

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

Архитектурно-строительный институт

*(наименование института полностью)*

Центр архитектурных, конструктивных решений и организации строительства

*(Наименование)*

08.04.01 Строительство

*(код и наименование направления подготовки)*

Строительство, эксплуатация и реконструкция зданий и сооружений

*(направленность (профиль))*

## **ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)**

на тему «Прогнозирование работоспособности промышленных зданий и сооружений за пределами нормативного срока эксплуатации»

Обучающийся

Р.С. Тереханов

*(Инициалы Фамилия)*

*(личная подпись)*

Научный  
руководитель

канд. техн. наук, доцент Д.С. Тошин

*(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)*

Консультант

канд. пед. наук, доцент Е.А. Исаев

*(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)*

Тольятти 2025

## Оглавление

Введение.....	5
Глава 1 Анализ текущего состояния вопроса прогнозирования работоспособности промышленных зданий и сооружений.....	9
1.1. Текущее состояние вопроса по определению остаточного ресурса промышленных зданий и сооружений.....	9
1.1.1. Определение остаточного ресурса с учетом распределения Гаусса Лапласа.....	10
1.1.2. Оценка остаточного ресурса железобетонных конструкций с учетом полученных данных о прочности конструкций.....	11
1.1.3. Оценка остаточного ресурса металлоконструкций с учетом скорости коррозии.....	14
1.1.4. Экспертная оценка остаточного ресурса конструкций по нелинейной модели развития физического износа.....	15
1.1.5. Оценка остаточного ресурса строительных конструкций с учетом экспоненциального распределения.....	18
1.2. Основные этапы и методы мониторинга технического состояния зданий и сооружений.....	20
1.2.1. Подготовительные работы.....	21
1.2.2. Визуально измерительный контроль строительных конструкций.....	24
1.2.3. Выборочный инструментальный контроль строительных конструкций.....	28

1.3. Особенности мониторинга технического состояния промышленных зданий и сооружений.....	29
Глава 2 Практические аспекты проведения обследования промышленного здания и определение технического состояния .....	35
2.1. Характеристика, исходные данные и назначение объекта, выбранного для прогнозирования работоспособности.....	35
2.2. Вопросы разработки программы проведения обследования здания.....	37
2.3. Оценка технического состояния, а также надежности строительных конструкций здания .....	39
2.4. Оценка степени физического износа.....	44
2.5. Оценка теплотехнических характеристик ограждающих конструкций здания ЦТП-1 .....	47
2.5.1. Основные методы анализа теплотехнических характеристик ограждающих конструкций .....	48
2.5.2. Основные нормативно-технические требования к проведению теплотехнического расчета выбранного в рамках исследования промышленного здания .....	49
2.5.3. Сбор основных параметров для теплотехнического расчета ограждающих конструкций здания .....	54
2.5.4. Расчет стен ЦТП-1 на сопротивление теплопередаче.....	55
2.5.5. Расчет стен ЦТП-1 на паропроницаемость. ....	58
2.5.6. Расчет распределения парциального давления водяного пара, и определение возможности образования конденсата по толще стены .....	65
Глава 3 Прогнозирование работоспособности здания за пределом нормативного срока службы с учетом энтропии системы.....	70

3.1. Анализ методик расчета значимости строительных конструкций в системе здания при продлении срока службы.....	70
3.1.1. Стоимостный метод оценки значимости.....	70
3.1.2. Метод экспертной оценки значимости .....	71
3.1.3. Метод оценки значимости от общего объема строительных конструкций.....	72
3.2. Определение значимости строительных конструкций здания ЦТП-1 с учетом энтропии системы .....	74
3.3. Определение дальнейшего срока службы .....	82
Заключение .....	87
Список используемой литературы и используемых источников.....	88

## Введение

Актуальность темы исследования заключается в том, что значительная часть зданий и сооружений промышленного назначения была построена в 1960-1970 гг. В настоящий момент многие из них продолжают эксплуатироваться, превысив установленный проектом срок службы. Данное обстоятельство вызывает множество вопросов, касающихся безопасности эксплуатации, экономической эффективности и правовых аспектов продления срока службы таких зданий и сооружений. Тема, несмотря на многолетние исследования, остается крайне актуальной и требует комплексного подхода.

В данной работе рассматривается проблематика продления срока службы производственных зданий и сооружений, и предлагается способ для ее решения, на примере здания центрального теплового пункта №1, эксплуатируемого производственным предприятием «Тольяттинские тепловые сети» филиала «Самарский» ПАО «Т Плюс». В работе рассматриваются различные методы и технологии, которые могут быть использованы для продления срока службы зданий. Также анализируются факторы, влияющие на срок службы зданий, и способы их учета при определении технического состояния и эксплуатации.

Объектом исследования магистерской диссертации являются промышленные здания и сооружения, нормативный срок службы, установленный проектом у которых истек.

Предметом исследования магистерской диссертации являются методы прогнозирования работоспособности промышленных зданий и сооружений.

Цель магистерской диссертации - усовершенствование метода прогнозирования работоспособности промышленных зданий или сооружений после истечения срока службы, установленного проектной документацией, на основании оценки значимости в системе, а также категории технического состояния строительных конструкций.

Ведущая идея магистерской диссертации состоит в исследовании и совершенствовании способа определения дальнейшего срока безопасной

эксплуатации производственных зданий и сооружений за пределами срока службы, установленного проектной документацией. Исследовательская работа может быть важным шагом для обеспечения безопасного функционирования предприятий, а также повышения эффективности бюджетов, выделяемых на ремонт и эксплуатацию. Прогнозирование работоспособности зданий с истекшим сроком службы требует применения нормативно и научно обоснованных методов обследования, позволяющих учесть все существенные факторы, влияющие на техническое состояние конструкций

Практическая значимость работы заключается в том, что предложенный способ расчета остаточного ресурса строительных конструкций с использованием экспоненциального распределения в соответствии с рекомендациями ЦНИИПромзданий, позволяет учитывать конструктивные особенности и строительный объем здания или сооружения согласно методике, предложенной в научной статье «Определение коэффициента значимости строительных конструкций при оценке технического состояния зданий» [4] Н.А. Бузало и А.В. Канунниковым при определении коэффициентов значимости строительных конструкций с учетом энтропии системы здания.

Теоретическая значимость работы заключается в том, что «расчет остаточного ресурса здания с учетом энтропии системы позволит дать оценку его надежности и дальнейшего срока службы» [4] после обследования независимо от конструктивных особенностей или геометрических характеристик.

Научная обоснованность и достоверность исследовательской работы заключается в применении теории энтропии системы, описанной в научной статье «Определение коэффициента значимости строительных конструкций при оценке технического состояния зданий» [4] Н.А. Бузало и А.В. Канунниковым для определения значимости строительных конструкций при расчете дальнейшего безопасного срока службы промышленного здания. Расчет срока службы здания после окончания проектного выполнен в работе на основании

данных о фактическом на момент проведения обследования техническом состоянии конструкций.

Учитывая изложенное, усовершенствованный метод определения дальнейшего безопасного срока службы с учетом расчета значимости каждой конструкции в системе здания позволяет учитывать максимальное количество факторов, влияющих на срок службы, и делать обоснованные выводы о возможности его дальнейшей безопасной эксплуатации.

Научные положения и результаты исследования, выносимые на защиту магистерской диссертации, включают в себя:

- оценка технического состояния строительных конструкций промышленного здания на основании результатов обследования;
- оценка «значимости строительных конструкций с учетом энтропии системы здания» [4], без учета усредненных коэффициентов значимости, приведенных в рекомендациях «по оценке надежности строительных конструкций зданий и сооружений по внешним признакам, утвержденными «ЦНИИПромзданий» [13];
- расчет остаточного ресурса здания, после окончания проектного срока службы на основании уже имеющейся методики, с учетом сведений о текущем на момент обследования техническом состоянии здания, а также полученных данных о значимости конструкций.

Научная новизна магистерской диссертации заключается в модернизации существующей методики прогнозирования работоспособности зданий в соответствии с рекомендациями «по оценке надежности строительных конструкций зданий и сооружений по внешним признакам» [13], утвержденными ЦНИИПромзданий, путем интегрирования в нее способа «расчета коэффициентов значимости с учетом энтропии системы» [4].

Апробация результатов исследования.

Результаты исследования по теме диссертации были представлены на научно-практической междисциплинарной конференции «Молодёжь. Наука. Общество» (г. Тольятти 2024г). Тема статьи: «Планирование проведения

ремонтных производственных зданий и сооружений с учетом важности и технического состояния строительных конструкций».

Основные задачи магистерской диссертации:

1. Анализ основных методик расчета остаточного ресурса и значимости строительных конструкций при продлении срока службы;

2. Анализ основных этапов и подходов к обследованиям зданий и сооружений, в рамках требований государственных нормативных актов;

3. Установление категории технического состояния строительных конструкций здания и анализ влияния на них дефектов;

4. Применение комплексного подхода к оценке поврежденности промышленных зданий и сооружений, который основывается на анализе значимости каждой отдельной строительной конструкции в рамках общей системы;

5. Определение дальнейшего срока службы промышленных зданий и сооружений, после окончания проектного, на основании результатов обследования и значимости конструкций здания.

Структура магистерской диссертации.

Работа состоит из введения, 3 глав (разделов), заключения, содержит 9 рисунков, 17 таблиц, список использованной литературы (44 источника). Основной текст работы изложен на 92 страницах.

## **Глава 1 Анализ текущего состояния вопроса прогнозирования работоспособности промышленных зданий и сооружений**

### **1.1. Текущее состояние вопроса по определению остаточного ресурса промышленных зданий и сооружений**

В настоящий момент существует достаточно много способов прогнозирования работоспособности на основании данных о техническом состоянии, а также фактического срока службы здания или сооружения с момента ввода в эксплуатацию. Существуют также нормативно-правовые акты, в которых определены усредненные сроки эксплуатации зданий или строительных конструкций в зависимости от материалов изготовления, а также конструктивных характеристик объекта.

Однако, построенное здание или сооружение может иметь не соответствия с проектной документацией, а результаты этих несоответствий могут проявиться с течением времени. Кроме того, информация о строительстве, проведенных ремонтных работах, а также о контроле технического состояния объекта может быть не полной или не достоверной. В связи с этим возникает вопрос о том, как при прогнозировании работоспособности промышленного здания или сооружения за пределами нормативного срока эксплуатации, учитывать максимальное количество факторов, влияющих на техническое состояние объекта, а также каким образом учесть данные факторы при расчете дальнейшего срока службы.

В настоящий момент одни из наиболее применяемых способов решения задачи по прогнозированию работоспособности зданий и сооружений, можно разгруппировать по следующим критериям:

а) «по области применения» [17]:

- 1) «универсальные» [17], применяемые для различных по характеристикам строительных конструкций;

2) «частные» [17], применяемые для конкретного материала, из которого изготовленная строительная конструкция, например железобетонные, металлические, деревянные и др.;

б) «по объему данных, полученных в ходе обследования конструкций» [17]:

1) «вероятностные» [17];

2) «вероятностно-инструментальные» [17];

3) «инструментальные» [17];

б) «в зависимости от типа обследования» [17]:

1) «применимые только по результатам визуально-измерительного контроля» [17];

2) «применимые только по результатам инструментального вида контроля» [17];

3) «применимые по результатам как инструментального вида контроля, так и визуально-измерительного» [17];

С целью оценки существующих методов прогнозирования работоспособности для достижения задач научно-исследовательской работы рассмотрим наиболее распространённые в применении методики.

### **1.1.1. Определение остаточного ресурса с учетом распределения Гаусса Лапласа**

С применением нормального распределения, по результатам мониторинга технического состояния можно приблизительно оценить остаточный ресурс строительных конструкций здания промышленного назначения. Подобный расчет возможно выполнить с учетом усреднённых доверительных вероятностей, соответствующих различным категориям технического состояния приведенных в таблице 1.

Таблица 1 - Усредненные доверительные вероятности надежной работы строительных конструкций

Категория технического состояния	Принятая доверительная вероятность	Квантили нормального распределения $x = t - T_H/\sigma$
Нормативное	0,95	1,65
Работоспособное	0,90	1,28
Ограничено-работоспособное	0,85	1,03

Оценка остаточного ресурса строительных конструкций выполняется с учетом квантилей нормального распределения, по формуле (1)

$$T_{\text{ост}} = (T_H - U_\alpha \cdot \sigma) - t_{\text{эспл}} \quad (1)$$

Где  $t_{\text{эспл}}$  – фактический срок службы здания;

$\sigma$  – «среднеквадратичное отклонение срока службы конструкции» [17];

$U_\alpha$  – «квантиль распределения Гаусса, соответствующий принятой доверительной вероятности  $\alpha$  для принятого технического состояния объекта» [17];

«При длительном сроке эксплуатации зданий использовать эту формулу нельзя; ее можно использовать исключительно для предварительной оценки из-за большой погрешности» [17].

### **1.1.2. Оценка остаточного ресурса железобетонных конструкций с учетом полученных данных о прочности конструкций**

По длительной прочности бетона остаточный ресурс железобетонных конструкций можно определить, учитывая воздействие влаги или агрессивных сред на железобетонную конструкцию, так как происходит постепенное снижение прочности бетона, а также коррозия арматуры и дегидратация цементного камня. Так же на основании исследований доказано, что в случае нормальных условий эксплуатации, набор прочности с продолжительностью

времени может продолжаться. Данную закономерность можно увидеть на графике зависимости прочности бетона от продолжительности эксплуатации (рисунок 2).

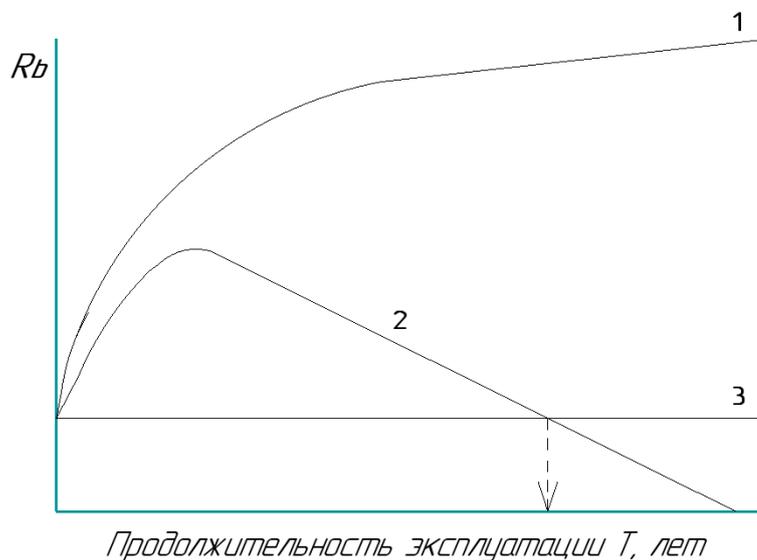


Рисунок 1 – График зависимости прочности бетона от продолжительности эксплуатации: 1 – теоретический набор прочности бетона в нормальных условиях; 2 – прогноз набора прочности бетона в реальных условиях; 3 – прочность бетона в соответствии с проектной документацией.

«Длительную прочность на момент эксплуатации» [17] можно вычислить по формуле 2.

$$R_t = R_{b,\text{проект}}(1 + \alpha \cdot \lg t) - k_r(t - t_0) \quad (2)$$

Где  $R_{b,\text{проект}}$  – «проектная прочность бетона» [17];

$\alpha$  – «коэффициент, характеризующий интенсивность прироста прочности бетона со временем и зависящий от состава бетонной смеси, условий хранения образцов и других факторов» [17];

$t$  – «срок эксплуатации ЖБК» [17];

$t_0$  – «начальный период времени, от которого ведется расчет продолжительности срока эксплуатации ЖБК» [17];

$k_r$  – «коэффициент интенсивности снижения прочности бетона» [17].

Дальнейший расчет остаточного ресурса ведется с учетом двух условий:

$$R_t \leq R_{b,\text{проект}}$$

$$R_t \geq R_{b,\text{проект}}$$

«Достоинство данного метода: получаемая величина остаточного ресурса является объективной и достоверной, поскольку используются объективные величины, которые получают в процессе обследования. К тому же само выражение для определения длительной прочности бетона получено на основании многочисленных экспериментальных исследований и, следовательно, хорошо согласуется с практикой» [17]

Однако существует недостаток, связанный с выбираемым способом проведения инструментального контроля, от результатов которых зависит точность расчета.

### **1.1.3. Оценка остаточного ресурса металлоконструкций с учетом скорости коррозии**

Оценка остаточного ресурса металлоконструкций с учетом скорости коррозии стенки является одним из наиболее распространённых методов, используемых для оценки работоспособности и надежности металлоконструкций. Данная методика основана на том, что работоспособность зависит не только от факторов, негативно воздействующих на металл, но и скорости коррозии по значениям которой возможно определить деградацию материала.

Для оценки остаточного ресурса конструкций при обследовании проводят ряд измерений и исследований. В первую очередь необходимо определить отклонение толщины стенки металла от проектных значений, в данных целях может быть использован ультразвуковой контроль, рентгенография и другие инструментальные способы.

Остаточный ресурс с учетом скорости коррозии определяется по формуле (3).

$$T = \frac{S_f - s_0}{v} \quad (3)$$

Где  $S_f$  – «фактическая толщина металла, мм» [17];

$s_0$  – «минимальная толщина металла, мм (определяется из требований стандартов, норм или проекта)» [17];

$v$  – «скорость коррозии» [17];

Скорость коррозии определяется по формуле (4).

$$v = \frac{S + C_0 - s_f}{t} \quad (4)$$

Где  $S$  – «проектная толщина металла, мм» [17];

$t$  – «срок эксплуатации металлоконструкции» [17];

$s_f$  – «утонение стенки металла за период эксплуатации, мм» [17];

$C_0$  – «плюсовой допуск на толщину металла, мм» [17];

«Основным преимуществом, данного метода, является то, что при незначительном изменении исходных данных конечный результат также изменится незначительно, т. е. не подвержен колебаниям. Именно поэтому данный метод нашел широкое применение в строительной отрасли» [17]

Из ключевых недостатков можно выделить заниженные полученные значения по результатам расчета скорости коррозии в случаях, когда металлоконструкции эксплуатируются в агрессивной среде.

#### **1.1.4. Экспертная оценка остаточного ресурса конструкций по нелинейной модели развития физического износа**

Методика основана на сборе и анализе информации о состоянии строительных конструкций, включая данные о факторах, влияющих на износ, таких как климатические условия, механические нагрузки, воздействие агрессивных химических сред. Затем на основании полученных данных, а также оценки эксперта о степени физического износа конструкций строится нелинейная математическая модель, которая позволяет прогнозировать дальнейшее развитие износа.

Остаточный ресурс вычисляется по формуле (5).

$$T = \frac{t(F + e^{m \cdot f})}{e^{m \cdot f} - 1} \quad (5)$$

Где  $t$  – «текущее время эксплуатации» [17];

$F$  – «предельное значение физического износа» [17];

$F$  – «физический износ строительной конструкции на момент обследования» [17];

$m$  – «коэффициент, характеризующий форму кривой» [17];

«Как отмечается в научной литературе, посвященной вопросам надежности и долговечности, развитие и накопление повреждений в различных сложных системах осуществляется согласно кривой» [37] (Рисунок 2).

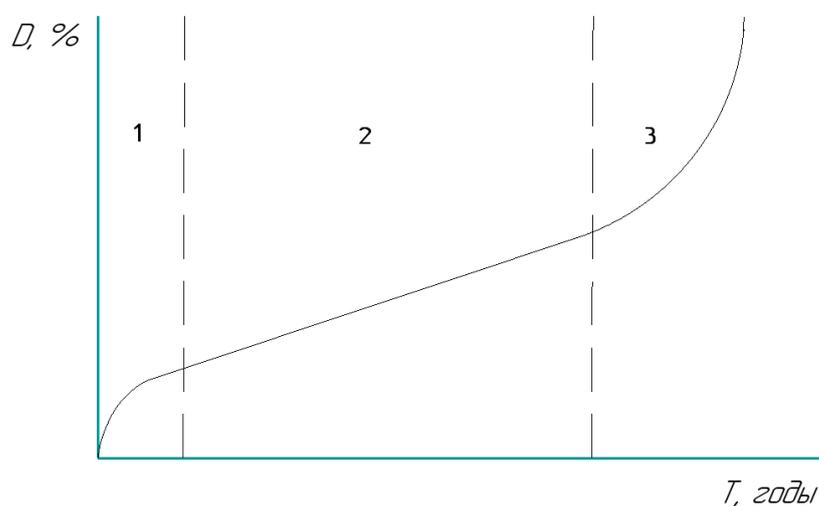


Рисунок 2 – «График зависимости накопления повреждений во времени» [37]

Определить прогресс физического износа на момент обследования можно по формуле (6).

$$f = \ln \left( \frac{1 + F \cdot t/T}{1 - t/T} \right) \quad (6)$$

Где  $f$  – «физический износ строительной конструкции на момент обследования» [37];

$F$  – «предельное значение физического износа на момент времени  $T$ » [37];

$t$  – «текущее время эксплуатации» [37];

$T$  – «предельное время эксплуатации конструкции до развития максимального физического износа  $F$ » [37];

$m$  – «коэффициент, характеризующий форму кривой» [17];

«Проведенный предварительный анализ формулы (2) и графиков, построенных при ее использовании, позволил установить следующие математические зависимости коэффициента  $m$  от времени предельной эксплуатации конструкции  $T$ » [37]:

– «при предельном значении износа 70% [37],  $m = 0,014 \cdot \ln (T) + 0,082$ ;

– «при предельном значении износа 80%» [37],  $m = 0,012 \cdot \ln (T) + 0,073$ .

«Графическое представление полученных функциональных зависимостей представлено» [37] на рисунке 3.

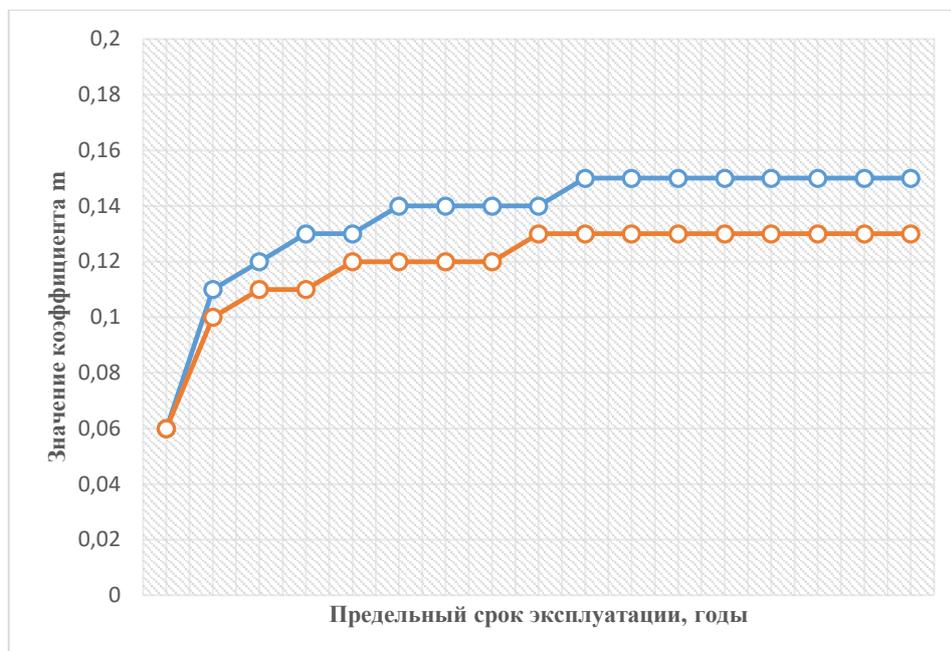


Рисунок 3 – «График зависимости коэффициента  $m$  от предельного значения физического износа  $F$  и предельного срока службы конструкции  $T$ » [37]

«Достоинством данного метода можно считать то, что он позволяет получать объективные и точные оценки величины остаточного ресурса» [17].

Одним из недостатков можно назвать то, что для установления зависимостей между степенью физического износа и оставшимся сроком службы в некоторых случаях требуется продолжительный мониторинги исследования.

### **1.1.5. Оценка остаточного ресурса строительных конструкций с учетом экспоненциального распределения**

В рамках проведения обследования по истечении нормативного срока службы промышленных зданий и сооружений, а также, если данные о проектном сроке службы отсутствуют, кроме оценки технического состояния строительных конструкций, одной из задач является оценка остаточного ресурса. Для оценки надёжности расчета срока службы производственных зданий в большей мере применение находят «Рекомендации по оценке надежности строительных

конструкций зданий и сооружений по внешним признакам» [13]. Взятая за основу методика оценки надежности конструкций предполагает проведение визуально-измерительного контроля и выявление повреждений отдельных конструктивных элементов. Оценка остаточного ресурса здания основывается на всестороннем анализе технического состояния, оцененной надежности, периода эксплуатации на момент проведения оценки технического состояния и значимости каждой строительной конструкции в системе здания.

Срок службы до капитального ремонта здания по данной методике можно определить по формуле (7):

$$t_{кр} = 0,16/\lambda \quad (7)$$

Где  $\lambda$  – «постоянная износа определяемая в соответствии с формулой (8):

$$\lambda = \frac{-\ln y}{t\varphi} \quad (8)$$

Где  $y$  – «относительная надежность, определяемая по категории технического состояния конструкции в зависимости от повреждений» [13];

$t\varphi$  – «срок эксплуатации в годах на момент обследования» [13]

Относительная «надежность» [13] здания, а также «общая поврежденность» [13] определяются в соответствии с формулами (21) и (22)

Одним из достоинств настоящего метода является относительно, несложное получение данных о поврежденности здания, а также о дальнейшем возможном сроке безопасной эксплуатации. Выбранная за основу методика позволяет сделать выводы о возможном дальнейшем сроке службы конструкций с учетом технического состояния и значимости на основании обоснованного расчета.

Поскольку в выбранной за основу методике, коэффициенты значимости конструкций для дальнейших расчетов, имеют усредненные значения по несущим конструкциям не зависимо от конструктивных особенностей, строительного объема здания или сооружения, то в рамках исследовательской работы, значимость каждой строительной конструкции предлагается рассмотреть с точки зрения энтропии системы по описанному в научной статье «Определение коэффициента значимости строительных конструкций при оценке технического состояния зданий» [4] Н.А. Бузало и А.В. Канунниковым методом. Иными словами, для определения значимости конструкций в системе рассмотрим физическую систему выбранного здания, как потенциально способную находиться в одной из двух категорий технического состояния, а именно работоспособном или неработоспособном. Энтропией в данном контексте будет то, что до проведения обследования вероятность нахождения системы в каждом из двух состояний будет неизвестна.

## **1.2. Основные этапы и методы мониторинга технического состояния зданий и сооружений**

Периодические обследования строительных конструкций промышленных зданий и сооружений являются одним из мероприятий, обеспечивающих безопасную эксплуатацию объекта, так как на всех этапах жизненного цикла на производственные здания и сооружения могут негативно влиять множество факторов, например, таких как: воздействие окружающей среды, факторы вызванные особенностями технологических процессов, несвоевременный или некачественный контроль за техническим состоянием, а также проведением ремонтов зданий и сооружений.

Для того что бы поддерживать здания и сооружения в работоспособном состоянии за рамками срока службы установленного проектом, необходимо своевременно реализовывать мероприятия касающиеся эксплуатации, в том числе проведение периодических обследований в соответствии с нормативно

технической документацией в строительстве (ГОСТ, СП, ТСН, СНИП и т.д.) с целью оценки работоспособности зданий и сооружений, определения дальнейшего срока безопасной эксплуатации, а также выявления мероприятий по устранению дефектов и повреждений, если такие были обнаружены в процессе обследования.

На этапе эксплуатации промышленных объектов отсутствие должного контроля за техническим состоянием зданий и нарушение нормативных сроков проведения периодических обследований может привести в отдельных случаях к разрушениям конструкций зданий и сооружений.

Поскольку на данный момент, большинство производственных зданий и сооружений промышленного назначения в субъектах РФ построены во временном отрезке с 1960 по 1980-е годы. Многие из них эксплуатируются за пределами срока службы, установленного проектной документацией, в результате чего могут иметь скрытые дефекты и повреждения, влияющие на несущую способность строительных конструкций зданий и сооружений на производствах.

Рассмотрим работу по обследованию строительных конструкций промышленных зданий и сооружений на примере здания ЦТП-1, она была проведена в три основных этапа, включающие в себя:

- подготовительную работу;
- «визуально-измерительный контроль строительных конструкций» [14];
- выборочный инструментальный контроль строительных конструкций.

### **1.2.1. Подготовительные работы**

В рамках подготовки к проведению обследования здания ЦТП-1 были реализованы следующие мероприятия:

- подготовка оборудования, инструментов и материалов, необходимых для проведения обследования;
- сбор и анализ документации, включающей в себя проектную и эксплуатационную документацию на здание;

- сбор и анализ информации о проведенных ранее обследованиях и ремонтах здания (отчеты, заключения, акты выполненных работ, записи в эксплуатационном журнале);
- «изучение схем и спецификации здания, включая разрезы, фасады здания, расположение инженерных коммуникаций и другого оборудования» [14];
- «предварительный осмотр здания и его элементов, включая определение их состояния и дефектов» [14];
- составление программы проведения обследования здания, включающей в себя объемы, сроки и методы дальнейших работ по обследованию;

В целях получения более полной информации о техническом состоянии эксплуатируемого здания, также была изучена следующая документация:

- акты ввода в эксплуатацию, содержащие в себе информацию о качестве строительства, а также информацию о соответствии здания установленным нормам и правилам, действующим на момент ввода здания в эксплуатацию;
- паспорт здания, содержащий в себе информацию о конструктивных особенностях здания, его технических характеристиках и состоянии;
- журнал эксплуатации, в котором фиксируется информация о техническом обслуживании и ремонте здания, а также обнаруженные при осмотрах, дефекты и неисправности;

Собранные данные об эксплуатируемом здании позволили провести анализ условий его эксплуатации, факторов, влияющих на работоспособность конструкций, и имеющихся, дефектов, выявленных в рамках внутренних проверок на предприятии.

«После ознакомления с объектом и соответствующей документацией, была разработана программа работ по обследованию, основанная на техническом задании заказчика. В данной программе были отражены: цель и задачи обследования; объем исследуемой части здания и перечень строительных конструкций, подлежащих обследованию; места и методы инструментальных

измерений и испытаний с использованием приборов неразрушающего контроля качества материалов конструкций» [14].

Далее перед проведением дальнейших работ, были подготовлены и проверены на предмет поверки, средства измерения для проведения неразрушающего контроля (Таблица 2).

Таблица 2 - Перечень инструментов технической диагностики, оборудования и средств измерения

Наименование прибора	Заводской №	Дата поверки	Назначение прибора, средства измерения
Дальномер лазерный «Leica DISTOD810»	5034520393	12.02.2024	Измерение геометрических пропорций здания
Цифровой фотоаппарат Canon «PowerShot D20»	-	-	Фотосъёмка
Комплект для визуального и измерительного контроля (ВИК)	557	12.02.2024	Линейные измерения
Измеритель прочности бетона ИПС- МГ4.03	10452	12.02.2024	Определение прочности бетона

При анализе технической документации были изучены документы в соответствии с таблицей 3.

Таблица 3 - Перечень рассмотренной документации

Документ	Объем рассмотренных документов
Технический паспорт на здание или сооружение.	Технический паспорт ЦТП №1, на 11 листах
Журнал эксплуатации здания	Журнал эксплуатации здания ЦТП-1 на 30 листах
Акты проведенных осмотров и заключения (отчеты) специализированных организаций о ранее выполненных экспертизах (обследованиях)	№53-ЗС-21865-2016 ООО «МИК-инжиниринг» в 2016г
Свидетельство о регистрации в государственном реестре опасного производственного объекта	A02-91244-0317, на 25 листах

После выполнения основных подготовительных работ, а именно разработки и согласования программы проведения обследования, подготовки инструментов для проведения диагностики, сбора проектных и других эксплуатационных характеристик здания на основании имеющейся документации, а также передачи здания от эксплуатирующего подразделения, разрешается приступать к обследованию производственного здания.

### **1.2.2. Визуально измерительный контроль строительных конструкций**

Визуально-измерительный контроль осуществляется с «целью первичной оценки технического состояния строительных конструкций, инженерного и электрооборудования. Он позволяет определить необходимость проведения более детального (инструментального) обследования и уточнить программу работ. В ходе обследования выполняется визуально-измерительный контроль конструкций здания, инженерного и электрооборудования, с выявлением дефектов и повреждений по внешним признакам, а также с проведением необходимых замеров с фиксацией результатов» [14].

«Визуально-измерительный контроль строительных конструкций здания, является одним из важнейших этапов обследования. Начинается осмотр здания с проверки соответствия между предоставленной проектной и эксплуатационной документацией и реальным состоянием строительных конструкций здания» [14].

Несоответствия с проектом, выявленные при осмотре, фиксируются и анализируются, так же по результатам анализа должны быть установлены причины отступлений. У объектов, находящихся на этапе эксплуатации, также должна быть проведена проверка устранения несоответствий (при наличии таковых), указанных комиссией при вводе здания в эксплуатацию.

В рамках проведения визуально-измерительного контроля здания ЦТП-1 был выполнен осмотр:

- состояния стен, на предмет отклонения геометрических характеристик, включая проверку наличия трещин, состояния оконных и дверных проемов, наличия заметных зазоров между стеной и перекрытием;
- состояния плит покрытий, на предмет отклонения геометрических характеристик, включая наличие каких-либо отслоений или сколов бетона, обнажения или коррозии арматуры, трещинообразования;
- кровли на предмет наличия протечек, в следствии повреждения изоляционного слоя, трещин на стыках изоляционного слоя, вспучиваний, включая осмотр общего состояния сливов;
- окон и дверей на предмет сохранения геометрических характеристик, а также общего состояния физического износа;
- перегородок внутри здания на предмет наличия трещин или зазоров в местах сопряжений, щелей под и над перегородками;
- кирпичных колонн на предмет наличия отклонений от проектных геометрических характеристик, а также разрушение кирпичей, наличие трещин в кладке;
- железобетонной балки покрытия на предмет наличия трещин, отслоений бетона, коррозии арматуры, видимых прогибов;
- металлической двутавровой балки покрытия на предмет наличия, каких-либо деформаций, коррозии, хрупких трещин, дефектов в сварных швах;
- отмостки на предмет наличия приседаний, образования поверхностных или глубоких трещин, щелей между цоколем и отмосткой;

- состояния пола и напольного покрытия на предмет наличия трещин, сколов, отсутствия покрытия и отслоений.

Так же по результатам проведения визуально-измерительного контроля были зафиксированы дефекты, актуализирована конструктивная схема здания ЦТП-1, актуализирована схема мест проведения работ по неразрушающему контролю конструкций. Проведена предварительная оценка технического состояния строительных конструкций, а также инженерного оборудования, на основании выявленных дефектов.

Программа обследования может быть скорректирована, например в случаях, когда по итогам проведения визуально-измерительного контроля, без инструментального диагностирования, или лабораторных исследований невозможно определить категорию работоспособности строительной конструкции. В таком случае корректируются объемы и стоимость проведения работ, изменения в программе согласовываются с заказчиком.

«В случае выявления дефектов и повреждений, которые уменьшают прочность, устойчивость и жесткость несущих конструкций здания (таких как колонны, балки, плиты покрытий и других элементов), следует приступить к проведению детального обследования. В случае выявления характерных трещин, перекосов элементов здания, разломов стен и других повреждений и деформаций, указывающих на неудовлетворительное состояние грунтового основания, в рамках детального (инструментального) обследования проводятся инженерно-геологические исследования. Результаты этих исследований могут потребовать не только восстановления и ремонта строительных конструкций, но также и усиления основания» [14].

Обмерные работы в рамках обследования проводятся в целях определения соответствия проекту расположения строительных конструкций, а также для уточнения их реальных размеров. «На основе проведенных измерений разрабатываются планы с актуальным расположением конструкций, разрезы зданий, чертежи рабочих сечений несущих конструкций и узлы соединений конструкций и их элементов» [14].

Для выполнения измерительных работ по мере необходимости используются, такие инструменты и приборы, как рулетка или лазерный дальномер, строительные угольники, уровнемеры, строительные линейки, карандаши, маркеры, планшеты для составления схем на месте, фотоаппарат или смартфон для фиксации дефектов. Все используемые измерительные инструменты и приборы должны быть поверены в соответствии с установленными государственными требованиями и стандартами.

В рамках проведения измерительного контроля, при обследовании конструкций здания ЦТП-1 были также проведены следующие работы:

- «уточнены геометрические размеры здания, включая разбивочные оси, а также длину ширину, высоту здания» [14];
- «определено расположение конструкций относительно друг друга и стен здания» [14];
- «уточнены геометрические размеры и формы проемов» [14];
- «определены толщины, высоты и ширины элементов конструкций» [14];
- «определены углы наклона, кривизна и деформация элементов конструкций» [14];
- «выполнены замеры трещин, сколов, и площади коррозии и других повреждений на строительных конструкциях» [14];

«При проведении освидетельствования необходимо проверить ключевые размеры конструктивной схемы: длину пролетов, высоту колонн, ширину и высоту сечений. От соблюдения этих параметров зависит напряженно-деформированное состояние элементов конструкций в процессе их эксплуатации. В некоторых случаях также проверяются горизонтальность перекрытий, соблюдение заданных уклонов, а также вертикальность несущих элементов и ограждений. Для относительно небольших сооружений эти контрольные измерения не представляют особой сложности и выполняются с использованием рулеток, отвесов и нивелиров» [14].

### **1.2.3. Выборочный инструментальный контроль строительных конструкций**

В зависимости от объемов работ, определенных техническим заданием заказчика, а также от полноты технической документации, объема предоставленной информации о наличии, каких-либо дефектов в конструкциях здания, инструментальное обследование может быть проведено как в полном объеме, так и выборочно.

Если в ходе обследования выявляется «не менее 20 % однотипных конструкций из общего числа, превышающего 20, находятся в работоспособном состоянии, то разрешается проводить выборочное обследование оставшихся непроверенных конструкций. Объем выборочного обследования должен составлять не менее 10 % однотипных конструкций, но не менее трех» [12].

По итогам проведения визуально-измерительного контроля, проведен анализ причин возникновения, ранее выявленных дефектов строительных конструкций здания.

По обнаруженным дефектам были разработаны мероприятия по их устранению и ремонту, так как они не угрожают безопасной эксплуатации объекта, а также «не менее 20 % однотипных конструкций здания из общего числа находятся в работоспособном техническом состоянии. Принято решение о проведении инструментального контроля железобетонных и кирпичных конструкций на соответствие проектным характеристикам прочности материалов» [14]. Инструментальный контроль был проведен методом ударного импульса измерителем прочности бетона ИПС- МГ4.03.

При проведении инструментального контроля методом ударного импульса, было установлено, что фактические показатели прочности бетона в ж/б строительных конструкциях и прочность кирпича, раствора стен соответствуют требованиям государственных норм и правил, а также решениям типового проекта, результаты измерений приведены в главе посвященной практическим аспектам проведения обследования.

### **1.3. Особенности мониторинга технического состояния промышленных зданий и сооружений**

Обследование зданий и сооружений на производственных предприятиях, в целях определения технического состояния, проводятся специализированной организацией, имеющей необходимый инструментарий, который прошел поверку и подтверждение соответствия законодательству в области обеспечения единства измерений, а также специалистов, имеющих опыт, соответствующий особенностям технологических процессов, протекающих на объектах, аттестованных на соответствующие виды работ по обследованию.

Одной из особенностей при проведении обследования зданий и сооружений производственного назначения является исследование параметров эксплуатационных сред характерных для конкретного производства, а также оценка микроклиматических условий. Условия среды должны обладать определенными параметрами и комфортностью температуры окружающего воздуха в помещениях, а также на рабочих местах, в зоне работающего оборудования или зоне обслуживания. Требования к параметрам микроклимата в помещениях регламентируются государственными нормативными актами. В производственных помещениях должны быть обеспечены оптимальные условия микроклимата с постоянным или временным пребыванием работников в обслуживаемых зонах.

Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений изложены в таблице 4.

Таблица 4 – Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Осенне-зимний	Ia (до 139)	22-24	21-25	40-60	0,1
	Iб (140-174)	21-23	20-24	40-60	0,1
	IIa (175-232)	19-21	18-22	40-60	0,2
	IIб (233-290)	17-19	16-20	40-60	0,2
	III (более 290)	16-18	15-19	40-60	0,3
Весенне-летний	Ia (до 139)	23-25	22-26	40-60	0,1
	Iб (140-174)	22-24	21-25	40-60	0,1
	IIa (175-232)	20-22	19-23	40-60	0,2
	IIб (233-290)	19-21	18-22	40-60	0,2
	III (более 290)	18-20	17-21	40-60	0,3

Так же в производственных помещениях с повышенными тепловыми излучениями, которые также называют горячими, проводятся замеры интенсивности тепловых излучений, такие производственные площадки наиболее часто встречаются в металлургической промышленности, а также на производствах машиностроения, энергетике. При оценке влияния повышенных температур на строительные конструкции возможно применение актинометра, приемную поверхность которого необходимо установить параллельно поверхностям строительной конструкции в целях измерения интенсивности излучений. Также совместно с замерами интенсивности излучений необходимо провести измерение температуры поверхности строительных конструкций, а также температуру и скорость движения воздуха рядом с конструкцией.

Следующим, не мало важным мероприятием при обследовании многих промышленных зданий и сооружений является оценка агрессивности химической среды, влияющей на состояние строительных конструкций.

Степень агрессивного воздействия химических веществ в процессе эксплуатации строительных конструкций зависит от их природы,

производственных условий, опасности объекта, концентрации, а также физико-химических свойств.

Степень «агрессивности воздействия жидких органических сред на бетон согласно СП 28.13330.2017 Защита строительных конструкций от коррозии» [22] приведена в таблице 5.

Таблица 5 – Степень агрессивности воздействия жидких органических сред на бетон

Среда	Степень агрессивного воздействия жидких органических сред на бетон марки по водонепроницаемости		
	W4	W6	W8
Масла:			
минеральные	Слабоагрессивная	Слабоагрессивная	Неагрессивная
растительные	Среднеагрессивная	Среднеагрессивная	Слабоагрессивная
животные	То же	То же	То же
Нефть и нефтепродукты:			
сырая нефть <sup>1)</sup>	Среднеагрессивная	Среднеагрессивная	Слабоагрессивная
сернистая нефть	То же	Слабоагрессивная	То же
сернистый мазут	"	То же	"
дизельное топливо	Слабоагрессивная	"	Неагрессивная
керосин	То же	"	То же
бензин	Неагрессивная	Неагрессивная	"
Растворители:			
предельные углеводороды (гептан, октан, декан и т.д.)	Неагрессивная	Неагрессивная	Неагрессивная
ароматические углеводороды (бензол, толуол, ксилол, хлорбензол и т.д.)	Слабоагрессивная	То же	То же

Продолжение таблицы 5

Среда	Степень агрессивного воздействия жидких органических сред на бетон марки по водонепроницаемости		
кетоны (ацетон, метилэтилкетон, диэтилкетон и т.д.)	То же	Слабоагрессивная	"
Кислоты:			
водные растворы кислот (уксусная, лимонная, молочная и т.д.) концентрацией св. 0,05 г/дм <sup>3</sup>	Сильноагрессивная	Сильноагрессивная	Сильноагрессивная
жирные водонерастворимые кислоты (каприловая, капроновая и т.д.)	То же	Среднеагрессивная	Среднеагрессивная
Спирты:			
Одноатомные	Слабоагрессивная	Неагрессивная	Неагрессивная
Многоатомные	Среднеагрессивная		Слабоагрессивная
Мономеры:			
Хлорбутадиен	Сильноагрессивная	Сильноагрессивная	Среднеагрессивная
Стирол	Слабоагрессивная	Слабоагрессивная	Неагрессивная
Амиды:			
карбамид (водные растворы концентрацией от 50 до 150 г/дм <sup>3</sup> )	Слабоагрессивная	Слабоагрессивная	Неагрессивная
свыше 150 г/дм <sup>3</sup>	Среднеагрессивная	Среднеагрессивная	Слабоагрессивная
дициандиамид (водные растворы концентрацией до 10 г/дм <sup>3</sup> )	Слабоагрессивная	Слабоагрессивная	Слабоагрессивная
диметилформаид (водные растворы концентрацией от 20 до 50 г/дм <sup>3</sup> )	Среднеагрессивная	Слабоагрессивная	Слабоагрессивная
свыше 50 г/дм <sup>3</sup>	Сильноагрессивная	Среднеагрессивная	Среднеагрессивная

Продолжение таблицы 5

Среда	Степень агрессивного воздействия жидких органических сред на бетон марки по водонепроницаемости		
Прочие органические вещества:			
фенол (водные растворы концентрацией до 10 г/дм <sup>3</sup> )	Среднеагрессивная	Среднеагрессивная	Среднеагрессивная
формальдегид (водные растворы концентрацией от 20 до 50 г/дм <sup>3</sup> ),	Слабоагрессивная	Слабоагрессивная	Неагрессивная
свыше 50 г/дм <sup>3</sup>	Среднеагрессивная	Среднеагрессивная	Слабоагрессивная
Дихлорбутен	То же	То же	То же
тетрагидрофуран	"	Слабоагрессивная	"
сахар (водные растворы концентрацией св. 0,1 г/дм <sup>3</sup> )	Слабоагрессивная	То же	Неагрессивная

Обследование промышленных зданий и сооружений с целью оценки остаточного ресурса, включает в себя ряд мероприятий, направленных на установление категории технического состояния, а также прогнозирование работоспособности, и имеют ряд особенностей, обусловленных инженерной сложностью производственных зданий, а также назначением объекта в различных отраслях.

Выводы по главе 1.

1. Оценка дальнейшего срока службы промышленных зданий и сооружений после истечения проектного является обязательным требованием государственных нормативных актов на опасных производственных объектах, а также может быть регламентирована внутренними стандартами для зданий производственного или общественного назначения в некоторых отраслях, независимо от опасности.

2. Своевременное выявление дефектов и оценка остаточного ресурса позволяют предотвратить потенциальные разрушения конструкций зданий и оптимизировать затраты на поддержание объектов в работоспособном состоянии.

3. Существующие методы оценки, несмотря на свою эффективность, могут быть подвержены влиянию субъективных факторов и ограничений, связанных с разным подходом к обследованиям у специалистов, доступностью исходных данных и сложностью конструкций зданий.

4. Выбранная за основу методика оценки остаточного ресурса, в соответствии с рекомендациями «ЦНИИПромзданий», содержит в себе усредненные значения коэффициентов значимости конструкций, позволяющие значительно упростить работу по расчету дальнейшего срока службы, однако не учитывает конструктивные особенности, строительный объем здания или сооружения.

5. Способ расчета коэффициентов значимости с учетом энтропии системы, предложенный в научной статье «Определение коэффициента значимости строительных конструкций при оценке технического состояния зданий» Н.А. Бузало и А.В. Канунниковым позволяет учитывать геометрические характеристики здания и области отказов конструкций при возможном обрушении. Данный подход при расчете остаточного ресурса позволяет более детально рассмотреть значимость конструкций в системе зданий.

## **Глава 2 Практические аспекты проведения обследования промышленного здания и определение технического состояния**

### **2.1. Характеристика, исходные данные и назначение объекта, выбранного для прогнозирования работоспособности**

В рамках исследовательской работы, а также с целью рассмотрения и решения задач, связанных с определением работоспособности промышленных зданий и сооружений за пределами нормативного срока эксплуатации, было выбрано промышленное здание, эксплуатируемое производственным предприятием «Тольяттинские тепловые сети», а именно центральный тепловой пункт №1 (далее: ЦТП-1), расположенный по адресу: Самарская область, г. Тольятти, ул. Чайкиной, 67б.

Здание введено в эксплуатацию в 1978 году и эксплуатируется по своему назначению как центральный тепловой пункт. Внутри располагается технологическое оборудование для подготовки и распределения горячей воды, а также теплоносителя для внутренних систем отопления и горячего водоснабжения жилых домов.

Здание ЦТП-1 представляет собой одноэтажное здание прямоугольной формы размерами 18,0 × 12,0 м в осях А-В/1-4 (Рисунок 4).

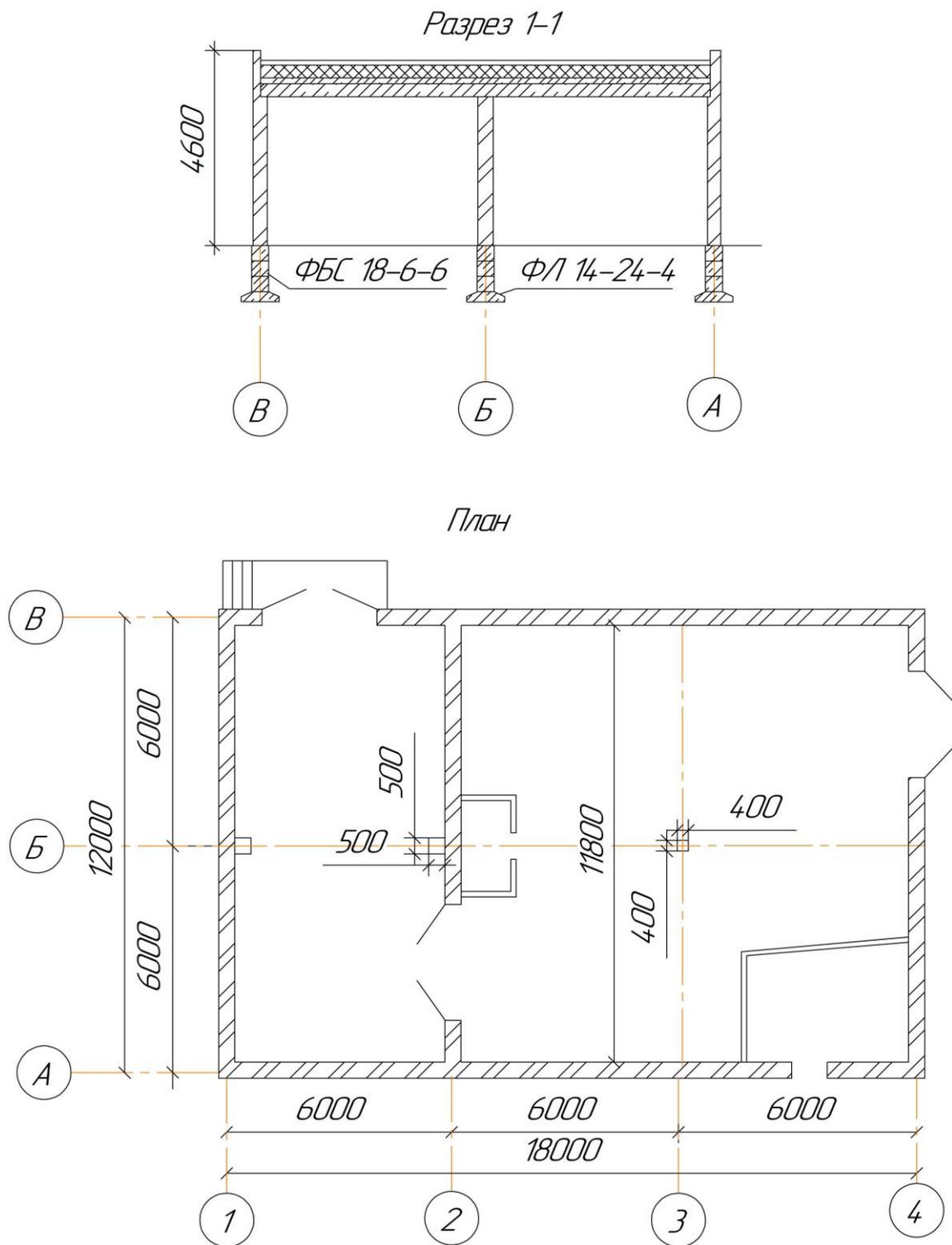


Рисунок 1- Здание ЦТП-1

Высота здания: +4,6м.

Площадь застройки: 233,75 м<sup>2</sup>.

Строительный объем здания: 1075,25 м.

Здание ЦТП с неполным каркасом. Фундамент ленточный выполненный из фундаментных блоков из бетона класса В7,5.

Наружные стены толщиной 380 мм выполнены из силикатного кирпича. По осям «1/Б», «2/Б» располагаются колонны сечением 500х500 мм и 400х400 мм по оси «3/Б» для опирания на них балок покрытия.

В качестве покрытия используются железобетонные многопустотные плиты по серии ИИ-04-4 в.19. Кровля плоская, рулонная с уклоном в сторону внутренних водостоков.

Входные ворота – металлические и деревянные. Внутренние двери в помещения – деревянные.

Влажностный режим помещений здания – влажный, степень воздействия среды на конструкции здания – не агрессивная.

Освещение – искусственное.

## **2.2. Вопросы разработки программы проведения обследования здания**

Обследование промышленных зданий проводится на основании программы проведения обследования, которая разрабатывается и утверждается до начала работ на объекте.

Программой проведения обследования должны быть определены цели и задачи, а также объем проводимых работ. Обследование здания должно охватывать оценку работоспособности и степени износа конструкций, выявление дефектов, а также оценку качества эксплуатации здания на предприятии.

С целью своевременного завершения работ, должны быть определены сроки проведения обследования, так как для производственных зданий это имеет также экономическую значимость. Планирование и согласование сроков проведения обследования здания с заказчиком осуществляется, как правило, с

учетом срока его эксплуатации, его проектных и исполнительных характеристик, условий окружающей среды и других факторов.

На основании полученных данных, по итогам обследования в программе должны быть отражены требования к оформлению результатов. Результаты обследования промышленного здания должны быть оформлены в заключении в соответствии с требованиями заказчика и нормативными документами, а также содержать информацию о техническом состоянии конструкций, рекомендации по его дальнейшей эксплуатации, оценке остаточного ресурса.

Так же немаловажным аспектом является контроль качества выполненных работ по обследованию. Определение в программе лиц, принимающих работы со стороны заказчика и со стороны организации, проводящей обследования, от непосредственных исполнителей может позволить выявить возможные недочеты по проведенным видам контроля и проекту заключения, а также обеспечить высокое качество выполнения работ по обследованию и его оформлению.

С целью дальнейшего прогноза работоспособности выбранного здания в рамках исследовательской работы было определено техническое состояние строительных конструкций промышленного здания. Результаты выполненных работ по обследованию оформлены в соответствии с разработанной программой.

Объем работ по обследованию здания ЦТП-1 представлен в таблице 6.

Таблица 6 – Объем проведения обследования здания ЦТП-1

Раздел	Содержание
Цель проведения обследования	Оценка соответствия объекта требованиям государственных нормативных актов.
	Выявление фактического состояния конструкций, оценка возможности дальнейшей безопасной эксплуатации объекта.
Состав работ	Анализ технической документации (проектной, исполнительной, эксплуатационной), ранее выполненных экспертиз (или обследований).
	Выявление условий эксплуатации конструкций (влажность среды, агрессивность среды (по СП 28.13330.2017)).
	Проверка технического состояния строительных конструкций здания.

Продолжение таблицы 6

Раздел	Содержание
	Определение точек отбора проб материалов в рамках лабораторных исследований (если есть необходимость), при осуществлении предварительного осмотра зданий.
	Обмерные работы конструкций и их узлов, анализ соответствия проектным размерам или другим требованиям.
	Визуальный контроль состояния конструкций (в соответствии с ГОСТ 31937-2024), составление ведомости дефектов и повреждений.
	Техническая диагностика (инструментальный контроль для установления прочности строительных материалов в соответствии с ГОСТ 22690).
	Уточнение динамических характеристик и проведение дополнительных исследований конструкций (если есть необходимость).
	Дополнительные испытания материалов (если есть необходимость), в рамках определения дальнейшей безопасной эксплуатации здания.
	Определение теплотехнических характеристик ограждающих конструкций (наружных стен) здания с целью проверки соответствия фактических параметров микроклимата производственного помещения, конструктивных решений проектной документации и требованиям действующих нормативных актов, а также оценки влияния климатических факторов.
	Проведение поверочного расчета физического износа здания, а также технического состояния (методика расчёта выбирается в зависимости от вида и материала конструкций).
Специальные мероприятия	В случае обнаружения при обследовании аварийных участков, представляющих опасность, территория ограждается до проведения демонтажа или усиления конструкций.

Выполнение мероприятий по подготовке здания и оборудования в целях безопасности до начала работ должны быть согласованы с эксплуатирующим предприятием, на объектах которого проводится обследование.

### **2.3. Оценка технического состояния, а также надежности строительных конструкций здания**

В ходе проведения визуально-измерительного контроля здания ЦТП-1 были выявлены дефекты строительных конструкций здания, проанализированы

причины их возникновения, а также сформулированы дальнейшие мероприятия по устранению (таблица 7).

Таблица 7 - Перечень дефектов и повреждений, выявленных при обследовании здания ЦТП-1

Описание, причины дефекта или повреждения	Рекомендации по устранению
В осях А/1-2 сквозные трещины в кирпичной кладке шириной раскрытия до 2 мм имеющие вертикальное направление в следствии воздействия температурно-влажностных условий.	Установить маяки, в целях наблюдения. В случае дальнейшего развитии трещин выполнить усиление.
В осях В/3-4 локальные разрушения штукатурного слоя в следствии воздействия повышенной влажности от технологического оборудования.	Выполнить отделку штукатурного слоя с применением штукатурной сетки, покрасить влагозащитной краской.
В осях 3-4/А-Б Разрушение и частичное отсутствие защитной напольной плитки в следствии намокания.	Выполнить восстановление напольного покрытия

В целях определения соответствия проекту, прочности материалов несущих конструкций здания, было проведено измерение электронным измерителем прочности бетона ИПС-МГ4.03 (зав. №10452). Прочность определена исходя из замеров на плитах покрытия, а также кирпичной кладке. В разных точках каждой конструкции было проведено не менее 15 замеров. Результаты измерений представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Результаты измерения прочности материалов несущих конструкций ЦТП-1

Конструкции	Участки (координаты) проведения измерений	Прочность (R <sub>ср</sub> ), МПа	Соответствие
Плиты покрытия	В осях А-Б/1-2	23,2	В20 (М250)
	В осях А-Б/2-3	24,9	В20 (М250)
Кирпичные стены	В осях А/1-2	10,7	М100
	В осях В/1-2	10,1	

На основании измерений можно сделать вывод о том, что прочность обследуемых конструкций соответствует требованиям нормативных документов и проектной документации на объект.

Согласно полученным результатам проведенного обследования здания ЦТП-1, проведем оценку технического состояния здания в соответствии с «Рекомендациями по оценке надежности строительных конструкций зданий и сооружений по внешним признакам» [13]. Для этого, в соответствии с требованиями «ГОСТ 31937-2024 Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния» [12], определим категорию технического состояния конструкций здания ЦТП-1 в отдельности.

Признаков неравномерной осадки фундаментов, характерных трещин, перекосов частей здания (сооружения), разломов стен и прочих повреждений и деформаций, свидетельствующих о неудовлетворительном состоянии фундаментов и грунтового основания, при визуальном контроле не обнаружено. В ходе проведения обследования разработка шурфов не производилась.

Техническое состояние фундаментов определим как нормативное.

При визуальном обследовании балок дефектов и повреждений не выявлено:

Техническое состояние балок определим как нормативное.

При визуальном и инструментальном обследовании кирпичных колонн дефектов и повреждений не выявлено:

Техническое состояние колонн определим как нормативное.

При визуальном и инструментальном обследовании стенового ограждения выявлены следующие дефекты и повреждения:

- сквозные трещины в кирпичной кладке шириной раскрытия до 2 мм;
- разрушение штукатурного слоя;
- трещины, а также редкие сколы в кирпичной кладке перегородок внутри здания.

Техническое состояние стеновых ограждений определим как ограничено-работоспособное.

При визуальном и инструментальном обследовании отмоксти дефектов и повреждений, влияющих на несущую способность не выявлено.

Техническое состояние отмоксти определим как нормативное.

С целью определения надежности строительных конструкций здания в целом проведем анализ имеющихся повреждений в соответствии с «рекомендациями по оценке надежности строительных конструкций зданий и сооружений по внешним признакам» [13], в которых условно приведено пять категорий технического состояния строительных конструкций:

- первая категория технического состояния — «нормальное исправное состояние» [13]: в зависимости от повреждений относительная надежность  $\gamma=1$ , поврежденность  $\varepsilon=0$ .
- вторая категория технического состояния — удовлетворительное работоспособное состояние: в зависимости от повреждений относительная надежность  $\gamma=0,95$ , поврежденность  $\varepsilon=0,05$ .
- третья категория технического состояния — не совсем удовлетворительное, ограничено работоспособное состояние: в зависимости от повреждений относительная надежность  $\gamma=0,85$ , поврежденность  $\varepsilon=0,15$ .
- четвертая категория технического состояния — «неудовлетворительное, (неработоспособное состояние)» [13]: в зависимости от повреждений относительная надежность  $\gamma=0,75$ , поврежденность  $\varepsilon=0,25$ .
- пятая категория технического состояния — «аварийное состояние» [13]: в зависимости от повреждений относительная надежность  $\gamma=0,65$ , поврежденность  $\varepsilon=0,35$ .

Для оценки надежности, в «рекомендациях по оценке надежности строительных конструкций зданий и сооружений по внешним признакам» также приведены рекомендуемые усредненные коэффициенты значимости конструкций зданий. В частности, для выбранного здания ЦТП-1, в рамках расчета поврежденности, определим наиболее подходящие к существующим конструкциям «коэффициенты значимости, а также величину повреждений

отдельных конструкций в соответствии с рекомендациями «ЦНИИПромзданий» [13] и оформим в виде таблицы 9.

Таблица 9 – Оценка надежности, поврежденности и значимости конструкций здания ЦТП-1 в соответствии с рекомендациями

Наименование конструктивного элемента	Значимость $\alpha_i$	Надежность $\gamma_i$	Поврежденность $\varepsilon = 1 - \gamma$	Категория технического состояния в соответствии с рекомендациями «ЦНИИПромзданий»
Плиты покрытия	2	1	0,0	Нормативное исправное состояние
Балки покрытия	4	1	0,0	Нормативное исправное состояние
Колонны кирпичные	7	1	0,0	Нормативное исправное состояние
Стены и фундаменты	3	0,85	0,15	Не совсем удовлетворительное, ограниченно-работоспособное состояние

Рассчитаем общую оценку поврежденности здания с учетом рекомендуемых коэффициентов по формуле (9):

$$\varepsilon = \frac{\alpha_1 \varepsilon_1 + \alpha_2 \varepsilon_2 + \dots + \alpha_i \varepsilon_i}{\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_i} \quad (9)$$

Где  $\alpha_1$  – «коэффициенты значимости отдельных видов конструкций» [13]

$\varepsilon_i$  – «максимальная величина повреждений отдельных видов конструкций».

Таким образом поврежденность здания будет равна:

$$\varepsilon = \frac{4 \cdot 0,0 + 7 \cdot 0,0 + 3 \cdot 0,15 + 2 \cdot 0,0}{4 + 7 + 3 + 2} = 0,03$$

Определим относительную оценку надежности здания по формуле (10):

$$\gamma = 1 - \varepsilon \quad (10)$$

Таким образом:

$$\gamma = 1 - 0,03 = 0,97$$

По результатам расчета, видно, что рассчитанное значение надежности здания в целом, не выходит за рамки значения категории технического состояния «нормативное исправное состояние» [13].

#### **2.4. Оценка степени физического износа**

Оценка физического износа здания ЦТП-1 произведена в соответствии с правилами оценки физического износа жилых зданий. ВСН 53-86(р).

При проведении визуально измерительного-контроля здания ЦТП-1 было установлено, что в осях А/1-2 имеются трещины в кирпичной кладке шириной раскрытия до 2 мм, что свидетельствует о физическом износе, равном 40%. В осях В/3-4 – локальные разрушения штукатурного слоя, что свидетельствует о физическом износе, равном 20%.

Определим физический износ кирпичных стен здания с учетом удельных весов участков, имеющих разный износ (таблица 10).

Таблица 10 – Определение физического износа отдельных участков кирпичных стен здания

Наименование участка	Удельный вес участка к общему объему элемента $(P_i/P_k)*100\%$	Физ. износ участков элемента $\Phi_i, \%$	Определение средневзвешенного значения физ. износа участка, $\%$	Доля физ. износа
Участок №1	20	40	$(40/100) \cdot 20$	8
Участок №2	10	20	$(20/100) \cdot 10$	2
Участок №3	70	0	0	0
Итого				10

Итого величина физического износа кирпичных стен ЦТП-1 составит 10%.

Далее определим физический износ каждого конструктивного элемента здания, и оформим в виде таблицы 11.

Таблица 11 – Результаты оценки физического износа отдельных элементов здания

Физический износ	Удельный вес конструктивных элементов
Фундамент - 10 % (наличие одного из признаков физического износа для интервала 0-20 %)	10%;
Стены - 10 %	44%
Перегородки - 20 % (наличие всех признаков физического износа для интервала 0-40 %)	
Крыша - 10 % (наличие одного из признаков физического износа для интервала 0-20 %)	
Кровля - 10 % (наличие одного из признаков физического износа для интервала 0-20 %)	14%;
Полы - 20 % (наличие всех признаков физического износа для интервала 0-20 %)	6%;
Проемы – 20% (наличие всех признаков физического износа для интервала 0-20 %)	5%
Отделочные покрытия - 20 % (наличие всех признаков физического износа для интервала 0-20 %)	6%;
Внутренние санитарно-технические и электрические устройства – 20% (наличие всех признаков физического износа для интервала 0-20 %)	11%
Прочие (лестница) – 10% (наличие одного из признаков физического износа для интервала 0-20 %)	4%.

Результаты оценки физического износа, а также уточненные удельные веса сведены в таблицу 12, на основании полученных данных вычислим физический износ всего здания в целом.

Таблица 12 – Расчет физического износа здания в целом

Элемент здания	Удельный вес крупного конструктивного элемента	Удельный вес каждого элемента	Расчетный вес удельный вес элемента	Физический износ	
				по результатам оценки	Средневзвешенное значение износа
Фундамент	10	-	10	10	1
Стены	44	86	37,84	10	3,7
Перегородки		14	6,16	20	1,2
Крыша	14	40	5,6	10	0,5
Кровля		60	8,4	10	0,8
Проемы	5	-	5	20	1
Полы	6	-	6	20	1,2
Отделочные покрытия	6	-	6	20	1,2
Внутренние санитарно-технические и электрические устройства	11	-	11	20	2,2
Лестницы	4	24	0,96	10	0,09
Итого	100				12,8

Полученный физический износ здания округлим до 13 %. Здание на момент оценки физического износа, находится в хорошем состоянии и не требует значительных вложений на эксплуатацию в дальнейшем.

В случае, если по результатам визуального обследования установлено нормативное или работоспособное техническое состояние строительных конструкций и в случае, если зафиксированная картина дефектов (повреждений) позволяет выявить причины их происхождения и является достаточной для оценки технического состояния конструкций, то при условии, что результатов визуального обследования достаточно для решения поставленных задач, детальное (инструментальное) обследование допускается не проводить. В таких

случаях отчет по результатам предварительного (визуального) обследования является окончательным.

## **2.5. Оценка теплотехнических характеристик ограждающих конструкций здания ЦТП-1**

Эксплуатация промышленного здания сопровождается постепенным изменением теплотехнических характеристик ограждающих конструкций под воздействием внешних факторов и физического износа. Данная ситуация может привести к снижению энергетической эффективности системы и ухудшению параметров микроклимата.

При проведении обследования было выявлено, что в здании ЦТП-1 присутствуют значительные избытки теплоты, вызванные в следствии эксплуатации оборудования, работающего под давлением, при работе которого также существует вероятность появления конденсата на стенах здания из-за разности температур теплоносителя в комплексе теплотехнического оборудования, а именно:

- теплообменников – устройств для передачи тепла от теплоносителя тепловых сетей к воде для горячего водоснабжения в дома;
- насосов – устройств для перекачки теплоносителя по системе;
- регулирующих клапанов – устройств для регулирования расхода теплоносителя;
- трубопроводов холодной воды, горячей воды и отопления;
- систем контроля и учета потребления тепловой энергии, для оптимизации расходов и повышения эффективности работы ЦТП.

В здании центрального теплового пункта, где размещены критически важные узлы поддержание оптимальной температуры и влажности воздуха является необходимым условием для их надежной работы.

Определение теплотехнических параметров ограждающих конструкций промышленного объекта необходимо для своевременного обнаружения

нарушений герметичности соединений, конденсатообразования на внутренних поверхностях стен и дефектов, допущенных в процессе строительно-монтажных работ или при эксплуатации, влияющих на тепловой режим здания.

Оценка микроклимата осуществляется путем измерения температуры внутреннего и наружного воздуха, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне. Полученные данные используются для анализа соответствия условий труда требованиям безопасности и обеспечения оптимального режима эксплуатации оборудования.

Таким образом, определение теплотехнических характеристик промышленного здания ограждающих конструкций, позволяет выявить дефекты теплозащитных качеств конструкций и является существенным условием для обеспечения комфортного микроклимата в производственных помещениях и эффективного использования энергетических ресурсов.

Поскольку при визуальном осмотре ограждающих конструкций не выявлено дефектов плит покрытий и кровли, свидетельствующих об отступлении от проектной документации, теплотехнические характеристики оценивались для наружных стен здания ЦТП-1.

### **2.5.1. Основные методы анализа теплотехнических характеристик ограждающих конструкций**

Теплотехнические характеристики строительных конструкций и применяемых при строительстве материалов могут быть определены с использованием различных программ, методов исследования и испытаний, например:

- испытание на воздухопроницаемость, позволяющее определить способность конструкции пропускать воздух;
- расчет теплопотерь через ограждающие конструкции, учитывающий наличие мостиков холода, площадь, толщину и другие параметры ограждающих конструкций, на основании которых определяются потери тепла;

- теплотехнический расчет, производимый с учетом климатических условий, по результатам которого возможно определить характеристики теплопередачи ограждающих конструкций, а также их воздухо-паропроницаемость;
- тепловизионное обследование конструкций, выполняемое инструментальными способами, позволяющее выявить места утечек тепла из здания или помещения.

Теплопотери могут быть вызваны по различным причинам, основными из них, как правило, являются:

- неплотность или негерметичность в стыках между панелями, стенами или окнами;
- недостаточная изоляция стен и потолков;
- неисправности в системе отопления, или отклонения от требований при проектировании здания и инженерных коммуникаций;
- повреждения в теплоизоляции ограждающих конструкций.

Перечисленные методы позволяют получить достаточно точные данные о теплотехнических характеристиках здания, например, для принятия дальнейшего решения о необходимости утепления или замены конструкции.

### **2.5.2. Основные нормативно-технические требования к проведению теплотехнического расчета выбранного в рамках исследования промышленного здания**

В настоящий момент одним из основных документов, регламентирующих требования к тепловой защите зданий, а также к способам расчета теплотехнических свойств ограждающих конструкций, являются «Строительные нормы и правила РФ СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий»» [29], разработанные с учетом уже более современных технологий и материалов, используемых в строительстве до настоящего времени. Применяются нормы и правила, в основном для определения теплотехнических характеристик зданий и сооружений как при проектировании новых, так и при реконструкции и ремонте существующих. Также определение теплотехнических характеристик

проводится и при обследованиях с целью уточнения соответствия теплотехнических свойств, ограждающих конструкции проекту.

В соответствии с действующими нормами обеспечивается экономия энергии с учетом одновременного поддержания санитарно-гигиенических норм и оптимальных параметров микроклимата в помещениях. Кроме того, нормы и правила так же учитывают повышение долговечности ограждающих конструкций зданий и сооружений путем улучшения их теплотехнических характеристик.

Эффективная тепловая защита может быть достигнута за счет внедрения современного оборудования и новых технологий, а также минимизации потери тепла на этапах производства и транспортировки, использования альтернативных источников энергии и максимально энергоэффективного распространения тепла в зданиях и помещениях в зависимости от их назначения.

Важно отметить, что «СП 50.13330.2012» [29] также предусматривает и возможность гармонизации с международными стандартами по обеспечению тепловой защиты, принятыми в развитых странах. Нормы и правила, также допускают гибкую интерпретацию в отношении зданий, обладающих архитектурно-исторической ценностью и подлежащих реконструкции в связи с ухудшением технического состояния или увеличением физического и морального износа.

Рассматриваемые строительные нормы и правила распространяются на все виды зданий и сооружений, где существует необходимость поддержания определенного температурного режима и уровня влажности, а именно: жилые, общественные, производственные, сельскохозяйственные и складские.

Строительные нормы и правила РФ «СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий»» [29] устанавливают нормативно-технические требования по следующим основным показателям:

- «определение требуемого сопротивления теплопередачи для наружных ограждающих конструкций» [29];

- «выбор материалов и конструкций для обеспечения требуемого сопротивления теплопередаче» [29];
- «методы расчета теплопотерь через ограждающие конструкции зданий и сооружений» [29];
- «требования к воздухопроницанию и паропроницанию ограждающих конструкций» [29];
- «требования к классификации, определению и повышению энергоэффективности проектируемых и существующих зданий и сооружений» [29].

В рассматриваемых нормах и правилах также учитывается не одномерность теплопередачи через внешние стены и другие ограждающие конструкции, часто представляющие собой довольно сложные конфигурации слоев, компонентов и проемов.

В рамках теплотехнического расчета, на основании инструментального обследования одним из этапов будет установление влажностного режима здания в наиболее холодный период года, учитывая также влажность и температуру внутреннего воздуха в здании.

Для определения влажностного режима здания необходимо уточнить следующие характеристики:

- «тип здания и его конструкция» [29];
- «климатические и технические условия эксплуатации здания» [29];
- «эффективность системы вентиляции» [29];
- «влияние климатических условий на влажностный режим здания» [29].

Так же, в рамках обследования, определение теплотехнических характеристик наружных конструкций здания включает в себя изучение эксплуатационной, проектной и рабочей документации (чертежей) на ограждающие конструкции.

Документация на обследуемое здание анализируются с целью выявления возможных нарушений на этапе строительства или эксплуатации;

- сбор информации о существующих дефектах, в том числе уточнение у эксплуатирующего подразделения предприятия данных о помещениях в здании с такими дефектами ограждающих конструкций, как промерзание, сырость, плохая вентиляция;
- фиксацию мест с образованием конденсата или развития плесени на основании осмотра и инструментального диагностирования;
- определение точки росы, а также влажности и температуры;
- определение температуры поверхности с внутренней стороны ограждающих конструкций;
- лабораторный анализ образцов. Материал берется из участков стен с дефектами и без них для определения плотности, влагосодержания и теплопроводности, при необходимости, определенной техническим заданием, или дефектами, обнаруженными при обследовании.
- расчет температурных полей дефектной конструкции с определением температурного распределения в узлах сопряжения ограждающих конструкций с учетом проектных и натуральных свойств материалов.

В соответствии с нормами и правилами, влажностный режим определим и сведем в таблицу 13.

Таблица 13 – «Влажностный режим помещений и зданий» [28]

Режим	«Влажность внутреннего воздуха» [28], %, при температуре, °С		
	до 12	от 12 до 24	от 24
«Сухой» [28]	до 60	до 50	до 40
«Нормальный» [28]	от 60 до 75	Свыше 50 до 60	от 40 до 50
«Влажный» [28]	от 75	от 60 до 75	от 50 до 60
«Мокрый» [28]	-	от 75	от 60

Расчетные «параметры наружного воздуха для дальнейшего расчета теплотехнических характеристик стен ЦТП-1 приняты в соответствии с строительными нормами и правилами СП 131.13330.2020 «Строительная климатология» [26] и приведены в таблице 14.

Таблица 14 - Расчетные параметры наружного воздуха

Область, город	Температура воздуха наиболее холодной пятидневки, °С, обеспеченностью		Продолжительность суток и средняя температура воздуха, °С, периода с отрицательной средней суточной температурой воздуха		Расчетная скорость ветра м/с	Средне- месячная и температура воздуха в наиболее холодный месяц январь
	0,98	0,92				
Самарская обл., г. Тольятти	-29	-27	144	- 7,8	3,5	-11,1

Исходные данные теплотехнических параметров материалов стен ЦТП-1 приведены в таблице 15.

Таблица 15 - исходные данные теплотехнических параметров материалов стен ЦТП-1

Слой ограждающей конструкции	Материал	Толщина $\delta$ , мм	Теплопроводность для условий эксплуатации Б, $\lambda_b$ , Вт/(м°С)	Коэффициент паро- проницаемости $\mu$ , мг/ (м·ч·Па)
Наружная стена	Кладка из силикатного кирпича (ГОСТ 379- 2015) на цементно- песчаной смеси	380	0,87	0,11
Штукатурный слой с внутренней стороны здания	Цементно- песчаная смесь	10	0,93	0,09

### **2.5.3. Сбор основных параметров для теплотехнического расчета ограждающих конструкций здания**

С целью определения теплотехнического режима здания были подобраны следующие исходные данные для теплотехнического расчета ограждающих конструкций ЦТП-1:

- «район строительства» [28]: Самарская область, г. Тольятти;
- «относительная влажность воздуха» [28] внутри ЦТП: 60%;
- «расчетная средняя температура наружного воздуха» [28] для населенного пункта Тольятти:  $-30^{\circ}\text{C}$ ;
- тип здания - «Производственные здания со значительными избытками явной теплоты» [28];
- «вид ограждающей конструкции» [28]: Наружные стены;
- «расчетная средняя температура внутреннего воздуха здания» [28]:  $25^{\circ}\text{C}$ .

Конструкция наружной стены представляет собой «кирпичную кладку из силикатного полнотелого кирпича на цементно-песчаном растворе толщиной 380 мм, и отделочный слой цементно-песчаной штукатурки с внутренней стороны здания» [28], толщиной 10 мм.

При обследовании было проведено определение параметров эксплуатационной среды при нормальном течении технологического процесса, в рамках которого установлено:

- влажностный режим внутри здания, исходя из температуры внутреннего воздуха в помещении, характеризуется как «влажный» [28];
- степень воздействия среды на конструкции здания – «неагрессивная» [22];
- «район расположения здания» [25] ЦТП-1 относится к четвертому снеговому району с расчетным весом 200 кг снегового покрова на  $1 \text{ м}^2$  горизонтальной поверхности земли;
- «здание расположено в климатическом подрайоне «ПВ»» [25];

- «средне-месячная температура наиболее холодного месяца в году, равна минус 13,5» [25];
- «сейсмичность района строительства составляет 6 «баллов»» [24];
- «категория грунтов по сейсмическим свойствам – «III»» [24];
- «категория здания ЦТП-1 по взрывопожароопасности - «Д»»;
- уровень ответственности – «Нормальный» [10].

#### 2.5.4. Расчет стен ЦТП-1 на сопротивление теплопередаче

На основании установленных, по результатам обследования здания, условий эксплуатации здания, определим требуемое сопротивление теплопередаче,  $\text{м}^2 \text{°C/Вт}$ , по формуле (11):

$$R_0^{\text{норм}} = \frac{(t_{\text{в}} - t_{\text{н}})}{(\Delta t_{\text{н}} \cdot a_{\text{в}})} \quad (11)$$

Где  $t_{\text{в}}$  - «расчетная средняя температура внутреннего воздуха в здании» [28],  $\text{°C}$ ;

$t_{\text{н}}$  - «расчетная средняя температура наружного воздуха» [28],  $\text{°C}$ ;

$a_{\text{в}}$  - «коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций» [28], равный  $8,7 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$

$\Delta t_{\text{н}}$  - «нормативный температурный перепад» [28], равный  $12 \text{ °C}$

Тогда:

$$R_0^{\text{норм}} = \frac{(25 - (-27))}{(12 \cdot 8,7)} = 0,5$$

Так как город Тольятти, в Самарской области относится к «сухой зоне влажности, в соответствии с картой зон влажности, а влажностный режим помещения при обследовании определен как влажный» [28], теплотехнические

характеристики материалов ограждающих конструкций будут приняты, как для условий эксплуатации «Б».

Схема ограждающей конструкции показана на рисунке 5.

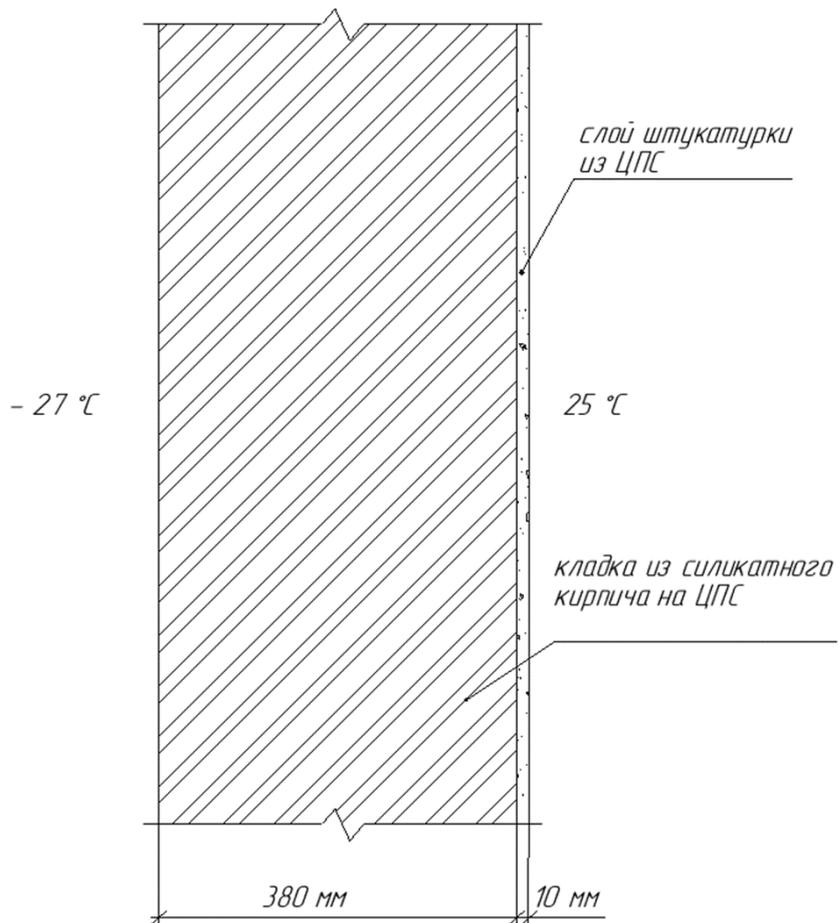


Рисунок 5 - Схема ограждающей конструкции

Условное сопротивление теплопередаче,  $\text{м}^2\text{C}/\text{Вт}$ , определим в соответствии с СП 23-101-2004 Проектирование тепловой защиты зданий по формуле (12).

$$R_0^{ysl} = \frac{1}{a_B} + \frac{\delta}{\lambda_n} + \frac{1}{a_H} \quad (12)$$

Где  $a_B$  – «коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций» [28], равный 8,7 Вт/(м<sup>2</sup>°С);

$\delta$  – «толщина слоя ограждающей конструкции» [27], мм, принятая в соответствии с таблицей 3;

$\lambda$  – «коэффициенты теплопроводности слоев» [28], Вт/(м°С) принятая в соответствии с таблицей 3;

$a_H$  – «коэффициент теплоотдачи наружной поверхности, ограждающей конструкций для условий холодного периода» [27], равный 23 Вт/(м<sup>2</sup>°С).

$$R_0^{ysl} = 1/8,7 + 0,38/0,87 + 0,01/0,93 + 1/23 = 0,61 \text{ м}^2\text{°С/Вт}$$

Приведенное сопротивление теплопередаче, (м<sup>2</sup>°С/Вт) определим по формуле (13):

$$R_0^{np} = R_0 \cdot r \quad (13)$$

Где  $r$  – «коэффициент теплотехнической однородности ограждающей конструкции, учитывающий влияние стыков, откосов проемов, обрамляющих ребер, гибких связей и других теплопроводных включений» [27], равный 0,95.

Следовательно, сопротивление теплопередаче наружных стен здания ЦТП будет равно:

$$R_0^{np} = 0,61 \cdot 0,95 = 0,58 \text{ м}^2\text{°С/Вт}$$

На основании полученных данных, проверим, что значение величины приведённого сопротивления теплопередаче, больше значения требуемой величины по формуле (14):

$$R_0^{пр} > R_{усл} = 0,58 > 0,5 \quad (14)$$

Условие выполняется, стены ЦТП-1 из силикатного кирпича на цементно-песчаном растворе удовлетворяют требованиям по теплопередаче для производственных зданий.

### **2.5.5. Расчет стен ЦТП-1 на паропроницаемость.**

Так же, на основании полученных данных в рамках обследования, выполним расчет стен ЦТП-1 на паропроницаемость:

В соответствии со «СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий»» [28] плоскость возможного образования конденсата на наружных однослойных стенах зданий располагается на «расстоянии, соответствующем 2/3 толщины конструкции от внутренней поверхности стены» [28], а именно на расстоянии равном 0,253 м.

Определим паропроницаемость,  $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$ , ограждающей конструкции (в пределах от внутренней поверхности до плоскости возможной конденсации) по формуле (15):

$$R_{vp} = \frac{\delta_b}{\mu} = \frac{0,253}{0,11} = 2,3 \quad (15)$$

Где  $\delta_b$  – толщина слоя ограждающей конструкции, мм, от внутренней поверхности до плоскости возможной конденсации;

$\mu$  – коэффициент принятый в соответствии с таблицей 15.

Сопrotивление паропроницанию, определим по формулам (16) и (17):

$$R_{vp1}^{req} = (e_{int} - E)R_{vpe}/(E - e_{ext}) \quad (16)$$

$$R_{vp2}^{req} = 0,0024z_0(e_{int} - E_0)/(p_w\delta_w\Delta w_{av} + \eta) \quad (17)$$

Где  $e_{int}$  – «парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха» [28], Па, определяемое по формуле (18):

$$e_{int} = (\varphi_{int}/100)E_{int} \quad (18)$$

Где  $E_{int}$  – «парциальное давление насыщенного водяного пара» [28], Па, при расчетной средней температуре внутреннего воздуха равной 25 °С, принято равным 3168 Па.

В таком случае «парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха» [28], Па, будет равно:

$$e_{int} = (60/100) \times 3168 = 1901$$

Парциальное давление водяного пара, Па, за двенадцать месяцев эксплуатации, определим по формуле (19):

$$E = (E_1z_1 + E_2z_2 + E_3z_3)/12 \quad (19)$$

Где  $E_1, E_2, E_3$  – парциальные давления водяного пара, Па, принимаемое в соответствии с расчетной температурой наружного воздуха для  $i$ -го периода;

$z_1, z_2, z_3$ , – продолжительность, месяцев, соответственно зимнего, весенне-осеннего и летнего периодов.

Определим термическое сопротивление слоя ограждения в пределах от внутренней поверхности стены до плоскости возможной конденсации, с целью последующего нахождения расчетной температуры наружного воздуха для  $i$ -го периода конденсации по формуле (20):

$$\sum R = \frac{R_{vp}^i}{\lambda} * r \quad (20)$$

Где  $R_{vp}^i$  – «расстояние, мм, от внутренней поверхности стены до плоскости возможной конденсации» [28];

$\lambda$  – то же, что в формуле (2);

$r$  – то же, что в формуле (3).

В таком случае, термическое сопротивление слоя ограждения в пределах от внутренней поверхности стены до плоскости возможной конденсации, будет равно:

$$\sum R = 0,253 / 0,87 \cdot 0,95 = 0,28 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$$

В соответствии с требованиями «СП 131.13330.2020 «Строительная климатология»» [26], определим длительность периодов в месяцах, а также среднесуточную температуру по формуле (21):

$$t_i = \sum_{j=1}^n t_j^{av} / z_i \quad (21)$$

Где  $t_i$  – «расчетная температура наружного воздуха  $i$ -го периода» [26], °С.

$z_i$  – продолжительность месяцев весеннего, летнего, осеннего, зимнего периодов;

$t_j^{av}$  – «среднемесячная температура воздуха  $i$ -го месяца» [26], °С.

Тогда «среднесуточная температура зимнего периода (декабрь, январь, февраль, март)» [26] будет равна, °С:

$$t_1 = [(-11,1)+(-8,3)+(-10,4)+(-3,7)]/4 = -8,38$$

Далее, рассчитаем соответствующую температуру для плоскости возможного конденсирования для климатических условий города Тольятти зимой по формуле (22):

$$\tau_i = t_{int} - (t_{int} - t_i) \cdot (R_{si} + \sum R) / R_0 \quad (22)$$

Где  $t_{int}$  – тоже, что в формуле (1);

$t_i$  – «расчетная температура  $i$ -го периода» [27], °С;

$R_{si}$  – «сопротивление теплопередаче внутренней поверхности» [26]

ограждения равное  $0,115 \text{ м}^2 \text{ °С Вт}$ ;

$\sum R$  – тоже, что в формуле (20)

$R_0$  – тоже, что в формуле (12).

Тогда получим «температуру для плоскости возможного конденсирования» [26], °С, равную:

$$\tau_1 = 25 - (25 - (-8,38)) \cdot (0,115 + 0,28) / 0,61 = 3,38$$

Определим температуру весеннего и осеннего периода (октябрь, ноябрь), °С:

$$t_2 = [(5,4)+(-2,1)]/2 = 1,65$$

Так же определим температуру для плоскости возможного конденсирования, °С:

$$\tau_2 = 25 - (25 - 1,65) \cdot (0,115 + 0,28) / 0,61 = 9,87$$

Определим температуру летнего периода (апрель, май, июнь, июль, август, сентябрь), °С:

$$t_3 = (7,2 + 15,3 + 19,2 + 21,3 + 19,5 + 13,4) / 6 = 15,98$$

Так же определим температуру для плоскости возможного конденсирования, °С:

$$\tau_3 = 25 - (25 - 15,98) \cdot (0,115 + 0,28) / 0,61 = 19,15$$

Определим парциальное давление водяного пара в плоскости возможной конденсации за годовой период эксплуатации ограждающей конструкции для соответствующих продолжительностей периодов года в соответствии с формулой (23):

$$E = (E_1 z_1 + E_2 z_2 + E_3 z_3) / 12 \quad (23)$$

Где  $E_i$  – «парциальное давление водяного пара, Па, принимаемое по температуре  $\tau_i$  в плоскости возможной конденсации, определяемой при средней температуре наружного воздуха соответствующего периода» [27];

$z_i$  – то же, что в формуле (21)

Таким образом парциальное давление водяного пара в плоскости возможной конденсации за годовой период, будет равно, Па:

$$E = (304 \cdot 4 + 657 \cdot 2 + 1705 \cdot 6) / 12 = 1063$$

Сопротивление паропрооницанию,  $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$ , части ограждающей конструкции, расположенной между наружной поверхностью и плоскостью возможной конденсации, определим по формуле (24):

$$R_{п,н} = \frac{\delta_n}{\mu} = \frac{0,127}{0,11} = 1,15 \quad (24)$$

Где  $\delta_n$  – тоже, что в формуле (15);

$\mu$  – тоже, что в формуле (15)

Среднее парциальное давление водяного пара наружного воздуха, Па, за годовой период определим по формуле (25):

$$e_{ext} = \sum_{i=1}^n e_j^{av} / 12 \quad (25)$$

Где  $e_j^{av}$  – «среднемесячное давление водяного пара наружного воздуха  $i$ -го месяца» [26], °С.

Тогда получим среднее парциальное давление водяного пара наружного воздуха, Па, за годовой период:

$$e_{ext} = 250 + 250 + 370 + 630 + 870 + 1270 + 1510 + 1360 + 990 + 670 + 460 + 310) / 12 = 745$$

Так же определим нормируемое сопротивление паропрооницанию, из условия недопустимости накопления влаги за годовой период эксплуатации по формуле (26):

$$R_{vp1^{req}} = (e_{int} - E)R_{vpe}/E - e_{ext} \quad (26)$$

Тогда нормируемое сопротивление паропроницанию,  $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$ , будет равно:

$$R_{vp1^{req}} = \frac{(1901 - 1063) \cdot 1,15}{1827 - 745} = 0,89$$

Для расчета нормируемого сопротивления паропроницанию, возьмем, определенную в соответствии с СП 131.13330.2020 среднесуточную температуру равную минус  $7,8^\circ\text{C}$ . Температуру в плоскости возможной конденсации для этого периода определим по формуле (22):

$$\tau_0 = 25 - (25 - (-7,8)) \cdot 0,28 / 0,58 = 9,16$$

Для дальнейшего расчета нормируемого сопротивления паропроницанию, определим коэффициент  $\eta$  в соответствии с СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» [28] по формуле (27):

$$\eta = 0,0024(E_0 - e_{н,отр})z_0/R_{п,н} \quad (27)$$

Где  $E_0$  – «парциальное давление водяного пара, Па, в плоскости возможной конденсации» [28]

$e_{н,отр}$  – «среднее парциальное давление водяного пара в период с отрицательными среднесуточными температурами» [28]

$R_{п,н}$  – «сопротивление паропроницанию» [28].

Тогда:

$$\eta = \frac{0,0024 \cdot (1164 - 315) \cdot 144}{1,15} = 255,14$$

Далее определим, «нормируемое сопротивление паропрооницанию» [28] из условия ограничения влаги за период с отрицательными средне-месячными температурами наружного воздуха,  $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$ , по формуле, (17) тогда:

$$R_{vp2^{req}} = 0,0024 \cdot \frac{149 \cdot (1901 - 1164)}{1800 \cdot 0,253 \cdot 2 + 273,64} = 0,22$$

Условие паропрооницаемости стены ЦТП-1 выполняется, так как:

$$R_{vp} > R_{vp1^{req}} = 2,3 > 0,89$$

$$R_{vp} > R_{vp2^{req}} = 2,3 > 0,22$$

### **2.5.6. Расчет распределения парциального давления водяного пара, и определение возможности образования конденсата по толще стены**

Для проверки конструкции на наличие зоны образования конденсата внутри стены, определим «сопротивление паропрооницанию» [27],  $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$  стены по формуле (28):

$$R_{ni} = \frac{\delta_B}{\mu} = \frac{0,380}{0,11} + \frac{0,01}{0,09} = 3,57 \quad (28)$$

Определим «парциальное давление водяного пара» [27] внутри конструкции ограждения, Па, по формуле (29):

$$e_B = (\varphi_B/100)E_B \quad (29)$$

Где  $E_B$  – «парциальное давление насыщенного водяного пара» [27], равное 3168 Па, при температуре равной 25°C;

$\varphi_B$  – относительная влажность внутреннего воздуха, равная 60 %.

В таком случае парциальное давление водяного пара внутри стены, Па, будет равно:

$$e_B = (60/100) \cdot 3168 = 1901$$

Так же определим парциальное «давление водяного пара снаружи конструкции» [27], по формуле (30):

$$e_H = (\varphi_{ext}/100)E_H \quad (30)$$

Где  $E_H$  – «парциальное давление насыщенного водяного пара» [27], равное 233 Па, при среднемесячной температуре наиболее холодного месяца в году, равной минус 11,1°C;

$\varphi_{ext}$  – «относительная влажность наружного воздуха» [27] наиболее холодного месяца в году, равная 83%.

В таком случае «парциальное давление водяного пара снаружи конструкции» [27], Па, будет равно:

$$e_H = (84/100) \cdot 233 = 196$$

Так же определим температуры на границах слоев по формуле (22), начиная с внутренних слоев стены до наружного слоя. Тогда получим

температуру на границе внутреннего штукатурного слоя стены в наиболее холодный месяц в году, °С, равную:

$$\tau_1 = 25 - (25 - (-11,1)) \cdot (0,115) \cdot 0,92/0,56 = 18,5$$

В таком случае, для найденной температуры, максимальное парциальное давление будет равно 2129 Па.

Температура на границе внутреннего слоя кирпичной кладки в наиболее холодный месяц в году, °С, будет равна:

$$\tau_2 = 25 - (25 - (-11,1)) \cdot (0,115 + 0,01)/0,61 = 17,6$$

В таком случае, для найденной температуры, максимальное парциальное давление будет равно 2212 Па.

$$\tau_3 = 25 - (25 - (-11,1)) \cdot (0,115 + 0,45)/0,61 = -8,43$$

В таком случае, для найденной температуры, максимальное парциальное давление будет равно 299 Па.

Таким образом, на основании полученных расчетов построим график распределения температур и «парциального давления водяного пара в стенах ЦТП-1 из силикатного кирпича на цементно-песчаном растворе с штукатурным слоем с внутренней стороны» [26], и отразим на рисунке 6.

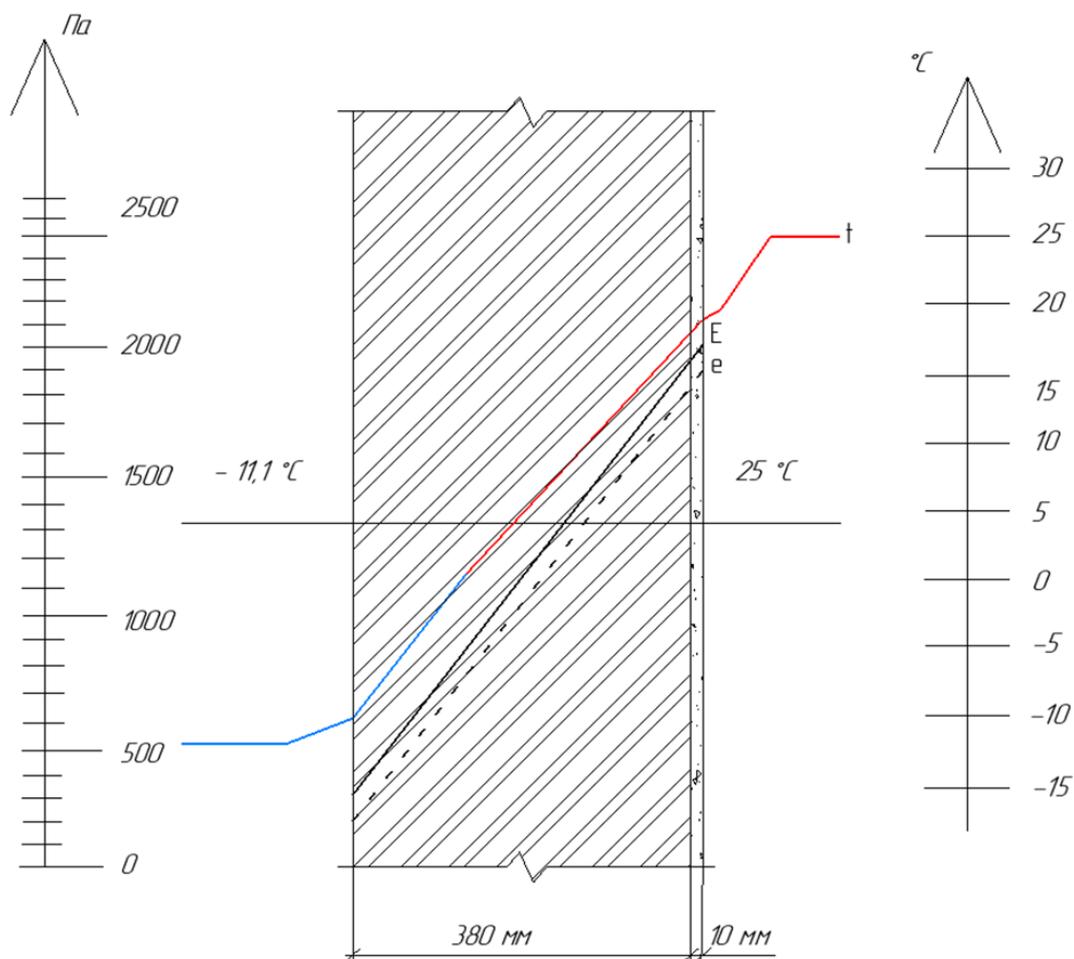


Рисунок 6 - Распределение температур и парциального давления водяного пара.

По кривым распределения действительного и максимального парциального давления видно отсутствие точек пересечения, что свидетельствует об исключении возможности образования конденсата в стенах ЦТП-1.

Выводы по главе 2.

1. Основные геометрические характеристики здания ЦТП-1, и материалы строительных конструкций соответствуют проектной документации на здание ЦТП-1. Своевременно проводятся внутренний мониторинг состояния здания и ремонты. Эксплуатационная документация также соответствует требованиям законодательства.

2. В результате проведенного обследования ЦТП-1 выявлены значительные избытки теплоты от эксплуатируемого оборудования, потенциально ведущие к образованию конденсата и влияющие на микроклимат в здании.

3. Регулярный мониторинг теплотехнических характеристик и микроклимата позволяет поддерживать надёжность работы оборудования, а также обеспечить безопасность персонала и эффективное использование энергетических ресурсов.

4. По результатам теплотехнического расчета ограждающей конструкции, установлено, что стены ЦТП-1 из силикатного кирпича на цементно-песчаном растворе обладают достаточными теплозащитными свойствами, а также не подвержены воздействию таких, неблагоприятных факторов, как повышенная влажность.

## **Глава 3 Прогнозирование работоспособности здания за пределом нормативного срока службы с учетом энтропии системы**

### **3.1. Анализ методик расчета значимости строительных конструкций в системе здания при продлении срока службы**

Для того, чтобы определить общую поврежденность здания, помимо поврежденности строительных конструкций, необходимо также определиться с коэффициентами значимости каждой из них. Коэффициенты в свою очередь, могут быть установлены на основании результатов экспертной оценки, учитывающей влияние аварий в отдельных конструкциях или в соответствии с рекомендациями, где уже приведены усредненные коэффициенты для основных несущих строительных конструкций зданий. В зависимости от выбранного метода, точность и достоверность определения значимости может значительно различаться. В исследовательской работе, для последующего определения надежности и расчета дальнейшего срока службы зданий или сооружений, будет предложен способ определения значимости, как некой меры неопределённости состояний строительных конструкций в общей системе.

#### **3.1.1. Стоимостный метод оценки значимости**

В целях определения значимости строительных конструкций, могут применяться также другие методики, например, стоимостная. Данная методика расчета коэффициента значимости заключается в определении стоимости эксплуатации конструкции в течении определенного периода времени и сравнение с общей стоимостью обслуживания здания. Стоимостный коэффициент значимости конструкций на момент эксплуатации определяется на основе анализа технического состояния конструкций, их износа и потенциальных рисков.

В результате определения стоимостного коэффициента значимости, можно получить показатели, позволяющие оценить стоимость эксплуатации, замены или модернизации конструкций здания или сооружения, а также определить

какие конструкции, являются наиболее важными при обслуживании здания, какие строительные материалы должны быть использованы. При эксплуатации здания, имеющего большое количество несущих конструкций, стоимость обслуживания может быть высокой. Однако если конструкции не имеют достаточной несущей способности, то здание может не выдержать нагрузок и разрушиться. В этом случае значимость конструкции в системе здания в рамках обеспечения несущей способности будет низкой, а стоимость высокой.

### **3.1.2. Метод экспертной оценки значимости**

Если рассматривать метод оценки коэффициента значимости на основании экспертной оценки, то для его реализации необходим специалист, имеющий соответствующую квалификацию и опыт работы в строительстве, на основании которого можно было бы выявлять и анализировать возможные последствия аварий в строительных конструкциях. Эксперту необходимо оценить значимость каждого фактора, который может повлиять на последствия аварии. Для полноты анализа, потенциально возможных аварий в строительных конструкциях, эксперту необходимо учитывать такие факторы как: прочность конструкции, устойчивость здания, организация пожарной безопасности в здании, воздействие на здание внешней среды и нагрузок, качество проектных решений, а также их реализация, качество строительства и эксплуатации здания.

По результатам оценки значимости каждого фактора, влияющего на надежность конструкций, экспертом или группой экспертов определяется коэффициент значимости каждой конструкции.

В настоящий момент отсутствуют конкретные государственные требования или рекомендации по оценке значимости конструкций зданий, в рамках определения срока службы, превысившего проектный. Инженерные центры, осуществляющие обследование зданий и сооружений, применяют различные методические подходы к решению этой задачи.

Руководствуясь при расчетах сроков службы, приведенными, рекомендациями «по оценке надёжности строительных конструкций зданий и сооружений по внешним признакам» [13], усредненными коэффициентами

значимости конструкций, достаточно сложно учитывать значимость конструкций в зданиях обладающими различными геометрическими параметрами, это может привести к завышению коэффициента значимости отдельных элементов конструкции, и уменьшению срока службы здания в целом по результатам расчета.

### **3.1.3. Метод оценки значимости от общего объема строительных конструкций**

Среди методов расчета значимости конструкции, часто встречается метод геометрической вероятности. Метод определяет соотношение объёма отдельно взятой строительной конструкции к общему объёму всех конструктивных элементов здания. «Определение коэффициента значимости конструкций, как геометрической вероятности, имеет следующий вид» [4] согласно формуле (31):

$$\alpha = \frac{V_k}{V_{зд}} \quad (31)$$

Где  $V_k$  – «объем строительной конструкции» [4];

$V_{зд}$  – «объем конструкций здания в целом» [4].

Выполненный расчет коэффициентов значимости с использованием геометрической вероятности приведен в Таблице 16. Так же при определении коэффициента значимости конструкций учитываются факторы возможной потери несущей способности кирпичных колон, которая в свою очередь может повлечь обрушение части стен, в следствии возможного обрушения балок и плит покрытий, поэтому кирпичные колонны имеют коэффициент значимости примерно из соотношения объема колонны, балки, а также ряда плит перекрытий к общему объему конструктивной системы здания.

Таблица 16 - расчет коэффициентов значимости с использованием геометрической вероятности

Наименование элемента	Объем конструкции	$\frac{V_k}{V_{зд}}$	Коэффициент значимости
Стены и фундаменты	148 м <sup>3</sup>	0,764	1
Колонны кирпичные	1,75 м <sup>3</sup>	0,009	0,53
Балки	1,52 м <sup>3</sup>	0,007	0,46
Плиты покрытия	27,36 м <sup>3</sup>	0,141	0,23
Отмостка	15 м <sup>3</sup>	0,077	0,15
Итого	193,63 м <sup>3</sup>	≈ 1	

Полученные значения коэффициентов значимости для конструкций оказались меньше единицы, что приводит к сильному завышению поврежденности в несколько раз. В следствии этого, они не могут быть использованы при расчете поврежденности в соответствии с «Рекомендации по оценке надежности строительных конструкций зданий и сооружений по внешним признакам» [13]. Данная методика позволяет эффективно распределить ресурсы при ремонте здания, определяя наиболее важные конструкции для первоочередного ремонта.

Определение коэффициентов значимости строительных конструкций в рамках конкретной системы здания представляет собой ключевой этап в процессе расчета поврежденности и определения дальнейшего срока эксплуатации. Однако при определении коэффициентов значимости вышеизложенными методиками, объективно учитывать особенности разных конструктивных систем здания достаточно сложно. Так же в настоящий момент в государственной нормативной документации отсутствуют четкие требования к расчету срока службы зданий, которые эксплуатируются сверх установленного проектом. Такая ситуация может быть связана с тем, что каждое здание имеет свою уникальность при проведении обследования, поэтому значимость конструкций более точно определять для каждого объекта индивидуально. Так же субъективность определения коэффициентов и поврежденности конструкций

может быть связана с тем, что разные эксперты, могут иметь разный опыт и подход по определению факторов, которые могут влиять на техническое состояние строительных конструкций.

### **3.2. Определение значимости строительных конструкций здания ЦТП-1 с учетом энтропии системы**

В рамках обследования строительных конструкций, с целью учета конструктивных особенностей производственных зданий и сооружений, а также последующего расчета дальнейшего срока службы после истечения, установленного проектом, в выпускной квалификационной работе предполагается рассмотреть диагностирование здания как процесс сбора информации о элементах системы здания в целом. Согласно результатам обследования, мы можем определить, удовлетворяет ли состояние элементов здания, требованиям технической документации или не удовлетворяет. Далее на основании полученных сведений о характеристиках здания ЦТП-1, произведем оценку значимости каждой строительной конструкции в системе здания по методике, предложенной в научной статье «Определение коэффициента значимости строительных конструкций при оценке технического состояния зданий» [4] Н.А. Бузало и А.В. Канунниковым.

«Проводить работу по обследованию не имело бы особого смысла, если бы техническое состояние физической системы здания было бы известно до начала диагностирования. С точки зрения энтропии, любое обследование такой физической системы обусловлено неопределённостью. В рамках исследовательской работы мы рассмотрим условную физическую систему X» [4], потенциально способную находиться в одном из двух технических состояний (работоспособное или не работоспособное). Неопределённость в данном контексте означает, что до проведения обследования вероятность нахождения системы в каждом из двух состояний неизвестна. Эта априорная неопределенность является мерой информационной энтропии системы.

Проведение обследования, например, путем измерения ключевых параметров, приводит к получению новой информации. Следовательно, ценность информации, полученной в результате обследования, напрямую коррелирует с начальной степенью неопределённости системы, и оптимальный выбор методики обследования является ключевым фактором для достижения максимального результата от полученной, в ходе обследования информации.

«Энтропия системы представляет собой сумму произведений вероятностей различных состояний системы на логарифмы этих вероятностей, которые берутся с обратным знаком» [4] в соответствии с формулой (32).

$$H(X) = \sum_{i=1}^n p_i \log p_i \quad (32)$$

Где  $p_i$  – «вероятность пребывания системы в  $i$ -ом состоянии» [4].

То есть, «значимость системы  $X$ , как объекта обследования, может быть определена его энтропией» [4].

«Рассмотрим здание как систему, состоящую из множества взаимодействующих конструктивных элементов (КЭ). Каждый КЭ можно представить, как отдельную систему, которая будет условно являться базовым элементом. Базовый элемент – это ключевой компонент физической системы (конструктивный элемент), отказ которого влечёт за собой каскадный отказ других элементов, составляющих область отказа (ОО)» [4]. Область отказа – это совокупность КЭ, функциональность которых напрямую зависит от работоспособности базового элемента. Отказ базового элемента приводит к неработоспособности всей ОО. К примеру, в рассматриваемом здании, в рамках исследования ЦТП-1 для кирпичной колонны ОО может включать в себя плиты перекрытия, опирающиеся на колонну, железобетонные балки, связанные с колонной. Отказ колонны может повлечь за собой обрушение плит покрытия и

балок. Аналогично, ОО балок может содержать кирпичные колонны, на которые она опирается и фрагменты плит перекрытия. Критичность каждого КЭ определяется не только его собственной энтропией, но и энтропией его ОО, учитывая потенциальные последствия отказа.

В целях сопоставимости КЭ разного размера, также определим условные элементы (УЭ):

- «для линейных КЭ (кирпичные колонны, балки) УЭ – это погонный метр элемента» [4];
- «для плоскостных КЭ (плиты перекрытия, стены) УЭ» [4] – это 1 м<sup>2</sup> элемента. «Однако, для строительных конструкций, свойства которых можно разделить на «несущую и ограждающую» [4], применяется принцип разделения таких конструкций на разные элементы. Таким образом для покрытия, имеющего плоскую рулонную кровлю в качестве ограждающей конструкции, при расчете значимости будут учитываться как плиты покрытия, так и кровля;
- для фундаментов – 1 м<sup>2</sup> площади основания.

Такие условные обозначения позволят проводить количественный анализ и сравнение энтропии различных КЭ, независимо от их физических размеров.

Данный подход к определению значимости позволяет создать комплексную модель системы здания, учитывающую как энтропию отдельных КЭ, так и области отказа. Анализ энтропии позволяет определить наиболее значимые в системе конструкции здания и разработать эффективные стратегии по повышению надежности и предотвращению потенциальных отказов.

Предложенный в рамках исследования способ определения значимости строительных конструкций, опирается на предположения, которые упрощают аналитический процесс и позволяют получить объективную оценку состояния здания или сооружения с учетом его геометрических характеристик., а именно:

- а) все условные элементы системы могут находиться в одной из четырех категорий технического состояния: «нормативное» [12], «работоспособное» [12], «ограниченно работоспособное» [12] и

«аварийное» [12]. Данное допущение обосновано тем, что при определении срока службы здания в целом, необходимо учитывать промежуточные категории технического состояния, при которых элементы, не смотря на наличие дефектов, не утрачивают несущей способности;

- б) равная вероятность определения элемента в какой-либо из категорий технического состояния;
- в) техническое состояние одного элемента системы не оказывает влияния на состояние других ее элементов. Данное упрощение принимаем во избежание сложных взаимозависимостей между конструкциями в системе.

В рамках «предлагаемого способа расчета, максимальная энтропия системы, создаваемой базовым элементом, определяется логарифмом числа состояний» [4] в соответствии с формулой (33).

$$H(X) = \log n \quad (33)$$

«В случае, если отдельные элементы, не нагружены другими конструктивными элементами, система будет состоять из одного элемента, имеющего 2 состояния (работоспособное и не работоспособное)» [4].

$$H(X) = \log_2 2 = 1 \quad (28)$$

В таком случае значимость таких конструкций будет равна единице.

Механизм оценки значимости строительных конструкций здания с учетом энтропии системы, рассмотрим на примере выбранного, в рамках исследовательской работы здания ЦТП-1. В данном случае три колонны кирпичные, балки железобетонная шагом в 6 м и двутавровая металлическая выполнены с шагом в 12 м. Стены выполнены из силикатного кирпича. Ленточный фундамент здания выполнен из ФБС блоков 12.4.6-т, монолитный

пол выполнен из железобетона и имеет толщину 30 см, площадь основания 193 м<sup>2</sup>.

Области отказа строительных конструкций здания ЦТП-1 условно отражены на рисунке 7.

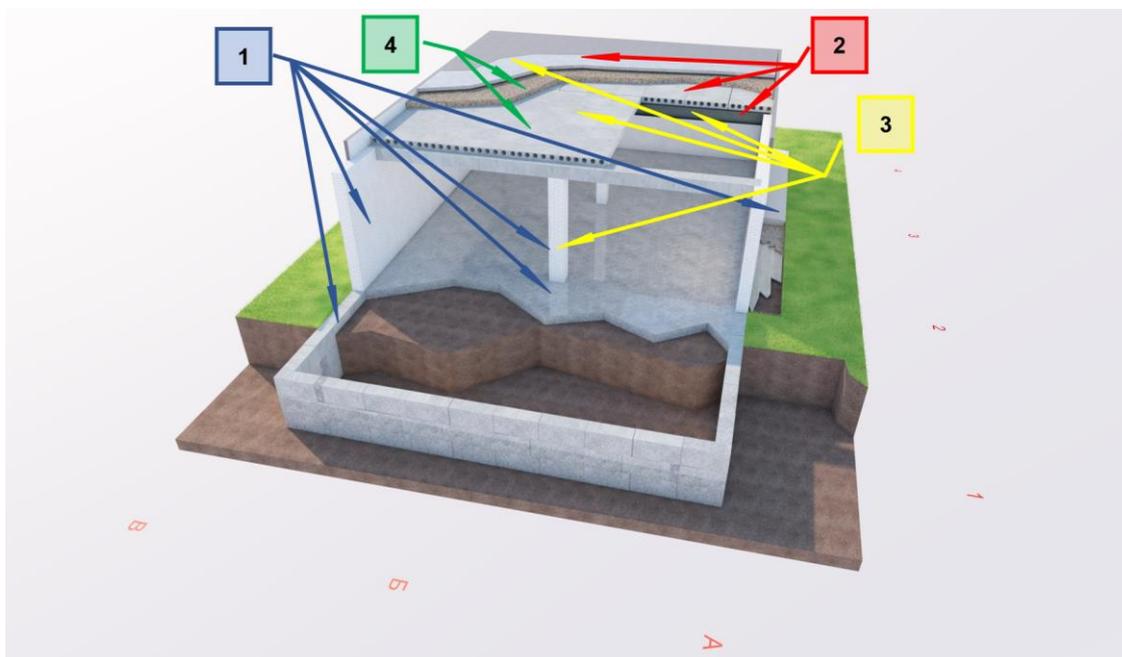


Рисунок 7 – условная схема определения областей отказа в строительных конструкциях выбранного здания: 1 – ОО стен и фундаментов; 2 – ОО балок; 3 – ОО кирпичных колон; 4 – ОО плит покрытия;

В данном случае покрытие здания будет состоять из 412 УЭ, так как 24 плиты имеют размеры 5760×1490 мм, что в сумме составляет общую площадь 206 м<sup>2</sup>, также площадь плоской рулонной кровли будет составлять 206 м<sup>2</sup>.

Кровля, как защитный элемент, который предохраняет здание от атмосферных воздействий, будет учтена при определении значимости конструкций, как отдельный элемент.

Так как 412 УЭ могут находиться в одном из двух состояний, в сумме они дают нам значение:  $n=412 \cdot 2=824$ , соответственно покрытие будет иметь 824

потенциальных состояния. Коэффициент значимости покрытия будет определен согласно формуле (35):

$$(X) = \log_2 824 = 9,7 \quad (35)$$

Полученные результаты расчета значимости других конструкций здания ЦТП-1 приведены в таблице 17.

Таблица 17 – Расчет коэффициентов значимости конструктивных элементов производственного здания ЦТП-1 с учетом областей отказа

Наименование строительной конструкции	Расчет УЭ в областях отказа	Сумма УЭ в оцениваемой конструкции	Количество состояний системы	Коэффициент значимости
Стены и фундаменты	Стена 510 мм в осях «А/4»=82,8м <sup>2</sup>	828,54	1657,08	10,7
	Стена 510 мм в осях «В/4»=82,8м <sup>2</sup>			
	Стена 510 мм в осях «А/В»=55,2м <sup>2</sup>			
	Стена 510 мм в осях «4/В»=55,2м <sup>2</sup>			
	Фундамент ленточный из ФБС 600×600×1800мм с площадью основания = 50,84 м <sup>2</sup>			
	Железобетонный столбчатый фундамент под колонну в осях "Б/1" = 0,5 м <sup>2</sup>			

Продолжение таблицы 17

Наименование строительной конструкции	Расчет УЭ в областях отказа	Сумма УЭ в оцениваемой конструкции	Количество состояний системы	Коэффициент значимости
	Железобетонный столбчатый фундамент под колонну в осях "Б/2" = 0,5 м <sup>2</sup>			
	Железобетонный столбчатый фундамент под колонну в осях "Б/3" = 0,5 м <sup>2</sup>			
	Сумма условных элементов кирпичных колонн здания = 441,4			
	Отмостка в осях «А-В/1-4» = 60м <sup>2</sup>			
Колонны кирпичные	Железобетонная балка 400×500мм по оси «3» = 6м	441,4	882,8	9,8
	Металлическая балка таврового сечения по оси «2» = 12м			
	Плиты покрытия 5760×1490мм в осях «А-В/1-4» = 206 м <sup>2</sup>			
	Кровля плоская рулонная = 206м <sup>2</sup>			
	Колонна кирпичная 400х400мм в осях «Б/3»=3,8м			
	Колонна кирпичная 500х500мм в осях «Б/2» =3,8м			
	Колонна кирпичная 500х500мм в осях «Б/1» =3,8м			
Балки	Железобетонная балка 400×500мм по оси «3» = 6м	430	860	9,7
	Металлическая балка таврового сечения по оси «2» = 12м			
	Плиты покрытия 5760×1490мм = 206 м <sup>2</sup>			
	Кровля плоская рулонная = 206 м <sup>2</sup>			
Плиты покрытия	Плиты покрытия в 5760×1490мм = 206 м <sup>2</sup>	412	824	9,7
	Кровля плоская рулонная = 206 м <sup>2</sup>			

Полученные коэффициенты значимости учитывают геометрические параметры конструктивных элементов, а также области отказа взаимосвязанных конструкций обследуемого здания. Не учитываются в данном расчете перегородки в здании, в соответствии с рекомендациями [13], в расчет приняты несущие строительные конструкции здания ЦТП-1.

Сравним и проанализируем значения, коэффициентов значимости полученные с учетом энтропии системы, и предлагаемые рекомендациями [13] на рисунке 8.

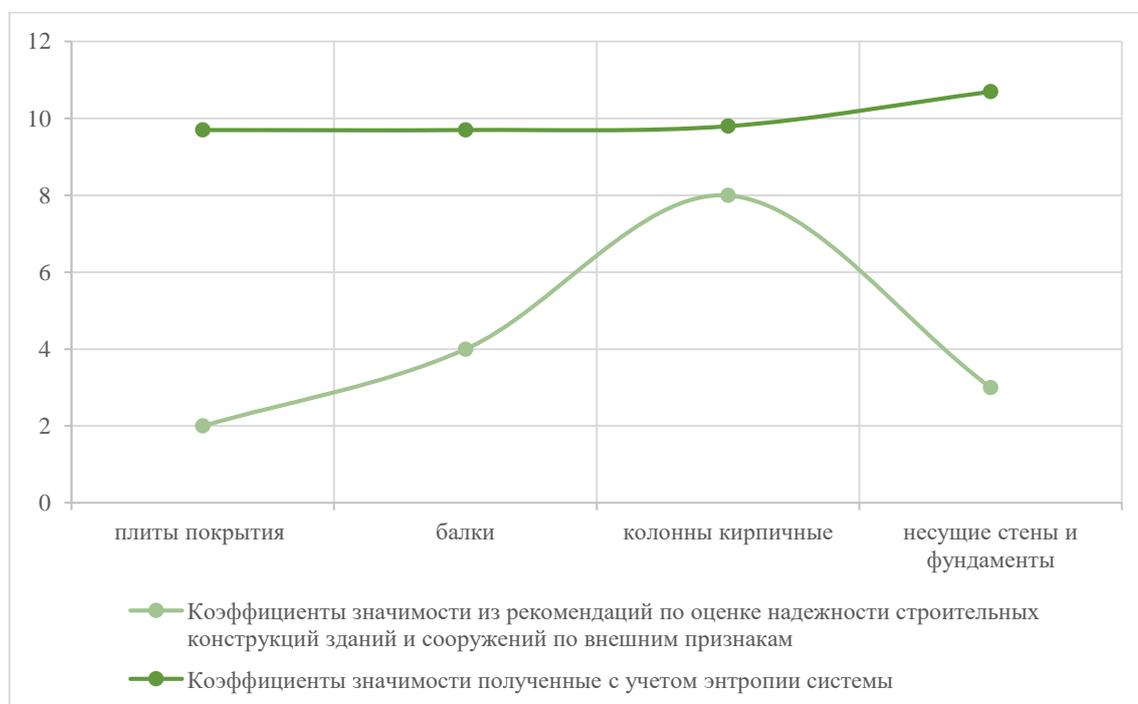


Рисунок 8 – Сравнительная диаграмма коэффициентов значимости конструкций ЦТП-1

В сравнении с имеющимися в рекомендациях [13] коэффициентах значимости, полученные с учетом энтропии системы коэффициенты учитывают значимость отмостки, а также кровли здания, которые защищают строительные конструкции от воздействия атмосферных осадков и других внешних факторов.

Полученные данные также учитывают важность фундаментов под колонны и кирпичных стен, которые воспринимают нагрузку от балок и плит покрытия обследуемого здания.

### **3.3. Определение дальнейшего срока службы**

Срок службы здания, установленный проектной документацией, к сожалению, не всегда абсолютно точно отражает обстоятельства его функционирования и технического состояния. Проектная документация, устанавливающая планируемый срок службы объекта, зачастую служит лишь исходным параметром в рамках сроков безопасной эксплуатации. В реальных условиях здания могут эксплуатироваться дольше сроков, установленных проектом или менее, а также нуждаться в капитальном ремонте значительно раньше запланированного.

Поэтому, в некоторых случаях прогноз работоспособности, а также остаточного ресурса уже эксплуатируемого здания, может стать важной задачей для промышленных предприятий.

Прогноз работоспособности после окончания нормативного срока службы зависит от множества факторов, таких как качество проектирования и строительства, качество применяемых материалов, условия эксплуатации, наличие и частота проведения ремонтных работ. В рамках действующего законодательства, это достаточно объемный вопрос, требующий от специалистов в области диагностирования тщательного анализа каждого конкретного случая.

Одной из основных проблем является износ и устаревание материалов, используемых в конструкциях здания. С течением времени материалы могут потерять свои первоначальные свойства и стать менее прочными и надежными. Это может привести к снижению уровня безопасной эксплуатации здания.

Кроме того, при расчете срока службы необходимо учитывать факторы, влияющие на эксплуатацию здания, такие как климатические условия,

интенсивность использования, качество материалов, своевременность проведения ремонтов. Также на техническое состояние конструкций могут влиять условия эксплуатации здания, таких как изменение температуры, влажности, уровня загрязнения и т.д.

Для оценки дальнейшего срока службы выбранного производственного здания ЦТП-1 в рамках исследовательской работы, за основу будет также принята методика из «рекомендаций по оценке надежности строительных конструкций зданий и сооружений по внешним признакам» [13]. Также в рамках исследовательской работы, на основе данных о техническом состоянии и значимости конструкций были проанализированы факторы, оказывающие влияние на срок службы здания.

Расчет срока службы зданий срок службы, установленный проектной документации у которых истек, может быть произведен на основе данных о техническом состоянии его строительных конструкций общей поврежденности за период эксплуатации, обеспеченной относительной надежности, и значимости конструкций в общей системе зданий.

Одним из факторов, влияющих на долговечность здания, является применение коэффициентов значимости. В данной работе был проведен анализ применения энтропийной системы для определения значимости конструкций в системе, а также влияние значимости на срок службы здания.

На основании рассчитанных ранее коэффициентов значимости элементов конструкций здания с учетом энтропии системы определим общую поврежденность здания в целом по формуле (9).

$$\varepsilon = \frac{10,7 \cdot 0,15 + 9,8 \cdot 0,0 + 9,7 \cdot 0,0 + 9,7 \cdot 0,0}{10,7 + 9,8 + 9,7 + 9,7} = 0,04$$

На основании полученной общей поврежденности определим относительную надежность здания по формуле (10).

$$\gamma = 1 - 0,071 = 0,95$$

Так же рассчитаем постоянную износа по формуле (8).

$$\lambda = -\ln(0,95)/46 = 0,0011$$

Остаточный ресурс здания до капитального ремонта оцениваемых несущих конструкций здания найдем по формуле (7).

$$t_{кр} = 0,16/0,0015 = 145$$

Сравним на рисунке 9 полученные данные расчета остаточного ресурса здания до аварийного состояния в соответствии с рекомендациями [13], с учетом полученных коэффициентов значимости конструкций, определенных предлагаемым, в рамках магистерской диссертации способом, и уже имеющихся в рекомендациях [13].

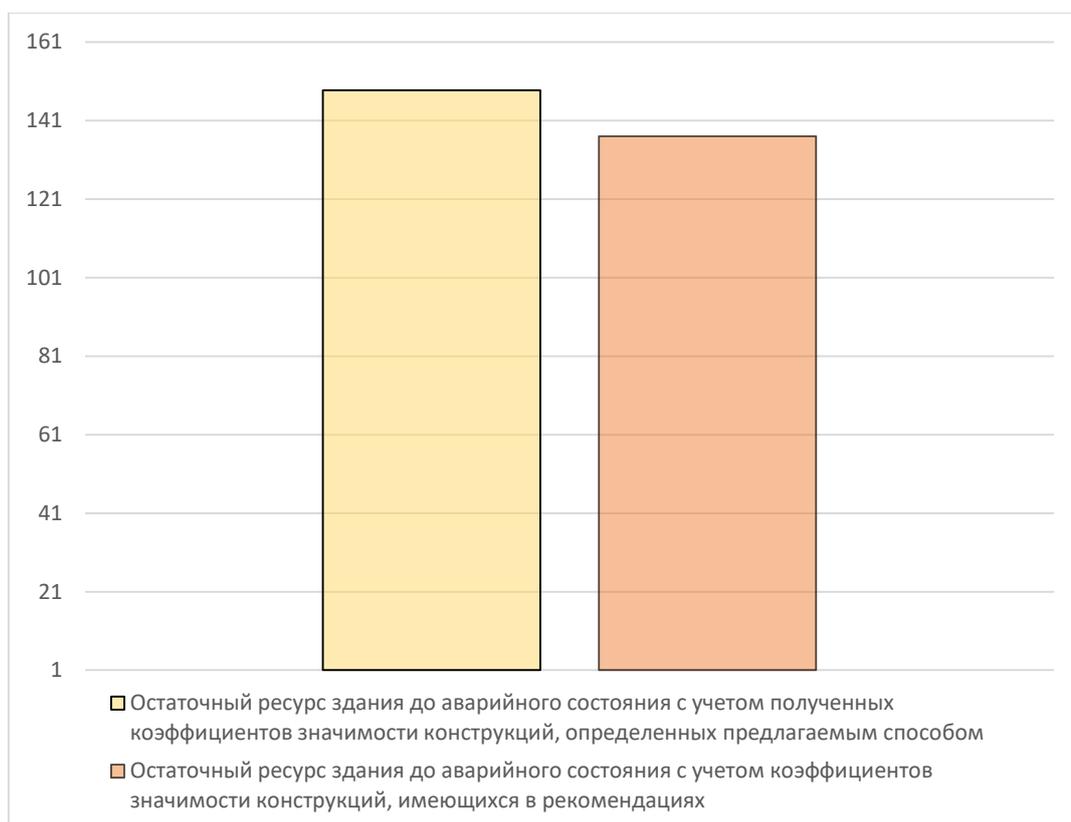


Рисунок 9 – Сравнительная диаграмма полученных значений остаточного ресурса здания до аварийного состояния в соответствии с рекомендациями

На основании расчета, в соответствии с рекомендациями [13], при условии выполнения своевременных текущих и капитальных ремонтов строительных конструкций, а также поддержанию температурно-влажностных режимов, дальнейший срок службы здания может быть продлен примерно до 137-ти лет, учитывая поддержание текущего работоспособного технического состояния.

В соответствии с «ГОСТ 31937-2024 Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния» [12], по результатам обследования определено, что здание ЦТП-1 эксплуатируется в нормальных условиях, на основании чего рекомендовано проводить обследование здания «не реже одного раза в десять лет» [12].

Из сравнительных данных можно проанализировать, что разница в рассчитанных сроках службы в соответствии с методикой рекомендаций ЦНИИПромзданий, определенных классическим способом и с применением

интегрированного в нее метода оценки значимости конструкций, составила не более 8%.

Расчет остаточного ресурса здания, учитывает текущее, на момент обследования, техническое состояние здания, но не отражает дальнейшей эксплуатации, в долгосрочной перспективе эксплуатационного жизненного цикла здания. Для применения предлагаемого способа прогнозирования работоспособности и актуализации информации о техническом состоянии строительных конструкций зданий рекомендуется в соответствии с ГОСТ 31937-2024 проводить периодические обследования не реже одного раза в десять лет с выполнением перерасчета прогнозируемого дальнейшего срока службы здания или сооружения.

Выводы по главе 3.

1. Предложен способ расчета остаточного ресурса строительных конструкций с использованием экспоненциального распределения в соответствии с рекомендациями ЦНИИПромзданий, с учетом значимости конструкций в системе здания ЦТП-1, определяемой их энтропией системы по методике, предложенной Н.А. Бузало и А.В. Канунниковым в научной статье «Определение коэффициента значимости строительных конструкций при оценке технического состояния зданий».

2. Предлагаемый способ прогнозирования работоспособности позволил оценить дальнейший срок службы не только для отдельных конструкций здания ЦТП-1, но и для всей системы здания, независимо от материалов строительных конструкций, с учетом их геометрических характеристик.

3. Предложенный способ оценки дальнейшего срока службы, основанный на существующей методике оценки остаточного ресурса с учетом экспоненциального распределения, а также учитывающий значимость конструкций с использованием энтропии системы здания, не требует дополнительных сложных вычислений.

## Заключение

1. Предложен способ прогнозирования работоспособности строительных конструкций промышленного здания с использованием экспоненциального распределения в соответствии с рекомендациями ЦНИИПромзданий с учетом значимости конструкций в системе здания, определяемой их энтропией системы по методике, предложенной Н.А. Бузало и А.В. Канунниковым.

2. Прогнозирование работоспособности осуществляется на основе учета конструктивных решений здания или сооружения, технического состояния и значимости строительных конструкций.

3. Предлагаемый способ прогнозирования работоспособности с учетом экспоненциального распределения с интегрированным в него методом оценки коэффициентов значимости, может быть использован для дальнейшей научно-исследовательской работы и сравнения полученных результатов оценки значимости конструкций зданий с разными конструктивными решениями и геометрическими характеристиками.

4. Апробация предлагаемого способа прогнозирования работоспособности проведена на примере промышленного здания ЦТП-1. Дальнейший срок службы, по результатам оценки, определен в 145 лет, а разница в рассчитанных сроках службы, определенных в соответствии с методикой рекомендаций ЦНИИПромзданий классическим способом и с применением интегрированного в нее метода оценки значимости конструкций, составила не более 8%.

5. Для применения предлагаемого способа прогнозирования работоспособности и актуализации информации о техническом состоянии строительных конструкций зданий рекомендуется в соответствии с ГОСТ 31937-2024 проводить периодические обследования не реже одного раза в десять лет с выполнением перерасчета прогнозируемого дальнейшего срока службы здания или сооружения.

## Список используемой литературы и используемых источников

1. Алексеева Е. Л., Хлесткин А. Ю. Изучение закономерностей физического износа несущих конструкций зданий энергетической и химической отраслей // Наука и безопасность. 2014. № 4 (13). С. 43–47.
2. Белых А. В. Методика определения величины физического износа нежилых зданий для целей массовой оценки // Журнал правовых и экономических исследований. 2013. № 2. С. 78–86.
3. Беляев С. М. Расчет остаточного ресурса зданий с учетом запаса несущей способности конструкций // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. 2013. № 3 (11). С. 22–25.
4. Бузало Н.А., Канунников А.В. Определение коэффициента значимости строительных конструкций при оценке технического состояния зданий // Строительство и реконструкция. 2018. № 3(77). С. 3-9;
5. Васильев А. А. Анализ существующей оценки физического износа конструкций зданий и сооружений // Наука и Просвещение. 2019. С. 36–38.
6. Гаврильев И. М., Корольков Д.И., Гравит М.В. Модифицированная методика расчета остаточного ресурса с использованием экспоненциального распределения // Вестник Евразийской науки, 2019 №2. С. 4-14.
7. Ганиев И. Г. Расчет безопасного времени работы пролетных строений по величине накопленного износа // Наука и прогресс транспорта. Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта. 2008. № 21. С. 105–106.
8. Горшков А. С. Модель физического износа строительных конструкций // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2014. № 12 (191). С. 34–37.
9. ГОСТ 22690-2015. Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля. Общие положения: принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 18 июня 2015 г. N 47). М.: Стандартиформ, 2019. 10с.

10. ГОСТ 27751–2014. Надежность строительных конструкций и оснований. Общие положения: принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации. (протокол от 14 ноября 2014 г. N 72-П). М.: Стандартиформ, 2014. 4-10с.

11. ГОСТ 27751-2014. Надёжность строительных конструкций и оснований. Основные положения. Введ. 01.07.2015. М. : Стандартиформ, 2019. 27 с.

12. ГОСТ 31937-2024. Межгосударственный стандарт. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. Общие положения: принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации. (протокол от 29 февраля 2024 г. N 170-П). М.: Стандартиформ, 2024. 10-40 с.

13. Добромыслов А. Н ., Фролов Ю .В., Кузина О .Л., Третьякова С.В. Рекомендации по оценке надежности строительных конструкций зданий и сооружений по внешним признакам. М.: ЦНИИПромзданий: Москва: АО ЦНИИПромзданий, 2001. 5-12 с.

14. Ерышев В. А., Латышева Е. В. Методы и средства диагностики строительных конструкций зданий и сооружений: учебное пособие. Тольятти: ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет», 2020.

15. Ильин И. С., Карпик Д. С., Никифоров Э. А., Бардин Е. С. Процесс обследования зданий // Научно-практический журнал Современные инновации. 2017. № 4 (18). С. 16-17.

16. Корольков Д. И. Методика расчета остаточного ресурса строительных конструкций по их возрасту (фактическому или хронологическому) // Вестник Евразийской науки. 2019. №3. С. 1-14.

17. Корольков Д. И. Оценка остаточного ресурса строительных конструкций: Монография. СПб.: Министерство науки и высшего образования Российской Федерации Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет: Санкт Петербург: СПбГАСУ, 2020. 4,5 с.

18. Мамин А. М. Методология оценки остаточного ресурса строительных конструкций // Синергия Наук. 2016. № 6. С. 477–489.

19. Мищенко В. Я. Прогнозирование темпов износа жилого фонда на основе мониторинга дефектов строительных конструкций // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. 2009. № 4 (16). С. 111–117.

20. Оценка технического состояния и расчет остаточного ресурса строительных конструкций: Сб. науч. трудов / Донбасского государственного технического университета; под ред. В. В. Псюк, А. И. Голоднов, И. А. Никишина, М. Ю. Псюк: ДонГТУ. 2015. № 45. С. 67–73.

21. Правила оценки физического износа жилых зданий. ВСН 53-86(р). М.: Прейскурантиздат, 1988. 69 с.

22. СНиП 2.03.11-85. Защита строительных конструкций от коррозии. Введ. 01.01.2013. М.: Министерство регионального развития Российской Федерации, 2013. 6с.

23. Соколов В. А. Оценка технического состояния и физического износа строительных конструкций с использованием вероятностных методов технической диагностики // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 1 (661). С. 94–100.

24. СП 14.13330.2018. Строительство в сейсмических районах. Введ. 25.11.2018. М.: Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации, 2018. 10с.

25. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85\* (с Изменением N 1). Введ. 04.06.2017. М.: Стандартинформ, 2018. 86 с.

26. СП 131.13330.2020. Строительная климатология. Введ. 25.06.2021. М.: Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации, 2021. 3-90с.

27. СП 23-101-2004. Проектирование тепловой защиты зданий. Введ. 23.04.2004. М.: ОАО «ЦНИИпромзданий» и ФГУП ЦНС, 2004. 3-80с.

28. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. Введ. 01.07.2013. М.: Минрегион России. 2013. 93с.

29. СТО 1.1.1.02.009.1548–2018. Обоснование срока службы строительных конструкций зданий и сооружений атомных станций. Управление ресурсом (сроком службы) строительных конструкций: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 17 ноября 2022 г. № 1313-ст// Консультант плюс: справочно-правовая система.

30. Суцев С. П., Адаменко И. А., Самолинов Н. А. Остаточный ресурс конструкций здания (сооружения) и возможные методы его оценки // Предотвращение аварий зданий и сооружений: сб. науч. трудов. Вып. 8. М.: МДП, 2009. С. 320–327.

31. ТКП 45-1.04-119-2008 (02250). Здания и сооружения. Оценка физического износа. Введ. 29.10.2008. М.: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2008. 10с.

32. Тарарушкин Е. В. Применение нечеткой логики для оценки физического износа несущих конструкций зданий // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. 2016. № 10. С. 77–82.

33. Тошин, Д. С. Натурное определение действующих напряжений в стальных элементах строительных конструкций // Молодой ученый. 2016. № 21 (125). С. 224-226.

34. Теремов Д. Н. Лазарев Д. Н. Зорин Д.В. Обследование зданий и сооружений: // Международный научный журнал Инновационная наука. 2016 №4. issn 2410-6070 С. 174-176.

35. Хайруллин В. А. Учет величины физического износа объекта технической эксплуатации при оценке действительной стоимости здания // Науковедение. 2015. Том 7 №5. С. 3-9.

36. Чегодаева М. А., Тошин Д. С. Информационная модель как средство повышения качества эксплуатации объекта // Наука и образование: новое время. 2017. №6 (23). С. 34.

37. Шматков С. Б. Расчет остаточного ресурса строительных конструкций зданий и сооружений // Вестник Южно-Уральского государственного университета. 2007. № 22 (94). С. 56–57.

38. Шмелев Г. Д. Экспертный метод прогнозирования остаточного срока службы строительных конструкций по их физическому износу // Строительство и реконструкция. 2014. № 3. С. 31–39.

39. Шмелев Г. Д., Головина Н. В. Прогнозирование надежности и остаточного ресурса строительных конструкций с использованием метода линеаризации в условиях ограниченной статической информации // Сборник научных трудов SWorld. 2012. Т. 6. № 4. С. 100–107.

40. British standard BS EN 13791:2007 Assessment of in-situ compressive strength in structures and precast concrete components, Beuth Verlag [www.antpedia.com]: This British Standard was published under the authority of the Standards Policy and Strategy Committee on 28 February 2007.

41. DBV Merkblatt: Concrete Cover and Reinforcement, Deutscher und Bautechnik Verein E.V. Beschichtete Fugenblechsysteme. Fassung März 2023. 34 с.

42. Dr.-Ing. Hans-Ulrich Lizner, Dr.-Ing. Lutz Wittmann Assessment of in-situ compressive strength of concrete, Deutscher Beton- und Bautechnik Verein E.V.: Merkblatt. Berlin/Köln. August 2004. 1-3 с.

43. Martin Schickert. Non-destructive Testing in Civil Engineering. :DGZfP-Merkblatt B04. A guideline of the ultrasonic method for non-destructive testing in civil engineering. DGZfP-committee. 2015. 2 с.

44. Periodic structural inspection of existing buildings guidelines for structural engineers// Guidelines for structural engineers. September 2022