development of the Economy. Materials of The VII International Scientific and Practical Conference*. In 2 Parts. 14–16 March 2017, Tomsk. Tomsk; 2017. Part. 1. P. 328-332. (In Russ.). EDN: YOKIWW.
15. Kostarev S.N., Sereda T.G., Pugin K.G., Tshovrebov E.S. Transition of The Life Support System to a Closed Cycle of Resource and Raw Material Circulation: Trends, Mechanisms, Prospects. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Prikladnaya ekologiya. Urbanistika = PNRPU Bulletin. Applied ecology. Urban development*. 2022;2(46):69-86. (In Russ.). <https://doi.org/10.15593/2409-5125/2022.02.07>. EDN: RYKHAJ.
16. Tshovrebov E.S., Kostarev S.N., Sereda T.G., Niyazgulov F.H. Mathematical Methods of Substantiating and Logical Modelling of a Resource-Saving Environmentally Safe Critical Infrastructure System. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2022;12(3):394-407. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-3-394-407>. EDN: CJBJRL.
17. Kostarev S.N., Sereda T.G. Design of Combination Machine for Safety Assessment Source of Danger. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Bezopasnost' i upravlenie riskami = Bulletin of The Perm National Research Polytechnic University. Security and Risk Management*. 2016;4:77-87. (In Russ.). EDN: VYWJIP.
18. Kostarev S.N., Tatarnikova N.A., Kochetova O.V., Sereda T.G. Development of a sequence automaton for recognition of deviations indicators in diagnosis of natural systems. In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021;677:1-6. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/677/4/042004>. EDN: FVBKWU.
19. Kostarev S.N., Sereda T.G., Kochetova O.V., Sidorova K.A. Technological and Constructor Solutions for The Design of Silage Trenches Using CAD. In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020;421(4):1-7. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/421/4/042010>. EDN: DYOOTN.
20. Sereda T.G., Kostarev S.N. Modeling of Operational and Production Planning of a Wood Processing Enterprise. In: *Agrotekhnologii XXI veka: strategiya razvitiya, tekhnologii i innovatsii. Materialy Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, posvyashchennoi Desyatiletii nauki i tekhnologii v Rossiiskoi Federatsii = Agricultural Technologies of The 21st Century: Development Strategy, Technology and Innovation. Materials of The All-Russian Scientific and Practical Conference Dedicated to The Decade of Science and Technology in The Russian Federation*. 10–13 October 2023, Permian. Permian; 2023. P. 465-471. (In Russ.). EDN: ZGVOSG.

Информация об авторах

Костарев Сергей Николаевич,
д.т.н., доцент, профессор
кафедры информатики,
Пермский военный институт войск
национальной гвардии Российской
Федерации,
614030, г. Пермь, ул. Гремячий лог, 1,
Россия,
профессор кафедры зоотехники,
Пермский институт ФСИН России,
614012, г. Пермь, ул. Карпинского, 125,
Россия,
✉e-mail: iums@dom.raid.ru
<https://orcid.org/0000-0002-3097-7037>
Author ID: 353194

Серета Татьяна Геннадьевна,
д.т.н., доцент, профессор кафедры
строительных технологий,
Пермский государственный
аграрно-технологический университет
имени академика Д.Н. Прянишникова,
614099, г. Пермь, ул. Петропавловская, 23,
Россия,
e-mail: iums@dom.raid.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7682-9013>
Author ID: 434093

Критерии авторства

Все авторы сделали эквивалентный вклад
в подготовку публикации.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта
интересов.

Все авторы прочитали и одобрили
окончательный вариант рукописи

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 21.03.2024.
Одобрена после рецензирования 16.04.2024.
Принята к публикации 17.04.2024.

Information about the authors

Sergey N. Kostarev,
Dr. Sci. (Eng.), Associate Professor,
Professor of the Department of Informatics,
Perm Military Institute of National Guard
Troops of the Russian Federation,
1, Gremjachij log St., Perm, 614030,
Russia,
Professor of the Department of Animal Science,
Perm Institute of the Federal Penitentiary
Service of Russia,
125, Karpinsky St., Perm, 614012,
Russia,
✉e-mail: iums@dom.raid.ru
<https://orcid.org/0000-0002-3097-7037>
Author ID: 353194

Tatyana G. Sereda,
Dr. Sci. (Eng.), Associate Professor,
Professor of the Department of Construction
Production,
Perm State Agrarian-Technological University
named after academician D.N. Pryanishnikov,
23, Petropavlovskaja St., Perm, 614990,
Russia,
e-mail: iums@dom.raid.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7682-9013>
Author ID: 434093

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests
regarding the publication of this article.

The final manuscript has been read and approved
by all the co-authors.

Information about the article

The article was submitted 21.03.2024.
Approved after reviewing 16.04.2024.
Accepted for publication 17.04.2024.