

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Политехнический институт
«Инженерная экология и безопасность жизнедеятельности»

УТВЕРЖДАЮ Заведующий кафедрой

подпись инициалы, фамилия

« ____ » _____ 20 __ г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДАТЧИКОВ
ДЕФОРМАЦИИ В ЦЕЛЯХ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ
ЭКСПЛУАТАЦИИ КРУПНОПРОЛЁТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

20.04.01 Техносферная безопасность

20.04.01.03 Безопасность жизнедеятельности в техносфере

Научный руководитель

подпись, дата

В.И. Терешков

Руководитель

подпись, дата

Л.В. Кулагина

Выпускник

подпись, дата

Д.А. Семенякин

Рецензент

подпись, дата

И.В. Варфоломеев

Красноярск 2018

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
Глава 1 Теоретические основы проектирования и строительства крупнопролётных зданий и сооружений	5
1.1 Проектирования промышленных и общественных зданий	5
1.2 Классификация общественных зданий	7
1.3 Классификация промышленных зданий	14
1.4 Параметры промышленных крупнопролётных залов с установкой мостового крана.....	21
1.5 Проектирование деформационных швов в крупнопролётных зданиях	23
Глава 2 Система мониторинга крупнопролётных сооружений и предупреждение их обрушения	27
2.1 Мониторинг безопасности при обслуживании крупнопролётных конструкций	27
2.2 Обрушение зданий как чрезвычайная ситуация	38
2.3 Оценка и прогнозирование риска обрушения зданий и сооружений	39
2.4 Экспертиза безопасности при оценке риска обрушения	43
2.5 Управление риском обрушения зданий на стадии проекта	48
2.6 Системный подход к моделированию обрушения зданий.....	51
Глава 3 Характеристика объекта исследования	59
3.1 Индустриализация Красноярского края	59
3.2 Природно-климатические условия.....	70
Глава 4 Расчёт оптимального расположения датчиков деформации и идентификация напряжённых конструктивных участков крупнопролётного строения.....	73
4.2 Расчёт нагрузки от собственного веса конструкции	78
Глава 5 Расчёт рисков обрушения	83
5.1 Риски и оценка обрушения промышленных зданий и сооружений	83
5.2 Риски обрушения конструкции	85
5.3 Сравнительный анализ расчёта части кровельной конструкции ТРЦ «Июнь» с холодным складом металла.....	89
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	94
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	95

ВВЕДЕНИЕ

Технические и эксплуатационные параметры зданий и сооружений с течением времени имеют свойство меняться, терять некоторые свои характеристики под влиянием различных внешних воздействий. Это связано с изменчивостью величин нагрузок и изменением эксплуатационных свойств вследствие различных повреждений.

При достижении конструкции определённого уровня надёжности в них будут наблюдаться необратимые повреждения, такие как: трещины, деформации, потеря устойчивости, коррозии. Повреждения критического характера в конструкциях могут привести к обрушению конструкций и аварии здания или сооружения.

Своевременная оценка технического состояния и надёжности зданий и сооружений позволяет вовремя провести их ремонт и усиление и тем самым обеспечить их надёжность при эксплуатации.

Обрушение зданий и инженерных сооружений наносят значительный экономический ущерб и нередко сопровождаются гибелью людей. Одной из главных задач при строительстве и эксплуатации зданий и инженерных сооружений является обеспечение надёжности гарантирующей их безаварийности. Одним из основных свойств определяющих надёжность строительных конструкций зданий и инженерных сооружений, является безотказность их работы, способность сохранять заданные функции в течение определённого срока службы.

Долговечность сооружения оценивается продолжительностью его работоспособного состояния при установленной системе ремонта. Долговечность определяется сроками службы основных конструкций.

Надёжность сооружения закладывается при разработке проекта и поддерживается на заданном уровне при эксплуатации за счет ремонта. При проектировании закладывается надёжность конструкций исходя из

требований норм на проектирование (нормативная надежность), которая косвенно отображает необходимый запас прочности конструкций на восприятие действующих нагрузок.

Мерой надежности сооружения служит его вероятность разрушения (частота вероятного разрушения сооружения в год). На практике надежность сооружения косвенно может быть оценена в виде коэффициента запаса прочности сооружения, категорией его технического состояния или условной надежностью в баллах.

Согласно постановлению правительства РФ от 28.12.2005 г. №1058-ПП обеспечить многофункциональные высотные, комплексные и крупнопролётные здания-сооружения системами автоматизированного контроля. Система мониторинга особенно напряженных участков позволяет получать текущую информацию о конструктиве здания в режиме «реального времени», производить анализ динамики изменения уровня снега на крыше и деформаций в зависимости от снеговой нагрузки, ветровой нагрузки и сейсмической активности.

Обеспечение системами контроля целостности конструктива зданий становится всё более актуальным, в силу современных темпов строительства и реконструкции новых зданий и сооружений. Использование датчиков деформации в г. Красноярске на крупнопролётных объектах по своей специфике уникально и востребовано, поскольку строительные компании только начинают набирать обороты по их использованию.

Глава 1 Теоретические основы проектирования и строительства крупнопролётных зданий и сооружений

1.1 Проектирования промышленных и общественных зданий

Основой индустриального строительства является заводское изготовление конструкций и их узлов, монтируемых на стройке с использованием современных средств механизации и автоматизации. Индустриализация невозможна без унификации и типизации зданий целиком, их частей (блоков), узлов (модулей) и отдельных конструкций. Использование крупногабаритных сборных конструкций и монтаж большими узлами и блоками значительно увеличивают скорость строительства [5].

В строительстве зданий различного назначения широко применяются сборные железобетонные и стальные конструкции, а также монолитный железобетон, алюминий, дерево и пластмассы.

Основными направлениями повышения технического уровня и снижения стоимости строительства промышленных крупнопролётных сооружений являются:

- объединение предприятий в промышленные узлы с использованием общих инженерных коммуникаций, вспомогательных, складских и обслуживающих зданий;
- блокирование производственных, вспомогательных и др. цехов (объединение нескольких цехов под одной крышей);
- строительство, в основном, одноэтажных промышленных зданий с пролетами одного направления, одинаковой высоты и ширины;
- использование универсальных типов промышленных зданий (павильонного типа, с межферменными этажами, с подпольными этажами и т.п.);

- замена мостовых кранов более эффективными видами внутрицехового транспорта: подвесными или напольными кранами, авто- и электрокарами и т.п.);
- снижение массы зданий за счет уменьшения расхода материалов;
- применение из стали и бетонов высоких марок, предварительно напряженных, тонкостенных и пространственных прогрессивных большепролетных конструкций;
- размещение технологического оборудования вне зданий или под навесами;
- удобное размещение бытовых помещений по отношению к рабочим местам с применением новейшего санитарно-технического оборудования [5].

К промышленным и общественным зданиям предъявляют функциональные, технические, архитектурно-художественные и экономические требования.

Здания и строения различного назначения должны обеспечивать нормальное функционирование и отвечать определенным эксплуатационным требованиям и создавать в помещениях нормальные санитарно-гигиенические условия для деятельности человека. С учетом функциональных требований назначают: объемно-планировочные параметры здания исходя из необходимого состава, площадей, высот и взаимосвязи помещений; вид и материал несущих и ограждающих конструкций; тип и грузоподъемность внутрицехового транспорта, если это производственные залы и обеспечивают нормальные санитарно-гигиенические условия в помещениях [5].

Технические требования заключаются в обеспечении прочности, устойчивости, долговечности зданий и в возможности их возведения индустриальными методами.

Архитектурно-художественные требования заключаются в придании зданию выразительного архитектурного облика на основе фактуры и цвета

поверхности ограждающих конструкций здания, пропорций отдельных его объемов.

Экономические требования достигаются: рациональной организацией технологического процесса для производственных помещений; оптимальным использованием площади и объема здания общественного и производственного назначения; назначением соответствующих шагов несущих колонн и ширины пролетов, этажности, материалов [5].

1.2 Классификация общественных зданий

Общественные здания по назначению весьма разнообразны. Наиболее часто встречающиеся общественные здания можно подразделить на следующие виды:

- административные (городские и районные советы, здания государственных и общественных организаций; детские учреждения (детские сады и ясли); учебные (школы, техникумы, вузы) (рисунок 1);



Рисунок 1 – Здание городской администрации г. Красноярск

- культурно-просветительные (театры, музеи, клубы, дома культуры, библиотеки, выставочные павильоны, кино, цирки) (рисунок 2);



Рисунок 2 – Здание МВДЦ «Сибирь» г. Красноярск

- лечебные и оздоровительные (больницы, поликлиники, родильные дома, диспансеры, санатории, дома отдыха) (рисунок 3);



Рисунок 3 – Здание Краевой клинической больницы г. Красноярск

- торговые (магазины, универмаги, торговые центры, крытые рынки);
общественного питания (столовые, рестораны, кафе) (рисунок 4);

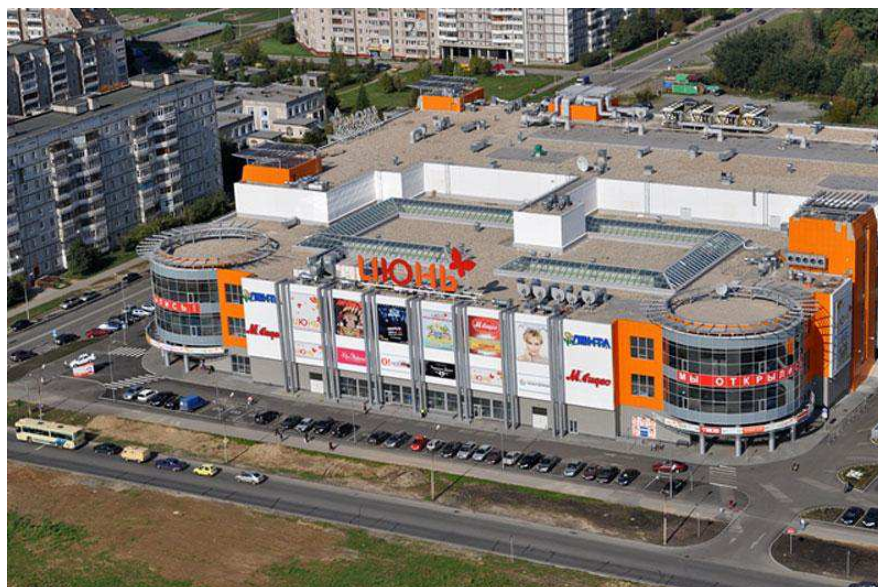


Рисунок 4 – ТРЦ «Июнь» г. Красноярск

- спортивные (спортивные и гимнастические залы, крытые стадионы и бассейны для плавания) (рисунок 5);



Рисунок 5 – Спортивный комплекс «Арена Север» г. Красноярск

- коммунальные (бани, прачечные, гаражи, трамвайные и троллейбусные парки);
- здания транспорта и связи (аэро- и автовокзалы, железнодорожные, речные и морские вокзалы, радио- и телецентры, отделения почты и телеграфа) (рисунок 6).



Рисунок 6 – Здание железнодорожного вокзала г. Красноярск

По расположению на территории города различают общественные здания общегородские, районные и микрорайонные.

Кроме того, общественные здания можно подразделить на здания массового строительства, которые строят в населенном пункте в большом количестве, обычно по типовым проектам, и здания, строительство которых не носит массового характера, которые имеют общегородское значение и обслуживают значительные контингент населения (например, театры, музеи, универмаги). Эти здания обычно строят по индивидуальным проектам. К зданиям массового строительства относятся детские ясли и сады, школы, отдельно стоящие магазины, предприятия бытового обслуживания. Такие здания сооружают в микрорайонах в комплексе с жилыми зданиями; и по своей конструктивной схеме, и по применяемым конструкциям они незначительно отличаются от жилых зданий [53].

Особенностью общественных зданий, отличающей их по функциональному признаку от жилых, является массовое одновременное пребывание в них людей. Например: зрелищные и спортивные здания, учебные, культурно-просветительные, торговые[53].

Массовость пользования помещениями общественных зданий вызывает необходимость предусматривать при проектировании специальные помещения, приспособленные к тому, чтобы организованно принимать и выпускать в короткий срок большие массы людей. К таким помещениям относятся вестибюли, аванвестибюли, фойе. Входящим в общественное здание и выходящим из него людским потокам путем планировочных мероприятий необходимо обеспечить кратчайшее расстояние и прямоточное направление в соответствующие места здания. Для этой цели проектируют пути связи и эвакуации, к ним относятся коридоры, кулуары, промежуточные проходные помещения, лестницы, пандусы, лифты, эскалаторы [53].

Несмотря на разнообразие общественных зданий все они содержат ряд общих планировочных элементов. К ним относятся входные узлы с вестибюлями и гардеробами, пути связи и эвакуации и основные помещения-рабочие или массового пользования (например, зрительные залы и другие зальные помещения) [53].

Помещения, в которых осуществляются процессы, определяющие основное функциональное назначение здания, называют основными. К ним относят рабочие помещения (например, конторские помещения в административных зданиях, классы и аудитории в учебных заведениях, палаты и кабинеты в лечебных зданиях), а также помещения массового пользования, которые имеются во многих общественных зданиях. Например: зрительные залы в театрах, кинотеатрах, клубах, залы в музеях, читальные залы в библиотеках, актовые залы в вузах, техникумах и школах, конференц-залы в научных и административных учреждениях, залы спортивных зданий, залы универмагов, вокзалов, торговые залы ресторанов [53].

Помимо основных помещений различают также вспомогательные, которые необходимы для выполнения основных процессов, однако не определяют их, например, фойе в театрах. Кроме того, в общественных зданиях имеются обслуживающие помещения, которые не имеют непосредственного отношения к выполняемому основному процессу, но

необходимы в связи с требованиями санитарии, гигиены и для обеспечения комфорта. К ним относятся буфеты, уборные, умывальные, душевые, курительные [53].

Рабочую площадь общественных зданий определяют, как сумму площадей основного, вспомогательного и обслуживающего назначения, за исключением лестничных клеток, коридоров, переходов и тамбуров, а также технических помещений, предназначенных для размещения энергетического и санитарно-технического оборудования (котельных со вспомогательными помещениями, бойлерных, насосных водопровода и канализации, трансформаторных подстанций, камер для кондиционирования воздуха, машинных отделений подъемников). Полезная площадь общественных зданий является суммой рабочей площади здания, площадей коридоров, переходов, тамбуров, а также помещений технического назначения [53].

Помимо общих требований, которым должно удовлетворять всякое здание, к общественным зданиям предъявляют еще ряд специальных требований — санитарных и противопожарных, в том числе требований, обеспечивающих безопасную вынужденную эвакуацию людей из зданий. Кроме того, большое значение в числе специальных требований, предъявляемых к театральным помещениям, имеет требование хорошей видимости и слышимости речи и музыки [53].

Современные общественные здания, размещаемые в городах и поселках, должны быть обеспечены инженерным оборудованием, включающим устройства систем водопровода, горячего водоснабжения, пожарного водопровода, канализации, отопления, вентиляции, осветительной электросети и ряда слаботочных сетей: телефона, радио и т. п., а также мусороотвода [53].

В общественных крупнопролётных зданиях залы в силу пространственных ограничений, создающихся конструкциями основного здания, имеют форму сильно вытянутого прямоугольника. Такая форма усложняет процесс перемещения людей, торговли и взаимосвязь торговых и

складских помещений, увеличивает путь движения товаров, вынуждает разбивать пространство на отсеки с отделами продажи товаров различных видов [27].

Высоту залов, галерей принимают в зависимости от их площади: 3,3 м при площади до 300 м² и 4,2 м – при площади более 300 м². Высота подсобных, складских и административных помещений принимается равной 3,3 м. В зависимости от радиуса обслуживания, вида и количества оказываемых услуг предприятия торгово-бытового обслуживания подразделяют на предприятия местного и городского значения [27].

Предприятия бытового обслуживания населения по характеру предоставления услуг и технологии производства можно разделить на две группы:

1. предприятия непосредственного контакта с потребителем (парикмахерская, мастерские срочного ремонта одежды и обуви, приемные пункты заказов и т.п.);
2. предприятия централизованного выполнения заказов.

Предприятия первой группы относятся к категории общественных объектов и размещаются равномерно на территории жилой застройки (радиус обслуживания от 300 до 700 м) и в общественных центрах (микрорайона, жилого района, города). Эти объекты проектируются в виде 1-2 этажных блоков в составе торгового или общественного центров, некоторые (пункты приема заказов, парикмахерские на 3-5 рабочих мест и пр.) могут размещаться в одноэтажных блоках-пристройках к жилым многоэтажным домам. Предприятия большей мощности (от 25 до 150 рабочих мест) и комплексные следует размещать в отдельно стоящих зданиях [27].

Предприятия второй группы следует характеризовать как производственные и размещать в отдельных специализированных зданиях, главным образом, в промышленных и коммунально-складских зонах города.

Рынки также являются объектами городского или районного значения. Крытые рынки в крупных городах рекомендуется размещать на расстоянии

не более 1-1,5 км от жилой застройки в крупных городах и не более 1,5–2 км – в малых. Размеры земельного участка для рыночного комплекса устанавливаются в зависимости от торговой площади: принимается 14 м² территории на 1 м² торговой площади до 600 м² и 7 м² - свыше 3000 м². На одно торговое место отводится 6 м² торговой площади. В состав территории рынка, кроме самого здания включается также хозяйственный двор с участками разгрузки продуктов и стоянкой грузового транспорта. Размещение рынка должно предусматривать возможность организации удобных подъездов и подходов к нему, но при этом транспортные и пешеходные пути должны быть изолированы и не должны пересекаться. На предрыночной территории следует предусмотреть стоянку личного автотранспорта и площадки для сезонной торговли [27].

1.3 Классификация промышленных зданий

К промышленным зданиям относят здания, в которых осуществляются производственно-технологические процессы, связанные с выпуском определенного вида продукции [5].

По назначению промышленные здания подразделяют на следующие группы:

- производственные, которые предназначены для основных процессов производства. К ним относятся прокатные, кузнечные, механосборочные цеха (рисунок 7);



Рисунок 7 – Зал прокатного цеха

- подсобно-производственные здания, необходимые для вспомогательных процессов. К ним относятся ремонтные, тарные (рисунок 8);



Рисунок 8 – Зал тарного цеха

- энергетические, снабжающие предприятие электроэнергией, сжатым воздухом, паром, газом. К таким сооружениям относят ТЭЦ, компрессорные, паровые установки (рисунок 9);



Рисунок 9 – ТЭЦ-3 г. Красноярск

- складские здания, предназначенные для хранения сырья, заготовок, полуфабрикатов, готовой продукции (рисунок 10);



Рисунок 10 – Склад готовой продукции

- транспортные, к которым относятся гаражи, электровозные депо (рисунок 11);



Рисунок 11 – Электровозное депо

- санитарно-технические здания, предназначенные для обслуживания водопровода, канализации. Это насосные станции, очистные сооружения, водохранилища, водонапорные башни (рисунок 12);



Рисунок 12 – Очистные сооружения

- вспомогательные и общезаводские здания, к которым относятся административные помещения, заводоуправления, столовые, медицинские пункты, ПТУ, пожарные депо (рисунок 13).



Рисунок 13 – Пожарное депо

На территории промышленных предприятий, в зависимости от их назначения, строят специальные сооружения такие как, резервуары, газгольдеры, градирни, эстакады, дымовые трубы [5].

Для конкретного производства состав зданий и сооружений, располагаемых на территории промышленного предприятия, зависит от назначения здания, его специализации и мощности [5].

По архитектурно-конструктивным признакам промышленные здания делят на одноэтажные, многоэтажные и смешанной этажности [5].

Одноэтажными проектируют здания для производственных процессов, связанных с необходимостью применения тяжелого громоздкого оборудования для изготовления крупногабаритных изделий, а также где возможны динамические нагрузки больших значений (кузнечные, прокатные, термические, литейные и т.п. цеха) [5].

В многоэтажных зданиях размещают производства с вертикально направленным технологическим процессом с использованием тяжести сырья и полуфабрикатов, например, мельницы, химические заводы, хлебозаводы и т.п. производства [5].

Промышленные предприятия, в которых размещаются производства, связанные с горизонтальным и вертикальным технологическими процессами, проектируют смешанной этажности. Многие предприятия химической промышленности имеют смешанную этажность [5].

В основном промышленные производства размещают в одноэтажных зданиях. Одноэтажные здания составляют до 80% от общего объема промышленного строительства.

В зависимости от количества пролетов одноэтажные здания делят на одно- и многопролетные.

По ширине пролетов различают мелкопролетные ($L < 12$ м) и крупнопролетные ($L > 12$ м) здания [5].

В современном промышленном строительстве основными типами являются многопролетные здания с широкими пролетами, в которых большие производственные площади не стеснены промежуточными опорами.

Применение железобетонных и армоцементных оболочек, стальных и алюминиевых ферм, пространственных систем и других высокопрочных легких конструкций покрытий позволяет строить большепролетные промышленные здания с пролетами равными 36, 42, 60 м и более. В таких зданиях, как правило, размещают цеха авиационных заводов, ангары, гаражи [5].

По типу застройки территории промышленные предприятия делят на здания сплошной и павильонной застройки. Здания сплошной застройки имеют значительные размеры в плане и являются многопролетными, а здания павильонной застройки имеют небольшую ширину и ограниченное количество пролетов [5].

По расположению внутренних опор различают ячейковые, пролетные и зальные здания.

Ячейковые здания имеют квадратную сетку колонн с малыми размерами пролетов и шагов.

В пролетных зданиях величина пролета значительно превышает величину шага опор.

В зальных зданиях расстояния между опорами достигают 100 м и более.

Многоэтажные промышленные здания, как правило, проектируют многопролетными в первых этажах которых, располагают производства, имеющие тяжелое, крупногабаритное оборудование, а в верхних этажах – производства, опасные с точки зрения выбросов газа или других химических вредностей, а также пожароопасные производства [5].

Одноэтажные здания по сравнению с многоэтажными имеют следующие преимущества:

- облегчают установку технологического оборудования, упрощают пути грузовых потоков и позволяют использовать для перевозки грузов наиболее экономичный горизонтальный транспорт;

- имеют более простые объемно-планировочные и конструктивные решения;

- обеспечивают равномерную освещенность рабочих мест естественным светом за счет применения световых фонарей в покрытии здания;

- дают возможность организовать естественный воздухообмен в помещениях через светоаэрационные фонари;

- создают хорошую обзораемость всех участков технологического процесса и удобную связь между производственными помещениями;

- легче и с большим эффектом поддаются унификации и типизации, а также блокированию.

К недостаткам одноэтажных зданий можно отнести:

- относительно большую площадь застройки, увеличивающую протяженность инженерных и транспортных сетей и повышающую расходы на благоустройство территории;

- большую площадь наружных ограждений, что повышает эксплуатационные расходы на содержание ограждений и поддержание заданных параметров внутренней среды [5].

Многоэтажные здания при нагрузках до 10 кН/м^2 экономичнее одноэтажных. Они более гибки в отношении градостроительных требований (их можно размещать в городских кварталах, за исключением зданий с вредными производствами). В многоэтажных зданиях более удачно размещаются административно-бытовые помещения [5].

Недостатками многоэтажных зданий являются:

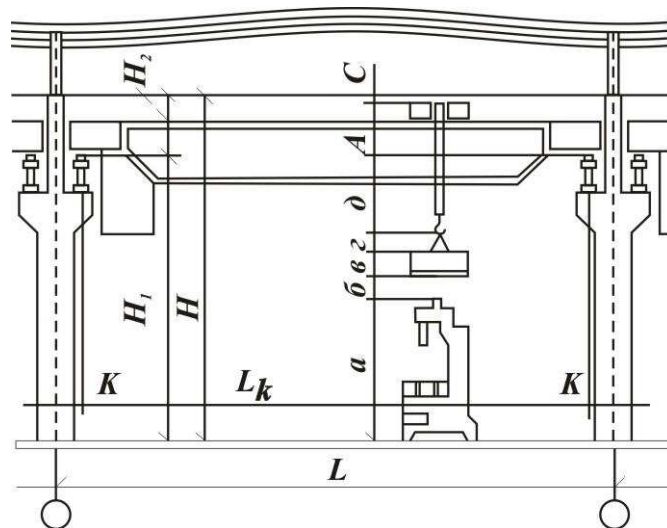
- потребность в вертикальных коммуникациях (лестниц, лифтов, подъемников);
- ограниченность ширины при условии естественной освещенности рабочих мест (не более 24 м);
- высокий удельный вес подсобных помещений, проходов, проездов [5].

1.4 Параметры промышленных крупнопролётных залов с установкой мостового крана

Конфигурация и размеры плана, высота и профиль промышленного здания определяются параметрами, количеством и взаимным расположением пролетов. Эти факторы зависят от технологии производства, характера выпускаемой продукции, производительности предприятия, требований санитарных норм [5, 27, 44].

Ширина пролета в промышленном здании (L) – расстояние между продольными координационными осями – складывается из величины пролета мостового крана (L_k) и удвоенного расстояния между осью рельса подкранового пути и модульной координационной осью ($2K$): $L = L_k + 2K$ (рисунок 14).

Пролеты мостовых кранов увязаны с шириной пролетов и определяются ГОСТом. Величину K принимают: 750 мм при кранах



(L — ширина пролёта, H — высота пролёта, H_1, H_2 — высота пролёта мостового крана, L_k — величина пролёта мостового крана, K — величина пролёта для мостового крана, a — высота пролёта от нижней точки внутреннего производственного зала до высоты подвижных механизмов мостового крана, d — высота пролёта от механизма крепления груза за трос кран-балки до механизма передвижения крана, A, C — высота пролётов между подвижными механизмами кран-балки и верхней точки крепления платформы по которой движется кран)

Рисунок 14 – Определение параметров пролёта

грузоподъёмностью $Q \leq 500$ кН; 1000 мм (и более кратно 250 мм) при $Q > 500$ кН, а также при устройстве в надкрановой части колонн прохода для обслуживания подкрановых путей [5, 27, 44].

Минимально допустимая ширина пролетов, определяемая условиями технологии производства (габариты и характер оборудования, система его расстановки, ширина проездов) не всегда экономически целесообразна. Цеха одинаковые по величине, по площади и имеющие одинаковую длину могут быть как мелкопролётными, так и крупнопролётными, а в некоторых случаях и большепролётными. Например, здание шириной 72 м может быть сформировано шестью пролетами размером 12 м, четырьмя пролетами по 18

м, тремя пролетами по 24 м, двумя – по 36 м или одним пролетом шириной 72 м. При этом надо помнить, что большепролетные здания, имея укрупненную сетку осей, являются высоко универсальными в технологическом отношении [5, 27, 44].

Шаг колонн, это расстояние между поперечными координационными осями – назначают с учетом габаритов и способа расстановки технологического оборудования, размеров выпускаемых изделий, вида внутрицехового транспорта. Так, при крупногабаритном оборудовании и больших изделиях шаг колонн назначают большим, что повышает эффективность использования производственных площадей, но усложняет конструкции покрытия и подкрановых путей. В основном принимают шаг колонн равным 6 или 12 м [5, 27, 44].

Высота пролета, это расстояние от уровня чистого пола до низа несущих конструкций покрытия – зависит от технологических, санитарно-гигиенических и экономических требований, предъявляемых к промышленному зданию. Складывается она в пролетах с мостовыми кранами из расстояний от уровня чистого пола до верха кранового рельса и расстояния от верха рельса до низа несущей конструкции покрытия [5, 27, 44].

Одноэтажные здания, как правило, проектируют с параллельными пролетами одинаковой ширины и высоты. В случаях технологической необходимости здания проектируют с взаимно-перпендикулярными пролетами разной ширины и высоты. В последних случаях перепады высот рекомендуется совмещать с продольными температурными швами, а величину разницы в высотах назначать кратной 0,6 м и не менее 1,2 м [5, 27, 44].

1.5 Проектирование деформационных швов в крупнопролётных зданиях

Для уменьшения нагрузок на элементы конструкций в местах возможных деформаций, возникающих при колебании температуры воздуха, сейсмических явлений, неравномерной осадки грунта и других воздействий, способных вызвать опасные собственные нагрузки устанавливают деформационные швы, которые снижают несущую способность конструкций. Представляет собой своего рода разрез в конструкции здания, разделяющий сооружение на отдельные блоки и, тем самым, придающий сооружению некоторую степень упругости. С целью герметизации заполняется упругим изоляционным материалом [1, 57].

Все деформационные швы, какие предусматривают в промышленных зданиях, классифицируют:

По назначению:

- температурно-деформационные (ТДШ);
- осадочные;
- антисейсмические.

По расположению:

- продольные;
- поперечные.

Для ограничения усилий, возникающих в конструкциях от перепада температур, здание разрезается температурно-деформационными швами на отсеки (температурные блоки), размеры которых (длина **а** и ширина **б**) зависят от материала каркаса, теплового режима здания и климатических условий района строительства. Эти размеры определяются расчетом (рисунок 15).

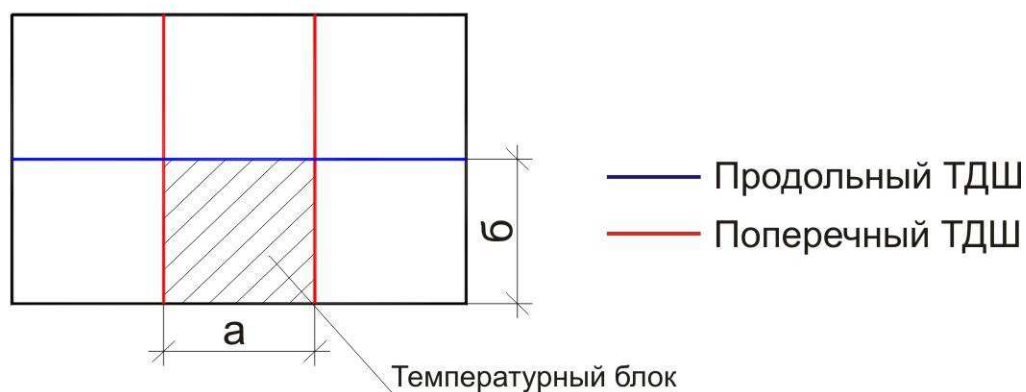


Рисунок 15 – Разбивка швов здания на температурные блоки

Для железобетонного и смешанного каркаса длина температурного блока $a \leq 72$ м – если в здании по длине присутствуют неразрезные элементы (например, подкрановые балки). Для бескрановых зданий нормами разрешено увеличивать a до 144 м. Однако, если в здании есть подвесное оборудование (монорельс и т.п.) длина температурного блока не должна превышать 72 м. Допускается a увеличивать до 280 м, но при этом высота здания не должна превышать 8,4 м [1, 57].

Ширина температурного блока b не должна быть больше 90–96 м. В особых климатических районах и для неотапливаемых зданий длину температурного блока a назначают по инструкциям, привязанным к местным климатическим условиям [1, 57].

Отдельные части здания могут быть разной этажности. В этом случае грунты основания, расположенные непосредственно под различными частями здания, будут воспринимать разные нагрузки. Неравномерная деформация грунта может привести к появлению трещин в стенах и других конструкциях здания. Другой причиной неравномерной осадки грунтов основания сооружения могут быть различия в составе и структуре основания в пределах площади застройки здания. Тогда в зданиях значительной протяженности даже при одинаковой этажности могут появиться осадочные трещины. Во избежание появления опасных деформаций в зданиях

устанавливают осадочные швы. Эти швы, в отличие от температурных, разрезают здания по всей их высоте, включая фундаменты [1, 57].

Если в одном здании необходимо использовать деформационные швы разных видов, их по возможности совмещают в виде так называемых температурно-осадочных швов [1, 57].

Антисейсмические швы применяются в зданиях, строящихся в районах, подверженных землетрясениям. Они разрезают здание на отсеки, которые в конструктивном отношении должны представлять собой самостоятельные устойчивые объёмы. По линиям антисейсмических швов располагают двойные стены или двойные ряды несущих стоек, входящих в систему несущего остова соответствующего отсека [1, 57].

Усадочные швы делают в стенах, возводимых из монолитного бетона различных видов. Монолитные стены при твердении бетона уменьшаются в объёме. Усадочные швы препятствуют возникновению трещин, снижающих несущую способность стен. В процессе твердения монолитных стен ширина усадочных швов увеличивается и по окончании усадки стен швы наглухо заделывают [1, 57].

Глава 2 Система мониторинга крупнопролётных сооружений и предупреждение их обрушения

2.1 Мониторинг безопасности при обслуживании крупнопролётных конструкций

Одним из главных компонентов систем безопасности является система контроля состояния крупнопролётных конструкций. Система мониторинга особенно напряженных участков позволяет получать текущую информацию о конструктиве здания в режиме «реального времени», производить анализ динамики изменения уровня снега на крыше и деформаций в зависимости от снеговой нагрузки и сейсмической активности.

В настоящее время на территории Красноярского края имеется множество крупнопролётных зданий, построенных 20 – 30 лет назад, которые не будут реконструированы в ближайшем будущем. Установка систем слежения за конструктивом поможет так же снизить издержки содержания за счёт необоснованного списывания оборудования и сноса [18]. Обеспечение системами контроля целостности конструктива зданий становится всё более актуальным, в силу современных темпов строительства и реконструкции новых зданий и сооружений. Использование датчиков деформации в г. Красноярске на крупнопролётных объектах по своей специфике уникально и востребовано, поскольку строительные компании только начинают набирать обороты по их использованию.

В 2006 году после нескольких обрушений крупнопролётных сооружений (аквапарк «Трансвааль Парк» в г. Москва, 2004 г., плавательный бассейн в г. Чусовой Пермского края, 2005 г., Басманного рынка в г. Москва, 2006 г.) Государственная дума Федерального собрания Российской Федерации приняла постановление от 10 марта 2006 г. № 2883–IV ГД «Об обращении Государственной Думы Федерального собрания Российской Федерации к Председателю Правительства Российской Федерации «О

неотложных мерах по обеспечению соблюдения требований безопасности при проектировании, строительстве и эксплуатации зданий, строений, сооружений». В этом постановлении отмечалось, что в последние годы участились случаи разрушения зданий, строений, сооружений, повлекшие за собой человеческие жертвы и наносящие обществу огромный моральный и материальный урон. Особую тревогу вызывают случаи разрушения не так давно построенных зданий, строений, сооружений. Участились случаи нарушения правил эксплуатации зданий, строений, сооружений и выявления ошибок, допущенных при их проектировании [37].

Государственная Дума обращала внимание на неудовлетворительное положение в области государственного контроля и надзора за соблюдением требований безопасности при проектировании, строительстве и эксплуатации зданий, строений, сооружений и рекомендовала поручить соответствующим федеральным органам исполнительной власти и органам исполнительной власти субъектов Российской Федерации усилить контроль и надзор за соблюдением требований безопасности при проектировании, строительстве и эксплуатации зданий, строений, сооружений, а также ускорить разработку проекта федерального закона об общем техническом регламенте о безопасной эксплуатации зданий, строений, сооружений и безопасном использовании прилегающих к ним территорий [37].

Несмотря на принятые решения, обрушения крупнопролётных зданий в местах массового пребывания людей не прекращаются. 25.01.2011 в г. Санкт–Петербург в гипермаркете «О'Кей–Озерки» произошло обрушение стеклянной крыши площадью 500 м², 27.01.2011 в Ивановской области, г. Кохма в отдельно стоящем здании ткацкой фабрики ОАО «Кохма–Текстиль» произошло обрушение кровли площадью 1000–1200 м², в период с 6.02.2011 г. по 8.02. 2011 г. произошла серия обрушений перекрытий в г. Казань [37].

Во всех этих случаях источник ЧС – снеговая нагрузка, несвоевременная расчистка крыш зданий от снега или расчистка крыш методом сбора снега на крышах зданий в одном (нескольких) местах,

природные стихийные бедствия, коррозии материалов, ошибки на стадии проектирования и строительства, нарушения правил эксплуатации объекта. Эти факторы способствуют созданию условий для непосредственной угрозы обрушения. Степень повреждения строений зависит от силы разрушающего фактора, продолжительности его воздействия, сейсмостойчивости конструкций, качества строительства, степени износа (старения) строений. Поэтому актуальность разработки систем контроля состояния крупнопролётных конструкций в местах массового пребывания людей в настоящее время еще более возросла [26].

Начиная с 1689 года наблюдения за деформациями, трещинами конструкций проводили с помощью гипсовых, стеклянных или пластинчатых маяков, это был наиболее популярным инструментом контроля. В связи с распространением более эффективных средств мониторинга повреждений и деформаций строительных конструкций гипсовые маяки утратили былое значение и все реже применяются. Каждому маяку присваивался номер и указывалась дата его установки. Если в течение срока наблюдения на маяке не появится трещина, значит, неравномерная осадка стен и образование в них трещин прекратились и трещину после расчистки можно заделать раствором. Если маяки разрушаются, значит деформация стен продолжается [16].

В 1726 г был изобретён динамометр Томпсона, который позволял измерять силы стали весы. В 1843 годах английским физиком Чарльзом Уитстоном был изобретён первый мост для измерения электрического сопротивления проводников [28].

В 1950 годах советский изобретатель Ветчински Владимир Петрович ученый и изобретатель, специалист в области аэродинамики, прочности авиаконструкций, динамики полета самолетов и ракет, теории воздушных винтов, профессор изобрёл динамометр для измерения сил, действующих на лопасти винта [25].

Для своевременного обнаружения опасной деформации используют две технологии:

1. тензометрическая, то есть измерения напряженного состояния конструкции. Тензодатчик – измерительный преобразователь деформации твёрдого тела, вызываемой механическими напряжениями, в сигнал (обычно электрический), предназначенный для последующей передачи, преобразования и регистрации. Датчик деформируется вместе с поверхностью, на которую он установлен, в результате чего резистор в его основании меняет свое сопротивление;

2. акустическая, чувствительный элемент улавливает поверхностную волну, то есть все движущееся так или иначе издает звуки, даже не слышимые человеческим ухом.

В зависимости от конструктивных особенностей объекта размеры и форма датчиков могут быть разными: от 15 см до метра, в виде геометрических фигур, таких как: цилиндр или тор. Датчики самой последней модификации могут измерять отклонения с точностью до трех миллиметров при температуре от -30 до $+60^{\circ}\text{C}$. Устройство состоит из измерительной части, аккумулятора и электронной начинки, которая сохраняет данные. Датчик соединяется с компьютером, откуда информация передается по сети Интернет в мониторинговый центр [29].

В современное время, основные датчики для измерения различных деформаций используют технологию тензометрии. Они преобразовывают величину деформации в электрический сигнал. Это получается за счет уменьшения или увеличения сопротивления датчика во время деформации, нарушения геометрии формы датчика от сжатия или растяжения. В результате определяется значение деформации [51].

Резистивный преобразователь, является главной составной частью высокоточных устройств и приборов. Изготавливают датчик из чувствительного тензорезистора, представляющего собой тонкую алюминиевую проволоку или фольгу. Резистор в результате деформации изменяет свое сопротивление, подает сигнал на индикатор.

В разных отраслях промышленности используется множество видов тензометрических датчиков:

1. приборы, измеряющие силу и нагрузку;
2. контроль давления;
3. измерители ускорения;
4. измерители перемещения;
5. датчики контроля момента для станков, моторов автомобилей.

Тензометрические датчики имеют классификацию, как по форме, так и по особенностям конструкции, которая зависит от вида чувствительного элемента. Применяются следующие виды датчиков:

1. из фольги. Применяется в виде наклеивания на поверхность. Конструкция датчика состоит из фольговой ленты 12 мкм. Частично пленка плотная, остальная часть решетчатая. Эта конструкция отличительна тем, что к ней можно припаять вспомогательные контакты. Такие датчики легко используются при низких температурах [51];

2. пленочные, эти датчики изготовлены по аналогии с фольговыми, кроме материала. Такие виды производятся из тензочувствительных плёнок, имеющих специальное напыление, повышающее чувствительность датчика. Эти измерители удобно применять для контроля динамической нагрузки. Пленки изготавливаются из германия, висмута, титана (рисунок 16) [51];



Рисунок 16 – Плёночный тензометрический датчик

3. из проволоки система датчика может измерить точную нагрузку от сотых частей грамма до тонн. Они называются одноточечные, так как измерение происходит не на площади, а в одной точке, в отличие от датчиков

из фольги и пленки. Проволочными датчиками можно контролировать растяжение и сжатие (рисунок 16) [51];

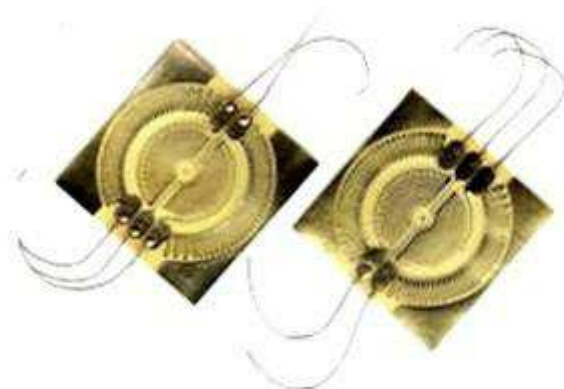
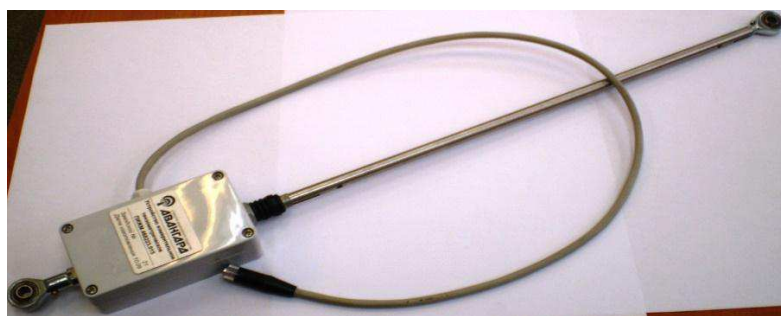
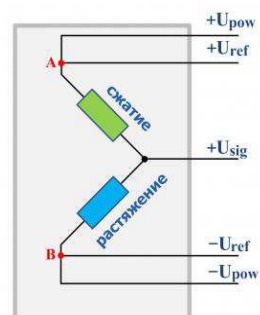


Рисунок 16 – Проволочный тензометрический датчик

4. датчики на основе полумостовой схемы измерения. Полумостовой тензодатчик, в отличие от полномостового, содержит два тензорезистора вместо четырёх. Подразумевается, что дополняющая до полного моста часть находится на стороне измерителя разбаланса (например, как в АЦП LTR212). Эта дополняющая часть состоит из постоянных прецизионных резисторов.



a



б

Рисунок 17 – Полумостовой тензометрический датчик (*a*) и схема устройства датчика (*б*)

При всех прочих равных условиях полумостовой датчик имеет вдвое меньшую чувствительность (C_n), по сравнению с полномостовым. Основное

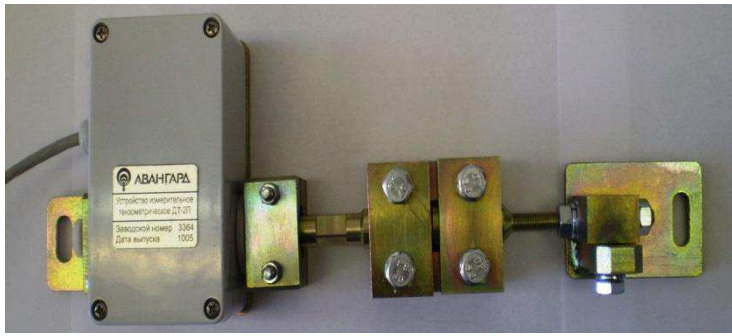
преимущество полумостового датчика в меньшем количестве тензорезисторов и в меньшем количестве проводов до датчика.

В 5–проводной схеме, показанной на рисунке 17, достигается свойство независимости измерения разбаланса от сопротивления (длины) проводов, как следствие, достигается компенсация термозависимости сопротивления проводов питания моста. Но если теоретически предположить, что провода питания $+U_{POW}$ и $-U_{POW}$ идентичны и имеют одинаковую термозависимость, то разбаланс моста не будет зависеть ни от длины пары этих проводов, ни от их температуры. Данное важное обстоятельство является обоснованием для использования 3–проводной схемы (когда на вышеприведённой схеме точки *a* и *b* соединения цепей находятся на стороне источника напряжения питания моста). Экономия количества проводов актуальна, например, для измерительных систем, имеющих сотни каналов измерения.

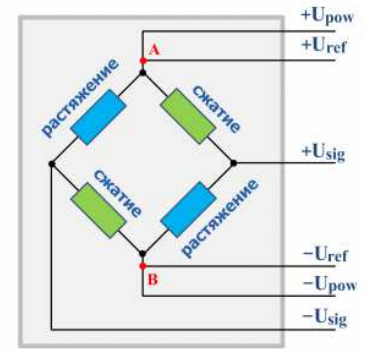
В 5-ти проводной схеме полумостовой датчик является полностью термокомпенсированным датчиком, если пара тензорезисторов этого датчика имеет одинаковый температурный коэффициент сопротивления (ТКС) и находится при равной температуре.

Поскольку полумостовая схема – это одна фаза дифференциальной мостовой схемы, то данный источник сигнала $+USIG$ схож по электрическим свойствам с низкоомным однофазным выходом с общей землёй, у которого роль общего провода выполняют все остальные 2 или 4 провода при трёх– или пятипроводной схеме, соответственно. Для улучшения соотношения сигнал/шум в данной сигнальной цепи, пожалуй, единственно возможной мерой является экранирование [52].

5. датчики на основе полномостовой схемы измерения. Этот датчик содержит четыре тензорезистора, включенных по схеме моста Уитстона.



a



б

Рисунок 18 – Полномостовой тензометрический датчик (а) и схема устройства датчика (б)

Тензорезистор – это фольговый или проволочный резистор, приклеенный к упругому элементу конструкции, изменяющий свое сопротивление пропорционально деформации упругого элемента: при сжатии сопротивление уменьшается, при растяжении – увеличивается. Как правило, номинальные сопротивления используемых тензорезисторов находится в диапазоне от 50 до 1000 Ом. В типичном случае в мост включают тензорезисторы равного номинала [52].

Для достижения желательного малого начального разбаланса моста разброс сопротивлений тензорезисторов, как правило, не должен превышать $\pm 0,01\%$. В общем случае, имеет значение разброс сопротивлений в парах смежных резисторов в мосте (при любом условном разбиении на смежные пары). На рисунке 18 (б) показана 6-проводная схема подключения к мосту Уитстона. На схеме $\pm U_{POW}$ – это цепь подачи напряжения питания от источника напряжения или источника тока (с точками подключения напряжения соответствующей полярности), $\pm U_{SIG}$ – это измеряемое напряжение сигнальной диагонали моста, $\pm U_{REF}$ – это измеряемое напряжение питания моста (рисунке 18) [52].

Измеряемый полномостовым датчиком разбаланс моста, пропорциональный деформации – это безразмерная величина, равная отношению измеренных напряжений U_{SIG} / U_{PREF} [В/В]. Положительный

знак разбаланса моста соответствует состоянию сжатия–растяжения показанных на рисунке тензорезисторов. Отрицательному знаку разбаланса будет соответствовать противоположные состояния сжатия–растяжения тензорезисторов (рисунок 18б) [52].

Приводимая в паспортах большинства тензодатчиков чувствительность C_n [мВ/В] выражается формулой $C_n = 1000 \cdot U_{SIG} / U_{POW}$, где измеренное напряжение U_{SIG} [В] соответствует номинальной нагрузке на датчик при измеренном напряжении питания моста U_{REF} [В]. Например, если в паспорте на датчик указано $C_n = 2$ мВ/В и номинальная нагрузка датчика 1 т (тонна), то при напряжении питания моста $U_{REF} = 5$ В и воздействии груза массой 1 т измеренное напряжение сигнальной диагонали моста будет $U_{SIG} = 10$ мВ, не считая начального разбаланса моста, рисунок 18 (б) [52].

6-проводная схема подключения к мосту Уитстона (точки А и В соединения цепей на рисунке находятся на стороне датчика) позволяет получить независимость измерения разбаланса моста от сопротивления проводов, считая, что входное сопротивление измерителя напряжения U_{SIG} значительно больше сопротивления тензорезисторов, а входное сопротивление измерителя напряжения U_{REF} значительно больше сопротивления проводов (условия высокоомности входов измерителя напряжений, как правило, выполняется для АЦП, измеряющих разбаланс, например, у LTR212). В этой схеме достигается компенсация термозависимости сопротивления проводов питания моста. В случае, если датчик имеет 4 провода подключения, то для образования «6-проводности» точки соединения А и В реализуют на стороне датчика (рисунок 18 (б)) [52].

При использовании 4-проводной схемы подключения к мосту Уитстона (когда точки А и Б на рисунке находятся на стороне источника напряжения питания моста), следует учесть, что фактор стабильности сопротивления проводов и контактных соединений в цепи питания моста будет влиять на шкалу (масштаб) измерения разбаланса моста, что внесёт как систематическую составляющую погрешности измерений (которую можно

учесть, например, при тарировке датчика), так и дополнительную температурную погрешность.

В 6-проводной схеме полномостовой датчик является полностью термокомпенсированным датчиком если, по крайней мере, смежные пары тензорезисторов этого датчика имеют одинаковый температурный коэффициент сопротивления (ТКС) и находятся при равной температуре.

Опишем далее электрические свойства этого датчика, с точки зрения эквивалентной электрической схемы. Измерительные выходы сигналов USIG и UREF датчика являются дифференциальными низкоомными выходами напряжения с активным выходным сопротивлением. Сам датчик по цепи питания является активной нагрузкой. Тензометрический датчик, как правило, является изолированным датчиком (рисунок 18) [52].

При подключении мостового датчика парные провода рекомендуется вести симметрично (например, витыми парами) для достижения наилучшего сигнал/шум в измерительной цепи, также возможно применить экранирование. При использовании искробарьеров важно знать, что 6-проводная схема подключения совместима с искробарьером. Но 4-проводная схема совместима только, если мост питается от источника тока (проходя через искробарьер, постоянный ток питания моста от источника тока не изменит своего значения, если искробарьер не имеет существенных утечек тока на землю). При использовании искробарьеров важно знать, что 5-проводная схема подключения совместима с искробарьером. Но 3-проводная схема совместима только, если мост питается от источника тока (проходя через искробарьер, постоянный ток питания моста от источника тока не изменит своего значения, если искробарьер не имеет существенных утечек тока на землю) (рисунок 18) [52].

В последнее время развивается голографическая техника измерения деформаций. Ее преимущество заключается в возможности бесконтактного измерения деформаций не в отдельных точках, а сразу на всей видимой поверхности объекта и с высокой чувствительностью. Однако пока

голографические методы измерения деформаций, в особенности динамических, нельзя считать освоенными.

На основе данных мониторинга могут быть заблаговременно приняты меры по предотвращению природно–техногенных ЧС на крупнопролетных сооружениях.

Система мониторинга обеспечивает:

- сбор информации о состоянии крупнопролётных сооружений;
- хранение собранной информации о состоянии крупнопролётных сооружений на независимом от центра мониторинга сервере с возможностью последующего восстановления динамики развития событий;
- автоматическую передачу данных о состоянии крупнопролётных сооружений в центр мониторинга при помощи каналов связи (GSM и интернет);
- визуализацию текущей информации о состоянии крупнопролётных сооружений на экране ПЭВМ, установленной как в центре мониторинга объекта, так и в Центре мониторинга и прогнозирования ЧС;
- ведение в ЦМП ЧС базы данных (БД) событий на крупнопролётных сооружениях с возможностью ретроспективного анализа развития ситуации на них;
- периодическую проверку работоспособности комплекса технических средств и сигнализацию при отказах оборудования.

Комплексные разработки систем контроля за состоянием крупнопролетных конструкций в настоящее время позволяют своевременно прогнозировать потенциальное разрушение несущих конструктивных узлов, учитывая влияния климатических условий (осадков) и различной природы стихийных бедствий (землетрясений, ураганов и др.). Эта система может использоваться в качестве «сейсмоуловителя», поскольку даже неощутимые человеком и животными колебания земли будут регистрироваться и поступать в мониторинговый центр.

2.2 Обрушение зданий как чрезвычайная ситуация

Обрушение зданий и сооружений является актуальной проблемой в наше время. В данном риске чрезвычайных ситуаций учитываются причины их возникновения, основные поражающие факторы при наступлении обрушений, а также меры по предупреждению обрушений, действия во время обрушений и ликвидация последствий данных чрезвычайных ситуаций.

Причины возникновения обрушений разнообразны, порядка половины подобных аварий имеют антропогенную природу (террористический акт, неправильной эксплуатация бытового газопровода, неосторожное обращение с огнем, хранения в зданиях легковоспламеняющихся и взрывоопасных веществ и др.). Отсюда следует, что значительной части подобных чрезвычайных ситуаций возможно избежать при чётком выполнении (в первую очередь, строителями) существующих норм безопасности (таких как Строительные нормы и правила РФ, Инженерно-технические мероприятия гражданской обороны и др.), а также соблюдение правил безопасного поведения населением. Выполнение населением предупредительных мер, также способствует значительному сокращению человеческих жертв и материального ущерба при обрушении зданий и сооружений [43].

Обрушение зданий и сооружений возможно предотвратить посредством проведения особых предупредительных мер. Важной характеристикой любого объекта, которая закладывается на стадии проектирования здания или любого другого высотного сооружения, является его устойчивость – способность предупреждать возникновение аварий и катастроф, противостоять воздействию их поражающих факторов в целях предотвращения или ограничения угрозы жизни, здоровью персонала, проживающего вблизи населения, снижению материального ущерба, а также обеспечивать восстановление нарушенного функционирования объекта в короткие сроки [45].

Одной из основных мер по предотвращению обрушений является повышение физической стойкости различных зданий и сооружений. Данное мероприятие осуществляется по следующим направлениям:

1. снижение статического и динамического воздействия на отдельные конструктивные элементы зданий и сооружения; для этого используются воздушные и податливые прослойки (экраны) в грунте внутри и на поверхности строительных конструкций, применяются разгружающие консоли и поверхности, повышается местная и общая податливость строительных конструкций за счет устройства шарнирно–податливых опорных узлов и соединений, уменьшается площадь контакта нагружающей поверхности со строительными конструкциями, устанавливаются легко сбрасываемые конструкции, уменьшается собственный вес строительных конструкций;

2. повышение несущей способности строительных конструкций зданий и сооружений и грунтов основания; для этого увеличивают площадь поперечного сечения конструктивных элементов, применяют строительные материалы с повышенными прочностными и устойчивости к деформации, изменяют конструктивные схемы элементов, проводят работы по упрочнению грунтов основания.

В числе других превентивных мероприятий можно назвать проведение исследований устойчивости, целью которых является выявление слабых мест во всех системах и звеньях, выработка на данной основе комплекса организационных, инженерно-технических и других мероприятий по их устранению. Исследование устойчивости объекта проводится не реже одного раза в 5 лет [46].

2.3 Оценка и прогнозирование риска обрушения зданий и сооружений

На стадии проектирования и строительства возникают ошибки, которые в подавляющем большинстве случаев приводят к обрушению зданий и сооружений, они являются результатом пересечения двух негативных событий:

- неожиданное появление внешнего непроектного воздействия на объект, провоцирующего его аварию,
- при проектировании, возведении и эксплуатации объекта допущена определенная совокупность грубых строительных ошибок, приведших к неприемлемо высокому риску аварийного обрушения этого объекта. Необходимо отметить, что для обеспечения безаварийной эксплуатации зданий и сооружений необходимо в дополнение к действующим строительным нормам разработать специальную систему правил для контроля и снижения величины риска аварии находящихся в эксплуатации строительных объектов [58].

Полностью безопасных зданий и сооружений не существует. Уже на стадии проектирования в них в соответствии с нормами заведомо закладывается так называемая теоретическая вероятность аварии. При этом фактическая вероятность аварии построенного объекта всегда выше теоретической, поскольку полное исключение человеческих ошибок при реализации строительных проектов практически невозможно. Отношение фактической и теоретической вероятностей может служить показателем уровня конструкционной безопасности строительного объекта, т.е. исполнять роль риска аварии, так как от величины этого отношения существенным образом зависит не только возможность появления негативного события – аварии, но и размер ущерба в случае возникновения этого события [31].

Для эксплуатирующихся зданий и сооружений предлагается ввести комплексную систему мониторинга технического состояния, основанную на анализе и регулировании риска обрушения. Данный риск позволяет одновременно учитывать относительное увеличение вероятности аварии по

отношению к нормативному значению, заложенному в строительных нормах [31].

Перед началом проведения экспертизы состояния объекта отбирают группы однотипных строительных конструкций, основываясь на конструктивных решениях, примененных в проекте здания. В их число входят конструкции, составляющие несущий каркас здания и выполняющие функцию восприятия нагрузок: основание фундаментов, фундаменты и фундаментные балки, колонны, связи по колоннам, стеновые конструкции, подкрановые балки; стропильные и подстропильные фермы и балки покрытия, связи по диску покрытия, покрытие [31].

А.Г. Тамразян в своих работах отмечал, что риск обрушения должен быть минимизирован настолько, насколько это возможно. Причинами возникновения опасности при строительстве могут быть:

- выбор при проектировании неверной для фактических грунтовых условий технологии;
- недостаточно квалифицированный персонал;
- ошибки в детальном проекте строительства сооружения;
- ошибки при проведении работ;
- сознательное или случайное воздействие персонала подрядчика или третьих лиц.

Вероятность возникновения ущерба увеличивается в следующих случаях:

- по мере усложнения проектных решений;
- при непосредственном примыкании к строительной площадке объектах недвижимости;
- в зависимости от уровня научно–технической и экспериментальной проработанности проектных решений;
- при использовании изношенной техники;
- при отсутствии в подрядной организации грамотной системы управления, включающей системы управления качеством, рисками и др. [50].

Для каждой инженерной конструкции проводится тщательный осмотр технического состояния, целью которого является выявление дефектных конструкций. После этого, проводится анализ снижения их несущей способности из свойств прочности и устойчивости. Характеристикой влияния дефектов и повреждений конструкции на безопасность здания или сооружения является степень соответствия стандартам, выраженным уровням надежности. Назначение уровней надежности осуществляется на основе расчетов, опыта эксплуатации и обследования конкретного типа конструкций по формализованному правилу в зависимости от степени соответствия проекту [55].

Для типичных дефектов и повреждений составлены правила назначения уровней надежности, служащие руководством по оценке технического состояния конструкций. Сводные правила устанавливают уровень надежности в зависимости от относительной величины того или иного дефекта (отклонения). Помимо анализа состояния конструкций, для расчета риска аварии оценивается вероятный ущерб от отказа каждого типа конструкций. Для этого необходимо выполнить:

- детальный анализ проекта с целью определения последовательности обрушения конструкций в случае возникновения аварийных ситуаций различной локализации;
- определение площади возможного ущерба от обрушения каждой отдельной конструкции с учетом конструктивных взаимосвязей (например, при деформации колонны среднего ряда разрушаются как минимум две фермы и часть покрытия, опирающаяся на эти фермы);
- анализ технологии производства с целью ранжирования площадей здания в зависимости от возможного ущерба технологическому оборудованию;
- анализ и ранжирование площадей цеха в зависимости от частоты нахождения людей в операторских, на переходных площадках, рабочих и бытовых площадях [6].

Конструктивная безопасность является практически основным аспектом промышленной безопасности, так как в процессе эксплуатации зданий, сооружений и промышленных предприятий металлические каркасы накапливают дефекты, вследствие чего подвержены риску аварийного обрушения. Предложенная допустимая инженерами–проектировщиками методика выявления потенциального риска аварийного обрушения каркаса с накопленными дефектами и повреждениями, позволяет снизить траты социальных и экономических последствий возможных аварийных обрушений металлических каркасов эксплуатируемых промышленных зданий и сооружений различного назначения.

2.4 Экспертиза безопасности при оценке риска обрушения

Прогнозирование и оценка риска обрушения зданий осуществляются на основе экспертной системы, представляющей собой участие человека и механизированный вычислительный комплекс, сочетающий математические методы и информационные технологии [32].

В рамках оценочных мероприятий основной функцией эксперта является предоставление формализованной информации о техническом состоянии несущих конструкций исследуемого объекта. Эта функция требует от эксперта владения методами анализа предельных состояний несущих конструкций и методом принятия решений в условиях неопределенности [32].

Важной функцией эксперта является оценка точности и достоверности результатов прогноза риска аварии, поскольку точность принятого решения о фактическом уровне конструкционной безопасности исследуемого объекта и величине его безопасного остаточного ресурса имеет прямые экономические последствия [32].

В условиях рыночных отношений ещё одной задачей эксперта становится информационное обеспечение заказчика. Например, заказчику,

прежде чем проводить оплату в реализацию технических решений по снижению риска обрушения, необходимо знать, насколько повысится уровень безопасности и ресурс принадлежащего ему объекта в результате проведенных ремонтно-восстановительных мероприятий [32].

В случае же обрушения объекта к функции эксперта добавляется выяснение причин обрушения и определение круга лиц, которым предстоит нести за нее ответственность. Эта функция требует от эксперта углубленных знаний юридических законов [32].

В практике инженерной экспертизе надежность строительной конструкции определяется через сопоставления параметров конструкции требованиям проекта в части обеспечения ее прочности, жесткости и устойчивости. Для определения уровня надежности конструкции по выявленным на экспертной основе дефектам ее параметров от требований проекта используется правило, построенное на основе лингвистической переменной «очень» [19,30].

Правило представлено в таблице 2 и содержит 11 уровней опасности конструкции, различающихся по показателю степени переменной «очень». При составлении правила использован прием нечеткой логики, состоящий в отождествлении понятий «надежность» и «соответствие». Поскольку мера соответствия (степень) в отличие от меры надежности изменяется в пределах от 0,5 до 1, уровни надежности в таблице 2 разделены на две части, одна из которых содержит степени соответствия, другая – несоответствия. Границей между частями является шестой уровень опасности, характеризуемый предельно низкой степенью соответствия требованиям проекта. Этот факт позволил лингвистической переменной «очень» 1,10 шестого уровня опасности присвоить меру предельного соответствия, равную 0,5, что позволило получить числовую оценку лингвистической переменной «очень» и вычислить меру надежности для всех остальных уровней опасности, представленных в таблице 1.

Таблица 1 – Уровни надежности конструкции в зависимости от степени ее опасности и ранга

Уровень опасности конструкции	Отношение конструкции к требованиям проекта	Ранг уровня	Степень переменной «очень»	Уровень надежности конструкции
0	дефектов нет	–	(очень) ^{0,00}	1,000
1	соответствие требованиям проекта практически полное	1	(очень) ^{0,01}	0,994
		2	(очень) ^{0,02}	0,987
		3	(очень) ^{0,03}	0,981
2	отклонения от требований проекта незначительные	1	(очень) ^{0,05}	0,969
		2	(очень) ^{0,10}	0,939
		3	(очень) ^{0,15}	0,910
3	отклонения от требований проекта значительные	1	(очень) ^{0,20}	0,882
		2	(очень) ^{0,30}	0,828
		3	(очень) ^{0,40}	0,777
4	соответствие требованиям проекта низкое	1	(очень) ^{0,50}	0,730
		2	(очень) ^{0,60}	0,686
		3	(очень) ^{0,70}	0,644
5	соответствия требованиям проекта практически нет	1	(очень) ^{0,80}	0,604
		2	(очень) ^{0,90}	0,568
		3	(очень) ^{1,00}	0,533
6	соответствие предельно-низкое	–	(очень) ^{1,10}	0,500
7	конструкция содержит опасный дефект	1	(очень) ^{1,20}	0,470
		2	(очень) ^{1,30}	0,441
		3	(очень) ^{1,40}	0,414
8	конструкция содержит несколько опасных дефектов	1	(очень) ^{1,50}	0,389
		2	(очень) ^{1,60}	0,365
		3	(очень) ^{1,70}	0,343
9	конструкция содержит угрожающие аварией дефекты	1	(очень) ^{1,80}	0,322
		2	(очень) ^{1,90}	0,303
		3	(очень) ^{2,00}	0,284
10	состояние конструкции практически предельное	–	(очень) ^{2,20}	0,250

Уровни опасности конструкций и ранги уровней назначаются ведущим экспертом на основе информации о техническом состоянии конструкции, своего опыта, знаний и инженерной интуиции. При назначении уровней опасности дефектных конструкций эксперт может воспользоваться приведенной в таблице 2 информацией о наиболее опасных, в том числе угрожающих аварией дефектах, которые могут быть обнаружены в различных группах однотипных конструкций несущего каркаса строения [19, 30].

Таблица 2 – Перечень опасных дефектов несущих конструкций здания

естественное основание
<ol style="list-style-type: none"> 1. Полное замачивание грунта основания на глубину более 0,5 м. 2. Замачивание просадочных, набухающих и элювиальных неводонасыщенных грунтов основания до степени влажности более 50%. 3. Промораживание водонасыщенных грунтов под подошвой фундамента на глубину более 3 см. 4. Промораживание элювиальных пучинистых грунтов основания и переход основания в зиму без утепления.
свайное основание
<ol style="list-style-type: none"> 1. Отсутствие зазора под подошвой ростверка при пучинистых грунтах. 2. Сквозные вертикальные трещины в ростверке.
фундаменты и стены подземной части из блоков
<ol style="list-style-type: none"> 1. Сквозные вертикальные трещины в цоколе. 2. Повреждения и разрушения блоков.
сборные железобетонные конструкции
<ol style="list-style-type: none"> 1. Диагональные трещины по углам ж/б стеновых панелей. 2. Вертикальные трещины в стыках, местах установки балконных плит, перемычек. 3. Ненормативные смещения колонн от вертикали. 4. Смещения ж/б панелей, трещины в них, разрушения узлов крепления. 5. Глубокие поперечные трещины в плитах перекрытия с оголением арматуры, заметный прогиб плит. 6. Трещины на опорных участках плит перекрытия.
конструкции из камня, кирпича и блоков
<ol style="list-style-type: none"> 1. Вертикальные трещины в колоннах, простенках. 2. Разрушение и расслоение кладки, нарушение связи отдельных участков кладки, следы увлажнения стен.
конструкции из монолитного железобетона
<ol style="list-style-type: none"> 1. Трещины в различных направлениях в растянутой зоне конструкции. 2. Следы постоянного увлажнения бетона атмосферными и агрессивными водами 3. Оголение и сильная коррозия арматуры, разрывы арматуры. 4. Крупные выбоины и сколы бетона в сжатой зоне конструкции. 5. Низкая прочность бетона в сжатой зоне конструкции.
конструкции из металла
<ol style="list-style-type: none"> 1. Наличие пятен язвенной коррозии металла. 2. Заметные деформации конструкции. 3. Разрушения стыков, отсутствие креплений. 4. Выбоины и отбитые места со сквозными трещинами. 5. Наличие трещин усталостного характера. 6. Несоответствие класса стали проекту, зыбкость конструкции.

В зависимости от уровня опасности эксперту требуется установить степень принадлежности конструкции к одному из абсолютных предельных состояний, к которым относятся следующие:

1. местное хрупкое разрушение в ограниченном объеме или сечении конструкции;
2. чрезмерное деформирование несущей конструкции, провоцирующее превращение её в механизм;
3. общая или местная потеря устойчивости вида деформации несущей конструкции.

Ответственным этапом диагностики технического состояния конструкций несущего каркаса объекта является экспертиза основания. При экспертизе основания требуется:

1. оценить соответствие грунта основания данным проекта (по отсутствию инородных грунтов, выходов скалы и/или дресвы, заполнению выемок мало-сжимаемым образованием, растительного слоя, линз льда, снега и др.);
2. установить при разуплотнении грунта основания причины разуплотнения (замачивание, суффозия и др.) и замерить мощность нарушенного слоя;
3. проверить при набухающих, элювиальных, просадочных и пучинистых грунтах уровень грунтовых вод, установить зоны замачивания и замерить глубину увлажнения;
4. произвести (при необходимости) отбор проб грунта для испытания в лаборатории с целью получения исходных данных для расчета осадок основания. При испытании определяют плотность грунта (тс/м^3), модуль деформации (МПа), угол внутреннего трения (град), удельное сцепление (КПа) и мощность слоя (м) [32].

2.5 Управление риском обрушения зданий на стадии проекта

Основной целью управления является увеличение безопасного ресурса построенного сооружения, существенным образом зависящего от величины риска аварии на момент окончания его строительства. Необходимым этапом управления является прогноз риска обрушения конструкции на стадии его эскизного проекта. Такой прогноз можно осуществить на основе информации об уровне эффективности систем качества предполагаемых участников строительства. Необходимо отметить, что чем выше эффективность системы качества проектировщиков, поставщиков и строителей, тем выше уровень конструкционной безопасности построенного сооружения.

Средний уровень надежности Mp группы конструкции можно оценить по вероятности $P(B)$ ее соответствия требованиям нормативных документов в части обеспечения прочности, жесткости и устойчивости. Действительно, из формулы полной вероятности [9] следует, что

$$Mp = P(B) = \sum P\left(\frac{B}{q_i}\right) \cdot P(q_i),$$

где $q = \{q_i\} = \{MCP, M \cdot CP, MC \cdot P, MCP \cdot, M \cdot C \cdot P, M \cdot CP \cdot, MC \cdot P \cdot, M \cdot C \cdot P \cdot\}$ – полная группа событий, включающая следующие независимые события: М – нет ошибок поставщиков материалов (изделий); С – нет ошибок строителей; П – нет ошибок проектировщиков; М·, С· и П· – события, противоположные событиям М, С и П. Входящие в эту формулу условные вероятности $P = \frac{B}{q_i}$ являются инвариантами, имеющими смысл вероятности соответствия несущих конструкций требованиям безопасности при условии [9]:

- 1) $P\left(\frac{B}{q_1}\right) = 1$ – ошибок участников строительства нет;

2) $P\left(\frac{B}{q_2}\right) = a$ – есть ошибки только поставщиков;

3) $P\left(\frac{B}{q_3}\right) = b$ – есть ошибки только строителей;

4) $P\left(\frac{B}{q_4}\right) = c$ – есть ошибки только проектировщиков;

5) $P\left(\frac{B}{q_5}\right) \cong ab$ – нет ошибок только проектировщиков;

6) $P\left(\frac{B}{q_6}\right) \cong ac$ – нет ошибок только строителей;

7) $P\left(\frac{B}{q_7}\right) \cong bc$ – нет ошибок только поставщиков;

8) $P\left(\frac{B}{q_8}\right) \cong abc$ – есть ошибки всех участников строительства.

Инварианты в совокупности представляют априорную информацию, которая может быть сформирована из анализа причин случившихся аварий. В Российской Федерации ~80% аварий происходит из-за ошибок участников строительного процесса, в том числе по вине поставщиков ~ 20%, по вине строителей ~ 50%, а по вине проектировщиков ~ 10%. Следовательно, $a = 0,8$, $b = 0,5$, $c = 0,9$. Если обозначить вероятности независимых событий М, С и П как $P(M) = \mu_M$, $P(C) = \mu_C$, $P(\Pi) = \mu_\Pi$, то из формулы полной вероятности следует следующая математическая модель [9]:

$$\begin{aligned} M_p = & \mu_M \cdot \mu_C \cdot \mu_\Pi + 0,8 \cdot (1 - \mu_M) \cdot \mu_C \cdot \mu_\Pi + 0,5 \cdot \mu_M \cdot (1 - \mu_C) \cdot \mu_\Pi + \\ & + 0,9 \cdot \mu_M \cdot \mu_C \cdot (1 - \mu_\Pi) + 0,4 \cdot (1 - \mu_M) \cdot (1 - \mu_C) \cdot \mu_\Pi + 0,72 \cdot (1 - \mu_M) \cdot \\ & \cdot \mu_C \cdot (1 - \mu_\Pi) + 0,45 \cdot \mu_M \cdot (1 - \mu_C) \cdot (1 - \mu_\Pi) + 0,36 \cdot (1 - \mu_M) \cdot (1 - \mu_C) \cdot \\ & \cdot (1 - \mu_\Pi). \end{aligned}$$

В представленной формуле величины μ_n , μ_m и μ_c имеют смысл степеней соответствия несущих конструкций требованиям нормативных документов. Формула позволяет спрогнозировать средний уровень надежности M_p групп конструкций несущего каркаса как на стадии замысла здания, так и на стадии, когда уже имеется проект объекта (таблица 3).

Рассмотрим случай декларирования уровня конструкционной безопасности планируемого к возведению здания (сооружения), когда имеется готовый проект объекта. При определении μ_n задачами эксперта являются[9]:

- 1) отследить наличие в проекте грубых ошибок;
- 2) оценить уровень опасности обнаруженных в проекте ошибок;
- 3) принять меры для ликвидации обнаруженных ошибок.

Таблица 3 – Перечень грубых ошибок на стадии проектировки сооружений

№	Описание возможных грубых ошибок проекта
1	Принятые в проекте физико-механические характеристики грунтов не соответствуют действительному состоянию основания. Отсутствуют лабораторные испытания образцов грунта с ненарушенной структурой.
2	При выборе расчетной модели основания инженерно-геологическими изысканиями не выявлены и не учтены характерные зависимости деформирования грунта под нагрузкой.
3	Размеры фундамента и положение масс на плане объекта не обеспечивают равномерность осадок.
4	Расчетная схема несущего каркаса не соответствует действительной его работе под нагрузкой.
5	При вводе исходных данных в программу допущены ошибки в размерностях и величинах нагрузок, сопротивлений, жесткостей. Расчет не продублирован по другой программе.
6	Несоответствие запроектированных узловых соединений элементов каркаса принятой в расчетной схеме жесткости узлов.
7	Связевые конструкции не обеспечивают требуемой жесткости несущего каркаса объекта.

2.6 Системный подход к моделированию обрушения зданий

В нормативных документах до сих пор нет однозначности относительно методов расчета зданий и сооружений на устойчивость к обрушению. Во многих современных программных комплексах прочностного анализа строительных конструкций предложены алгоритмы такого расчета, достоверность результатов которых не всегда подтверждается численными экспериментами и реальным проектированием. При переходе от реального объекта к его расчетной модели применяется ряд допущений, которые существенно влияют на окончательный результат. Источником этих неопределенностей является: эвристический выбор сценариев, схем и ограничений разрушения зданий, метод удаления элемента расчетной модели, а также определение критериев разрушения конструкций. Данные, приведенные в нормативных документах разных стран, как правило отличаются или противоречат друг другу. Все большее значение приобретают численные эксперименты, проверенные реальным проектированием и позволяющие с высокой точностью и достоверностью описывать реальное поведение конструкций при воздействии различных нагрузок [7].

При проведении математического моделирования учитываются факторы реальной работы конструкций на всех этапах жизненного цикла: учет последовательности возведения здания, гибкость и проседание вертикальных конструктивных элементов, динамические нагрузки (пульсационный ветер, сейсмика), пространственный характер работы здания, а также совместную работу диафрагм, рам не только на горизонтальные, но и на вертикальные нагрузки. Эти и другие факторы оказывают значительное влияние на формирование расчетной модели здания и на выбор наиболее подходящего метода расчета, позволяющего получить данные о напряженно-деформированном состоянии несущих конструкций [7].

Не обращая внимания на то, что все расчетные программные комплексы основаны на методе конечных элементов, в нормативной базе, до сих пор не существуют рекомендации по составлению самой заключительной модели здания, а также отсутствуют единые рекомендации по выбору типов конечных элементов, способных обеспечить необходимую точность расчёта модели с учетом всех основных факторов, влияющих на прочность и устойчивость здания. Как известно, это объясняется наличием множества программных комплексов, имеющих в своих базах данных различные готовые элементы, анализ которых и выбор из них наиболее достоверных, весьма затруднён. Однако, основной причиной является, отсутствие понимания самих факторов, которые необходимо учитывать при составлении расчетной компьютерной модели здания, а также особенностей их совместного влияния на напряженно–деформированное состояние несущей системы здания [7].

Современные средства систем автоматизированного проектирования позволяют перейти от ранее принятой концепции расчета (расчетная схема – напряженно–деформированное состояние) к современной – моделирование процессов «жизненного цикла» (процесс возведения, процесс нагрузки и др.). В моделирование эксплуатационного периода конструкции, куда помимо таких факторов, как учет реологических свойств материала (ползучести), изменения конструктивной схемы в связи с реконструкцией и др., входит и моделирование процесса прогрессирующего разрушения [7].

Проблема прогрессирующего обрушения возникла в 1968 году после аварии двадцати двухэтажного жилого дома в Лондоне. После этого события наступило время интенсивных исследований в этой области. Среди зарубежных ученых, особый интерес представляют труды Leyendecker и Ellingwood (1977), Burnett (1975), Leyendecker и Burnett (1976), Mc Guire (1974) и т.д. На протяжении 90-х и начала 2000-х годов ученые продолжили заниматься этой проблемой, в связи с участвовавшими фактами международного терроризма. События 11 сентября 2001 года в Нью-Йорке

(США), связанные с полным разрушением башен Всемирного торгового центра, поставили вопросы исследования и предотвращения таких разрушений, на совершенно новый уровень [67, 61, 66].

Нестандартный подход к обеспечению так называемой «структурной целостности здания» был предложен в работах: McGuire (1974), Fintel и Schultz (1976). Данный подход основывается на увеличении сопротивления конструкции к разрушению. При этом устойчивость конструкции против прогрессирующего разрушения не учитывается и не определяется [68, 63].

В работах Алмазова В.О. (2006, 2007, 2009), Мутюка К.Н. (2006), Плотников А.И. и Расторгуев Б.С. (2008), Расторгуев Б.С. и Мутюка К.Н. (2006), Расторгуев Б.С. (2003), работы сотрудников МНИИТЭП Шапиро Г.И. и др. (2004), показано влияние динамического эффекта при прогрессирующем обрушении, которое уменьшается при увеличении пластических деформаций [3, 4, 2, 33, 41, 39, 40, 59].

Доктор технических наук, профессор Расторгуев Б.С. (2003) предложил методы обеспечения живучести здания на основе динамического расчета конструкции многоуровневого плоского каркаса при удалении колонны некоторого этажа в двух случаях: прогрессирующее обрушение части здания и потеря общей устойчивости здания [40].

В статье ученых Pretlove A.J. и др. (1991) озвучен вопрос необходимости учета динамического перераспределения усилий при расчете на прогрессирующее обрушение. Исследователи доказывают неточность статического расчета, и его непригодность для предотвращения прогрессирующего разрушения. Kaewkulchai G.F. и Williamson E.D. (2003) на элементарных примерах доказывают необходимость учёта динамических эффектов. Gilmour J.D. и Viridi K.S. (1998) для анализа обрушения плоской железобетонной рамы использовали трехмерный квазистатический нелинейный элемент [71, 65, 64].

В настоящее время исследованиями в Российской Федерации в данной области занимается ОАО «ЦНИИЭП жилища», ответственными

организациями по данным исследованиям являются ведущие отраслевые научно–исследовательские институты, такие как: ЦНИИСК; им. В. А. Кучеренко; НИИЖБ, НИиПИ Генплана Москвы; НИИОСП им. Н. М. Герсеванова; Моспроект; МНИИТЭП. На территории Украины ответственными организациями являются: НИИ строительных конструкций, НИИ строительного производства, Полтавский национальный технический университет, Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры, а также Всемирная академия наук комплексной безопасности и другие, ведущие научные и проектные организации России, стран ближнего и дальнего зарубежья. За последние годы, были разработаны и выпущены новые нормативные документы, регламентирующие строительство высотных зданий, такие как: Градостроительный Кодекс РФ от 29.12.2004 N 190–ФЗ, Федеральный закон от 27.12.2002 N 184–ФЗ «О техническом регулировании», MGSN 4.19–2005, MGSN 1.01–99, STO 008–02495342–2009, TSN 31–332–2006 [7, 72, 70, 69].

С введением в действие нормативных документов, сформулированы требования расчета зданий на прогрессирующее обрушение. Такие расчеты подразумевают локальные обрушения или повреждение отдельных элементов несущих конструкций в пределах одного этажа или части перекрытия (ограниченной площадью до 80 м² или диаметром до 10 м), которое не ведет к полному разрушению всей конструкции и здания в целом. При этом в отдельных элементах конструкций допускается развитие трещин и пластических деформаций в арматуре. Расчет прочности и устойчивости общей конструкции сооружения проводится на аварийное сочетание нагрузок. При этом в соответствии с Градостроительным Кодексом РФ от 29.12.2004 N 190–ФЗ – предельные перемещения конструкций не регламентируются, необходимо оценить общую устойчивость здания в целом [15, 42].

Аварийные воздействия могут быть вызваны антропогенным участием при пожаре, взрыве газа, терактов, наездов транспорта и др. или могут быть

вызваны природными явлениями такими как: землетрясения, ураганы, оползни, неравномерные деформации оснований. Полностью невозможно исключить вероятность возникновения таких ситуаций, необходимо обеспечить определенную степень безопасности людей и сохранности их имущества за счет уменьшения вероятности прогрессирующего обрушения при локальных разрушениях несущих конструкций [42].

В документах, определяющих правила проектирования для предотвращения прогрессирующего обрушения, например. «Рекомендации по защите монолитных жилых зданий от прогрессирующего обрушения», разработанные МНИИТЭП, НИИЖБ, Рекомендации по технологии возведения монолитных гражданских зданий ЦНИИЭП и др. (MGSN 4.19–2005, STO 008–02495342–2009, TSN 31–332–2006) требования для решения данной проблемы изложены следующим образом:

- несущая конструктивная система жилых зданий должна быть устойчива к прогрессирующему (лавинообразному, цепному) обрушению в случае локального разрушения отдельных конструкций при аварийных воздействиях (взрыва бытового газа, пожара и т.п.);

- допускаются локальные разрушения отдельных несущих конструкций, но эти первичные разрушения не должны приводить к обрушению соседних конструкций, на которые передается нагрузка, принимавшаяся ранее элементами, поврежденными в результате аварийного воздействия;

- конструктивная система здания должна обеспечивать его прочность и устойчивость, которое необходимо для эвакуации людей. Перемещения конструкций и раскрытие трещин в них не ограничиваются [69, 15, 42].

В эксперименте Барабаш М.А. с применением расчётного комплекса «Ли́ра–САПР» и «Монтаж», при физически-нелинейном расчете, кроме нормируемых данных о материалах (бетон, арматура), предусматривается задание произвольных расчетных значений параметров прочности (в том числе по результатам натурных наблюдений). В результате вычислительного

моделирования можно получить качественную оценку характеристик устойчивости конструкции по отношению к прогрессирующему обрушению, а также сопоставить несколько возможных сценариев обрушения с целью выявления слабых мест конструкции [7].

Устойчивость к обрушению проверяется нелинейным расчетом на особое (аварийное) сочетание нормативных нагрузок и воздействий, включающее нормативные постоянные и длительные нагрузки, а также воздействие гипотетических локальных разрушений несущих конструкций. Допускается в первом приближении после определения зоны локального обрушения, например, по подсистеме «Лири-САПР», выполнять расчет конструкций с учетом демонтажа разрушенных элементов при пониженных модулях упругости несущих элементов: вертикальных с коэффициентом – 0,6, плит перекрытия – 0,3. Сдвиги элементов конструкций и рост трещин не ограничиваются, но коэффициент запаса при проверке устойчивости такой системы с демонтированными элементами должен быть более двух. Минимальная площадь продольной и поперечной арматуры в железобетонных перекрытиях и покрытиях многоуровневого строения должна быть не менее 0,25 % от площади бетона, при этом арматура должна быть непрерывной и стыковаться в соответствии с требованиями по проектированию железобетонных конструкций [7].

На современном этапе развития технологии математического моделирования, которые позволяют спрогнозировать возможные осложнения при строительстве и эксплуатации сооружения и избежать их в дальнейшем. При моделировании нагрузок крупнопролётных выработок подземных ГЭС в различных горных породах, Устинов Д. В. установил, что место расположение наиболее напряжённых участков крупнопролётных технических залов зависит от породы, в которой они спроектированы. Численный анализ в плоской и объёмной постановке на различных участках конструкции позволяет увидеть распределение давления в точках

соприкосновения строительных блоков к другу и в дальнейшем усилить наиболее напряжённые участки [54].

При использовании численных методов, расчёты напряжённо–деформированного состояния конструкций из грунтовых материалов не представляют возможности без учёта поэтапности их строительства [12, 62], оказывающей влияние на развитие пластических деформаций в грунтовых материалах [23, 11]. По исследованиям Зарецкого Ю. К. и др. расчёты напряжённо–деформированного состояния бетонных сооружений (плотины, надземные здания гидроэлектростанции и т.д.) выполняются, как правило, при их мгновенном возведении [22, 73]. Данный подход совершенно не приемлем, так как напряжённо–деформированное состояние бетонных сооружений формируется при их взаимодействии с нелинейно–деформируемыми грунтовыми основаниями, в которых процесс накопления пластических деформаций зависит от траектории нагрузки [21, 24].

При возведении крупнопролётного строения (ГЭС) в пределах аккумулятивной аллювиальной террасы, сложенной валунно–галечниками, мощность которых на участке расположения котлована 90 м, была разработана объёмная математическая модель системы здания. Моделирование формирования напряжённо–деформированного состояния системы здания выполнялось с помощью вычислительной программы «Земля» [34], реализующей метод конечных элементов. При этом поведение грунтов основания описывалось с помощью упругопластической модели грунта [20], параметры которой определялись из результатов трехосных испытаний. Как показали результаты расчетов, в процессе строительства происходит непрерывное изменение осадки, наклона, прогиба и кручения донной плиты и соответственно изменение напряжённо–деформированного состояния здания станции. Усиление (укрепление) конструктивных элементов здания станции приводит к увеличению вертикальных перемещений донной плиты. В то же время расчёты, выполненные в предположении мгновенного возведения здания станции, прогнозируют

только равномерный наклон донной плиты в сторону верхнего бьефа и не позволяют отследить процесс формирования напряженно-деформированного состояния здания станции для соответствующего армирования его элементов [35].

Использование автоматизированных систем по предотвращению чрезвычайных ситуаций (прерывание подачи газа, воды, электричества) также может значительно сократить человеческие жертвы и материальный ущерб, вызванные обрушениями. В современном мире и росте технологических разработок, данный риск в техносфере будет сведён к минимуму.

Глава 3 Характеристика объекта исследования

3.1 Индустриализация Красноярского края

Красноярский край богат природными ресурсами. На его территории присутствуют практически все виды минерального сырья, используемые в современном производстве. Разведанные запасы не только полностью обеспечивают потребности края, но и дают возможность для вывоза их в другие регионы России и за рубеж. Большие объемы и качество природных ресурсов позволяют использовать их в едином технологическом процессе, что способствует развитию материальной сферы [83].

В недрах края сосредоточены основные российские запасы платины и платиноидов, медно-никелевых руд. В Северо-Енисейском районе находится второе по объему запасов золота в России месторождение — Олимпиадинское. Помимо этого на территории края расположен целый ряд более мелких месторождений золота: Боголюбовское, Бабгоринское, Ведугинское, Васильевское, Титимуха, Кварцевая гора [83].

Один из наиболее значимых минеральных ресурсов края — свинцово-цинковые руды. Основные запасы свинца и цинка Красноярского края сосредоточены в Горевском свинцово-цинковом месторождении, расположенном в Нижнем Приангарье. Месторождение по запасам свинца относится к разряду крупнейших в мире — в нем сосредоточены 42,4 % промышленных запасов свинца и 2,5 % запасов цинка России [83].

На территории края расположено самое крупное в России Пороженское месторождение марганцевых руд, находятся крупные запасы железно-алюминиевого сырья, месторождения богатых хромитовых руд, апатитов и фосфоритов, титана, графита [83].

Региону принадлежит первенство в России по общегеологическим запасам угля. Общие разведанные запасы угля в крае составляют 806 млрд т (66 % энергетических запасов углей России, свыше 20 % мировых запасов),

из них промышленно освоено лишь 7 %. Особое значение имеет Канско-Ачинский бассейн бурых углей, обладающий уникальным запасом углей, пригодных для открытых разработок. На территории края находится Кокуйское месторождение каменного угля, пригодное для освоения открытым способом [83].

В крае открыто 25 месторождений нефти и газа. После Западной Сибири это наиболее перспективный район нефтедобычи в стране. Общие запасы нефти оцениваются в 1001,3 млн т, газа — более 1 трлн м³, газоконденсата — 50 млн т. В развитии нефтегазодобычи наиболее перспективным является разработка Ванкорского месторождения и месторождений Юрубчено-Тохомской зоны [83].

Более 80 % территории края покрыто лесами, суммарные запасы древесины составляют 7,8 млрд куб.м (9,4 % общероссийских). Лесосырьевые ресурсы края по породно-качественным характеристикам являются одними из лучших в мире [83].

Важнейшее значение имеют водные и гидроэнергетические ресурсы, уже освоенные на Енисее и Ангаре. Красноярский край – потенциально энергоизбыточный регион. Только в Нижнем Приангарье потенциальные гидроресурсы составляют 100 млрд кВт-ч, в том числе технически возможные к использованию – 80 млрд кВт-ч. Дополнительный потенциал сосредоточен в строящейся на р. Ангаре Богучанской ГЭС [83].

Учитывая географическое и геополитическое положение края, важнейшей составной частью производственной и социальной инфраструктуры края является транспортный комплекс, представленный всеми видами транспорта: железнодорожным, воздушным, речным, автомобильным. Злобин Д. А. при проведении исследования экономического роста Красноярского края установил, что «с точки зрения самоорганизации процессов, уровень развития транспортных магистралей региона выступал ключевым фактором, определявшим высокие темпы развития его промышленного производства и сельского хозяйства» в период

централизованно-планируемой экономики. Обнаружена связь между темпами промышленного производства, темпами выпуска продукции сельского хозяйства и темпами совокупного грузооборота железнодорожного, речного и автомобильного транспортов [84].

Существующая территориальная организация транспортной сети базируется на использовании магистральных коммуникаций при неразвитости внутрорегиональной сети, особенно северных районов края [84].

Степень транспортного обслуживания резко дифференцируется по территории. Наиболее освоенными являются центральные и южные районы, где проходит основная транспортная артерия — Транссибирская железнодорожная магистраль. Она строилась как важнейшая стратегическая дорога России, связывающая центр страны с Дальним Востоком, и сохранила это значение до настоящего времени [84].

Все остальные железные дороги края строились как «дороги к ресурсам» (Ачинск—Лесосибирск, Ачинск—Абакан, Красная Сопка—Белогорск и Решоты—Карабула). К этому же типу относится локальная дорога Дудинка-Норильск, которая, в отличие от остальных, не связана ни с Транссибирской магистралью, ни с остальной сетью железных дорог России [84].

Высокую эффективность развития воздушного транспорта края обуславливает выгодное экономико-географическое положение края, который оказался на пересечении коридоров движения судов многих международных линий. Здесь проходят транзитом суда по широтным коридорам, связывающим Европу со странами Юго-Восточной Азии и Северной Америки. Прорабатываются меридиональные коридоры между Северной Америкой и Азией. В воздушном пространстве над Красноярским краем проложены трансполярные трассы № 1 и 2 [84].

Развитие экономики Красноярского края во многом зависит от водного транспорта, который сегодня является единственным экономически

эффективным транспортом, связывающим два основных экономических района — красноярский и норильский. Важным элементом транспортной системы является дорожный комплекс, который обеспечивает постоянную связь по автомобильным дорогам 52 районных центров с краевым центром. Однако по уровню развития сети автомобильных дорог Красноярский край в значительной степени отстает от средних показателей Российской Федерации и ее регионов [84].

В крае сформировались два территориально удаленных друг от друга основных экономических района, различных по своей ориентации — Красноярский экономический район, располагающийся в 300-километровой зоне г. Красноярска, и Норильский экономический (промышленный) район, расположенный в г. Норильске и по линии г. Норильск—г. Дудинка [84].

Красноярский край входит в десятку регионов-доноров, формирующих более 50 % валового внутреннего продукта России и федерального бюджета.

При численности населения края, составляющей 2,03 % в общей численности населения Российской Федерации, доля края в валовом внутреннем продукте составляет 2,5 %, в общероссийском промышленном производстве — 2,3 %. Регион по объему валового регионального продукта на душу населения является одним из лидеров среди субъектов федерации, занимая 8 место. Производство ВРП (по итогам 2003 года он составил 282,5 млрд рублей) на душу населения более чем в полтора раза превышает среднероссийский уровень [84].

Край располагает развитой промышленностью и активно участвует в российском и международном рынках. В системе международного разделения труда край выступает мощным топливно-энергетическим комплексом с энергоемкими производствами цветной металлургии, химической промышленности и машиностроения, добычей ценного минерального сырья, лесопромышленными отраслями. Удельный вес края в промышленности Восточно-Сибирского региона составляет более 40%, в промышленности России – 3%. По экспортному потенциалу край входит в

пятерку лидирующих регионов России и занимает ведущее место в Сибири [84].

Основные отрасли промышленности: цветная металлургия (в Норильске – горно-металлургический комбинат, вырабатывающий медь, никель, кобальт; Красноярский, Саянский алюминиевые заводы, Сорский молибденовый комбинат); машиностроение и металлообработка (производство оборудования для лесной и целлюлозно-бумажной промышленности, зерноуборочных комбайнов, тяжелых мостовых кранов, судов, бытовых холодильников, телевизоров, экскаваторов, контейнеров, электротехнической продукции, автоприцепов, инструментов); горнодобывающая (добыча каменного угля, железной руды, руд цветных и редких металлов, золота, графита, исландского шпата); химическая (производство химических волокон, синтетического каучука, шин, медицинских препаратов, резинотехнических изделий); лесная и деревообрабатывающая, легкая (текстильная, кожевенно-обувная) и пищевая. На территории края действуют Красноярская, Усть-Хантайская, Саяно-Шушенская, Майнская ГЭС, Назаровская ГРЭС [84].

Главные промышленные центры: Красноярск, Норильск, Абакан, Черногорск, Ачинск, Минусинск. Ведущие промышленные предприятия. В крае – 77 машиностроительных предприятий, в том числе и уникальных. Красноярский завод «Сибтяжмаш» – единственный в России производитель тяжелых мостовых электрических кранов, грузоподъемностью свыше 200 тонн. На красноярском заводе «Краслесмаш» выпускают половину челюстных лесопогрузчиков страны, лесоперевалочные машины. Красноярское комбайностроительное объединение производит 15,5% российских зерноуборочных комбайнов. В Красноярске находится самый крупный в России завод по производству бытовых холодильников «Бирюса», которые экспортируются в 40 стран мира. Научно-производственное объединение прикладной механики – основной разработчик и производитель российских систем космической связи. Производят в крае также речные суда,

автомобильные прицепы и рефрижераторы, телевизоры и радиоэлектронное оборудование. Кроме того, в Красноярске имеются следующие предприятия: госпредприятие «Красмашзавод», Красноярский алюминиевый завод, Красноярское ПО «Комбайнпром» В Норильске – Норильский горно-металлургический комбинат им. А.П.Завенягина; в Ачинске – ПО «Ачинский глиноземный комбинат»; в п. Н.-Пойма [84].

Топливо-энергетический комплекс. Профилирующей отраслью специализации края является энергетика. За последние годы вклад региона в общероссийский объем производства электроэнергии постоянно возрастал. Красноярский край вырабатывает около 6% от общего объема электроэнергии, производимой страной. На территории края расположены крупные энергетические объекты - Красноярская ГЭС, Красноярская ГРЭС – 2, Назаровская ГРЭС, строящаяся Богучанская ГЭС и Березовская ГРЭС-1 [84].

Край по производству электроэнергии на одного человека занимает второе место в России. Благодаря высокому энергетическому потенциалу рек, наблюдается высокий удельный вес. Не случайно именно на Енисее построены две самые крупные в Евразии гидроэлектростанции: Красноярская и Саяно-Шушенская ГЭС. На базе Канско-Ачинского угольного бассейна создается Канско-Ачинский топливо-энергетический комплекс (КАТЭК) с мощнейшими в мире Березовскими ГРЭС-1 и ГРЭС-2. Действующие разрезы бассейна ежегодно поставляют для нужд энергетиков около 55 миллионов тонн угля. Значительная часть угля поступает на тепловые станции соседних регионов - Новосибирской, Иркутской и других областей [84].

В 1999 году в крае выработано более 50,0 млрд. кВт/ч электроэнергии. В 2000 году, по экономическим прогнозам, эта цифра будет гораздо выше. Относительно также высок удельный вес гидростанций в общем объеме производства, что обуславливает установление относительно низких, по сравнению с другими регионами России, тарифов на электро- и теплоэнергию [84].

Энергосистема Норильского промышленного района работает автономно от Красноярской энергосистемы, используя в качестве сырья природный газ: около 5,6 млн. м² в год. Централизованным электроснабжением на территории края охвачено 99% потребителей [84].

Традиционно базовой отраслью промышленности в крае является металлургическая, объединяющая цветную и черную металлургию. Всего в крае производится более 30 тяжелых, легких, легирующих и редкоземельных металлов и элементов, наиболее важными из них считаются: алюминий, никель, кобальт, медь, платина и золото. Цветная и черная металлургия дают около 45% промышленной продукции края. На территории края расположены крупные металлургические предприятия: красноярские заводы – алюминиевый, металлургический и цветных металлов, Ачинский глиноземный комбинат, Горевский полиметаллический горнообогатительный комбинат. Флагманом цветной металлургии не только края, но и России является самый северный в мире Норильский горно-металлургический комбинат, который производит 1/6 часть промышленной продукции края. С началом конверсии в крае получило развитие производство особо чистых металлов для радиоэлектронной промышленности, таких как теллур, германий, кремний, сверхчистый алюминий [84].

В целом цветная и черная металлургия дают более 50% промышленной продукции края. Этим же отраслям принадлежит ведущая роль во внешнеэкономической деятельности края [84].

Химический комплекс края представлен предприятиями химической, нефтехимической, микробиологической и медицинской промышленности. Среди основных продуктов предприятий химического комплекса прежде всего выделяются продукты нефтепереработки, синтетический каучук и продукция, создаваемая на его основе; всего около 300 видов продукции. На предприятиях края производится 10% высококачественных искусственных каучуков России, 15% автомобильных шин, 12% искусственных волокон, значительная доля отечественных антибиотиков, кровозаменителей [84].

Доля химической и нефтехимической промышленности в объеме промышленного производства края в последние годы стабильно удерживается на уровне 6 – 7%. В 1999 году объемы выпуска товаров и услуг этих отраслей возросли к уровню 1998 года на 15,4%. К наиболее крупным предприятиям относятся красноярские заводы - шинный, химического волокна, синтетического каучука, резинотехнических изделий, медицинских препаратов, а также Канский биохимический завод, завод «Сибволокно» [84].

Горнодобывающая промышленность. Сырье для металлургии поставляется предприятиями горнодобывающей промышленности. В регионе ведется промышленное освоение месторождений золота, свинца, цинка, магнетитов и других полезных ископаемых [84].

В настоящее время почти 90% выпускаемой продукции отрасли приходится на добычу сырья для производства цветных металлов. Второй по объемам производимой продукции является добыча угля. Средняя годовая добыча угля составляет свыше 50 млн. тонн. Основные месторождения - Канско-Ачинский бассейн, Назаровское, Берёзовское, Ирша-Бородинское месторождения [84].

Лесная и деревообрабатывающая промышленность. Совокупность отраслей лесопромышленного комплекса – лесозаготовительная, деревообрабатывающая и целлюлозно-бумажная – имеет общероссийское и международное значение. В крае складывается лесопромышленная и лесоэкспортная база страны. Леса занимают 168,2 миллионов гектаров, что составляет 45% территории края. Среди основных лесообразующих пород наиболее представлены лиственница сибирская, кедр, сосна, осина, береза. Леса имеют эксплуатационное значение, заготавливается лишь высококачественная хвойная древесина. Ежегодно в крае заготавливается 55 миллионов кубических метров древесины. По объемам лесозаготовок край занимает третье место в России, а по производству пиломатериалов занимает ведущее место в стране. Транспортировка древесины осуществляется водным путем по крупным рекам края и железнодорожным транспортом [84].

Сельское хозяйство в Красноярском крае по праву считается крупнейшим Центральной и Восточной Сибири, полностью обеспечивающим потребности населения в основных продуктах питания. На долю края в Восточно-Сибирском регионе приходится более половины общих объемов производства зерна, более 40% картофеля, 37% вощей, 43% молока, 36 - 43% мяса и яиц. Из-за суровых климатических условий Красноярского края сельское хозяйство развито в основном только в южных районах. Ведущие отрасли сельского хозяйства – растениеводство, мясомолочное скотоводство и птицеводство. На юге развито тонкорунное овцеводство, в средней полосе разводят коров, свиней, овец, на севере преобладает оленеводство и звероводство, пушной промысел. Красноярский край является важным пушным регионом страны. В среднем на его территории добывается до 15 тыс. белых песцов, более 50 тыс. промысловых соболей, 400 тыс. белок [84].

Повышение устойчивости экономики края возможно путем диверсификации существующей структуры, что позволит снизить доминирующую роль цветной металлургии и ликвидировать зависимость экономики и бюджета края от ситуации на мировом рынке цветных металлов. К такому выводу приходит и Злобин Д. А. в своей диссертации. «По результатам анализа отраслевой структуры экономики Красноярского края периода 1991-2003 гг. выявлено, что для региона ключевыми являются вопросы диверсификации производства и поиска эффективных близрасположенных рынков сбыта» [85].

Диверсификация структуры экономики может быть достигнута за счет развития несырьевых секторов, включая перерабатывающие отрасли промышленности, агропромышленный комплекс, строительство, транспорт, а также за счет развития предпринимательской деятельности [85].

В настоящее время положительным фактором развития отрасли является усиление интеграционных процессов — объединение предприятий,

связанных между собой технологически — от производства полуфабрикатов до выпуска конечной продукции [85].

В крае сосредоточены крупные промышленные предприятия оборонно-промышленного комплекса, мощности которых в настоящее время не загружены. В 90-е годы отрасль испытала гораздо больший спад по сравнению с промышленностью края в целом [85].

Лесозаготовительная и деревообрабатывающая промышленность является одной из наиболее перспективных отраслей промышленности края. Край имеет большие объемы лесозаготовок, эти территории слабо занимаются переработкой леса и древесины. Сформированная структура лесоперерабатывающих производств ориентирована на первичную механическую переработку круглого леса и не позволяет без существенных инвестиций обеспечить глубокую переработку всей заготовленной древесины и получать продукцию высокой стоимости. «Для того, чтобы лесопользование в России получило эффективное развитие, объектом его проведения должны стать экономически доступные ресурсы. Критерием доступности лесных ресурсов при аренде участков лесного фонда должна быть лесная рента, необходимо устанавливать нормативные затраты на воспроизводство лесных ресурсов» [86].

Несмотря на большое количество проблем, край уже сегодня располагает достаточным потенциалом, характеризующимся стабильной политической обстановкой, активной и взвешенной экономической политикой администрации края, наличием значительных запасов полезных ископаемых, сырьевых и энергетических ресурсов, высокоразвитым научно-техническим комплексом и уровнем профессиональной подготовки населения, а также и другими элементами, позволяющими повысить инвестиционную привлекательность Красноярского края [86].

В крае наблюдается очень большой разброс уровня безработицы по отдельным территориям. Особенно велика безработица в регионах, где

преобладают отрасли, находящиеся в состоянии депрессии, сельской местности, в отдаленных районах с суровыми климатическими условиями.

Одной из характерных особенностей рынка труда края в последние годы является привлечение и использование иностранных работников. Основными отраслями, где используется иностранная рабочая сила, являются промышленность — 31,4 % от общей численности иностранных работников, строительство — 21,4 %, торговля — 27,6 %, общественное питание — 10,3 %. Наблюдается увеличение численности иностранных рабочих, занятых в сельском хозяйстве. За последнее время значительно увеличился поток нелегальных рабочих, в основном из Китая [87] .

«В течение многих лет реформирования большинство населения региона решало для себя по сути одну задачу – выживание. Поэтому, неудивительно, что социально-экономические факторы во многом обусловили формирование ценностных ориентаций, и фактически вытеснили духовно-нравственные и демократические ориентации»[88] .

Злобин Д.А., основываясь на результатах своей диссертационной работы, предлагает два возможных варианта управления экономическим ростом региона. «Первый вариант – для обеспечения высоких темпов экономического роста необходимо акцентировать внимание на инвестиционном факторе. Инвестиции в экономику региона должны поступать, прежде всего, за счет повышения внутренней нормы сбережений. При этом необходимо учитывать параметр инвестиционной отдачи, так как высокая норма сбережений может нивелироваться низкой отдачей инвестиций. Второй вариант развития – внимание сосредотачивается на трудовой компоненте с параллельным созданием условий для развития рыночной среды в экономике региона, в частности, за счет следующих мер: создание на предприятиях и организациях региона системы непрерывного повышения квалификации работников, увеличения объема инвестиций в человеческий капитал, в том числе за счет работодателей, снижения

налоговой нагрузки на рыночный сектор региона с целью увеличения инвестиционной составляющей прибыли» [88].

3.2 Природно-климатические условия

Географическое положение г. Красноярска вблизи центра Азиатского континента вдали от берегов океанов определяет в нём климатические особенности. Именно с этим связан резко континентальный, умеренно-холодный климат района северных среднесибирских лесостепей [74, 75, 76, 77]. Наиболее часто сюда поступают массы сухого континентального полярного воздуха. В летнее время года массы сухого континентального воздуха поступают из районов Западной Сибири.

В низменности, где расположен город и его окрестности господствуют антициклонические условия атмосферной циркуляции – режим преимущественно сухой, малооблачной погоды с очень резкими колебаниями температуры по сезонам года. Степень континентальности составляет 87–89% [78]. Коэффициент континентальности по Конраду – 52,6 [79].

Среднегодовая температура колеблется от +0,2° до +4,3°С. Зимой континентальный полярный воздух очень быстро трансформируется, охлаждаясь от подстилающей поверхности. В приземном слое он может быть холоднее арктического. В тылу циклонов, при развитии антициклонов за арктическим фронтом в районе Красноярской лесостепи поступает выхоложенный над континентом арктический воздух с Баренцева и Карского морей, а также с Таймыра и Западной Якутии. Под влиянием Сибирского антициклона, чаще его отрога или периферийной части, зимой продолжительное время стоит сухая малооблачная погода с сильными морозами. Абсолютный минимум температуры достигает -51°С, средняя температура самого холодного месяца января достигает -17,8°С – -19,4°С.

В летний период так же преобладает влияние континентального воздуха, сформировавшийся над районом Западной Сибири, он прогревается и несёт сухую и тёплую погоду в районы Красноярской лесостепи. Средняя температура воздуха в июле от $+17,3^{\circ}\text{C}$ до $+19,9^{\circ}\text{C}$ [80, 81].

Среднегодовая относительная влажность воздуха 60–70%. Минимальная относительная влажность наблюдается в мае – июне. На эти месяцы приходится большая часть пожаров.

Среднегодовое количество осадков 281–597 мм. Их распределение в течение года неравномерно. Значительная часть (120–130 мм) приходится на июль–август, причём за тёплый период – более 80% от общего количества. В каждом летнем месяце осадков выпадает больше, чем за весь зимний сезон.

Сходит снег примерно в середине – конце апреля. Период с устойчивым снежным покровом короче периода с отрицательной температурой воздуха более чем на месяц [82].

В качестве объекта мониторинга был взят холодный склад металла, располагающимся по ул. Калинина, 61 г. Красноярска. Здание склада прямоугольное в плане. Размер в осях 13x24 м. Здание одноэтажное, высотой 10,150 м. Несущие конструкции здания металлические из прокатных профилей. Ограждающие стеновые конструкции из профлиста С44–1000–0,7, кровля из профлиста марки Н60–845–0,7. Кровля односкатная, с уклоном 6 %. В здании склада запроектированы ворота размером 4,2x4,2 м с калиткой. Здание склада оснащено мостовым краном грузоподъёмность. 10 тонн. В здании предусмотрены оконные проёмы размером 1200x4800. По периметру запроектирована асфальтобетонная отмостка шириной 1 м. Красноярский край относится к III снеговому району и к III ветровому району. Величина расчётного значения веса снегового покрова – 1,8 кПа, нормативное значение ветрового давления – 0,38 кПа [49].

Здание склада по взрывопожарной и пожарной опасности относится к категории Д – негорючие вещества и материалы в холодном состоянии. Все

металлические элементы каркаса необходимо защитить вспучивающимися огнезащитными составами.

Конструктивная схема – каркасная, однопролётная. Состоит из балок (двутавр №55Б2), опирающихся на колонны (двутавр №32К2). Шаг колонн 6 м, пролёт 13 м. Общая длина здания в осях 24 м. Покрытие по прогонам (швеллер № 20). Плита пола склада толщиной 200 мм, армированная.

Здание склада по взрывопожарной и пожарной опасности относится к категории Д – негорючие вещества и материалы в холодном состоянии. Все металлические элементы каркаса необходимо защитить вспучивающимися огнезащитными составами. При осуществлении строительства здания приняты меры по охране окружающей среды, рекультивации земель, благоустройству территорий в соответствии с законодательством РФ [48, 47]. Технические решения, принятые в проекте, соответствуют требованиям экологических, санитарно-гигиенических, противопожарных и других норм, действующих на территории РФ, и обеспечивают безопасную для жизни и здоровья людей эксплуатацию объекта при соблюдении рабочими чертежами мероприятий.

Глава 4 Расчёт оптимального расположения датчиков деформации и идентификация напряжённых конструктивных участков крупнопролётного строения

На современном производстве, к сожалению, не обходится без аварий. Однако существуют специальные инструкции, соблюдение которых позволяет предотвратить катастрофы.

В 1993 году Международной организацией труда были разработаны конвенция по предотвращению крупных аварий на промышленных предприятиях и рекомендации по их предупреждению. Обязательность ведения работы по недопущению катастроф в России регламентируется ФЗ № 116 от 21 июля 1997 г.

Необходимо отметить, что в учреждениях, которые связаны с промышленностью, наиболее распространёнными считаются такие производственные объекты, как грузоподъемные механизмы, оборудование, функционирующее под давлением, лифты и прочие опасные конструкции [7].

Одним из главных компонентов систем безопасности является система контроля состояния крупнопролётных конструкций. Система мониторинга особенно напряженных участков позволяет получать текущую информацию о конструктиве здания в режиме «реального времени», производить анализ динамики изменения уровня снега на крыше и деформаций в зависимости от снеговой нагрузки и сейсмической активности.

Обеспечение системами контроля целостности конструктива зданий становится всё более актуальным, в силу современных темпов строительства и реконструкции новых зданий и сооружений. Использование датчиков деформации в г. Красноярске на крупнопролётных объектах по своей специфике уникально и востребовано, поскольку строительные компании только начинают набирать обороты по их использованию.

4.1 Расчёт нагрузок в зависимости от климатических воздействий

Каждый сезон кровля и несущие балки испытывают постоянную нагрузку в особенности от большого количества накопленной снежной массы, которая нередко приводит к прогибам и деформации с последующим обрушением конструкции. В связи с этим был произведён расчёт снеговой нагрузки.

Сбор нагрузки на кровлю – это снеговая нагрузка собственный вес конструкции кровли. Кровля – это балка, прогоны и профлисты.

Расчёт снеговой нагрузки [49]. Нормативное значение снеговой нагрузки на горизонтальную проекцию следует определить по формуле:

$$S_0 = 0,7 C_e C_t \mu S_{\varphi},$$

где S_0 – нормативная снеговая нагрузка;

C_e – коэффициент учитывающий снос снега;

C_t – термический коэффициент (таяние снега);

μ – коэффициент перехода отвеса снегового покрова земли к снеговой нагрузке покрытия;

S_{φ} – вес снегового покрова на 1 м^2 поверхности земли.

$C_e = 1,038$, $C_t = 0,8$ (для неутеплённых покрытий зданий), $\mu = 1$, $S_{\varphi} = 1,8$ кПа = 180 кг/м^2 (г. Красноярск принадлежит к третьему снеговому району).

Расчёт нормативной снеговой нагрузки:

$$S_0 = 0,7 \cdot 1,038 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 1,8 = 1,047 \text{ кПа} = 104,7 \text{ кг/м}^2.$$

Коэффициент учитывающий снос снега [53]:

$$C_e = (1,2 - 0,1 \cdot V \cdot \sqrt{k}) \cdot (0,8 + 0,02b),$$

где коэффициент 0,65 (из таблицы СнИПа 2.01.07–85),

$b = 100$ м не более – ширина покрытия,

V – скорость ветра за три наиболее холодных месяца, $V \geq 2$ м/с.

Снеговая нагрузка на балку кровли:

$$13 \text{ м} \cdot 6 \text{ м} \cdot 104,7 \text{ кг/м}^2 = 8166,6 \text{ кг.}$$

Определение собственного веса конструкции крыши:

1. Балка $I_{\text{тавр}}55Б2$ [13],

$$13 \text{ м} \cdot 97,9 \text{ кг погонный метр} = 1272,7 \text{ кг.}$$

2. Прогон швеллера 20У [14],

$$6 \text{ м} \cdot 18,4 \text{ кг погонный метр} \cdot 7 \text{ шт.} = 772,8 \text{ кг.}$$

3. Профнастил Н60–845–07 несущий и кровельный,

где Н60 – марка профнастила;

845 – ширина листа в мм;

0,7 – толщина профнастила в мм;

$$13 \text{ м} \cdot 6 \text{ м} \cdot 8,8 \text{ кг/м}^2 = 686,4 \text{ кг/м}^2.$$

Общая нагрузка на балку с учётом её собственного веса:

$$\sum P(\text{сумма нагрузки}) = 10898,5 \text{ кг.}$$

Расчёт ветровой нагрузки.

Для зданий и сооружений нужно учитывать следующие воздействия ветра:

- 1) основной тип ветровой нагрузки (в дальнейшем – «ветровая нагрузка»);
- 2) пиковые значения ветровой нагрузки, действующие на конструктивные элементы ограждения и элементы их крепления;
- 3) резонансное вихревое возбуждение.

Нормативное значение (w) следует определять как сумму средней w_m и пульсационной w_p составляющих:

$$w = w_m + w_p = 0,34 + 0,27 = 0,61 \text{кПа.}$$

Нормативное значение средней составляющей ветровой нагрузки w_m в зависимости от эквивалентной высоты z_e над поверхностью земли следует определять по формуле:

$$w_m = w_0 k(z_e) c = 0,38 \cdot 0,65 \cdot 1,4 = 0,34 \text{кПа,}$$

где $w_0 = 0,38 \text{кПа}$ – нормативное значение ветрового давления (Таблица 4).

Таблица 4 – Ветровые районы территории РФ

Ветровые районы	Ia	I	II	III	IV	V	VI	VII
w_0 , кПа	0,17	0,23	0,30	0,38	0,48	0,60	0,73	0,85

$c = 1,4$ – аэродинамический коэффициент.

$k(z_e) = 0,65$ – коэффициент учитывающий изменение ветрового давления для высоты z_e , определяется по таблице 5, в которых принимаются следующие типы местности (Таблица 5):

A – открытие побережья морей, озёр и водохранилищ, сельские местности, в том числе с постройками высотой менее 10 м, пустыни, степи, лесостепи, тундра;

B – городские территории, лесные массивы и другие местности, равномерно покрытые препятствиями высотой более 10 м;

C – городские районы с плотной застройкой зданиями высотой более 25 м.

Таблица 5 – Коэффициенты учитывающие изменение ветрового давления

Высота z_e , м	Коэффициент k для типов местности		
	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>
≤5	0,75	0,5	0,4
10	1,0	0,65	0,4
20	1,25	0,85	0,55
40	1,5	1,1	0,8
60	1,7	1,3	1,0
80	1,85	1,45	1,15
100	2,0	1,6	1,25
150	2,25	1,9	1,55
200	2,45	2,1	1,8
250	2,65	2,3	2,0
300	2,75	2,5	2,2
350	2,75	2,75	2,35
≥480	2,75	2,75	2,75

Нормативное значение пульсационной составляющей ветровой нагрузки w_p на эквивалентной высоте z_e следующим определять следующим образом:

$$w_p = w_m \zeta(z_e) v, = 0,34 \cdot 1,06 \cdot 0,76 = 0,27 \text{ кПа}$$

где $w_m = 0,34 \text{ кПа}$,

$\zeta(z_e) = 1,06$ – коэффициент пульсации давления ветра, принимаемый по таблице 2,

$v = 0,76$ – коэффициент пространственной корреляции пульсаций давления ветра.

Пиковая ветровая нагрузка

Рассчитывается для элементов ограждения и узлов их крепления (у нас их нет, поэтому не рассчитывается).

Резонансное вихревое возбуждение

Для зданий и сооружений, удовлетворяющих условию $\frac{h}{d} > 10$, необходимо проводить их поверочный расчёт на резонансное вихревое возбуждение: здесь h – высота сооружения, d – его характерный поперечный размер в направлении, перпендикулярном средней скорости ветра. В нашем случае это условие не выполняется, поэтому расчёт не требуется.

4.2 Расчёт нагрузки от собственного веса конструкции

Расчёт балки и характеристики балки:

1. Момент сопротивления сечения при изгибе:

$$W_x = 2296 \text{ см}^3.$$

2. Модуль продольной упругости [56]:

$$E = 2 \cdot 10^6 \text{ кгс/см}^2.$$

3. Осевой момент инерции [56]:

$$J_x = 62790 \text{ см}^4.$$

4. Допускаемое напряжение изгиба: $\sigma = 1600 \text{ кг}_{\text{силы}}/\text{см}^2$.

5. Нагрузка на единицу длины [56]:

$$g = \frac{P}{l} = \frac{10898,5}{1300} = 8,383 \text{ кгс/см}.$$

Расчёт опорных реакций:

$$R_A = R_B = \frac{g \cdot l}{2} = \frac{8,383 \text{ кгс/см} \cdot 1300}{2} = 5449,2 \text{ кгс.}$$

Максимальный изгибающий момент (рисунок 19):

$$M_{\max} = \frac{g l^2}{8} = 1770908,75 \text{ кгс/см.}$$

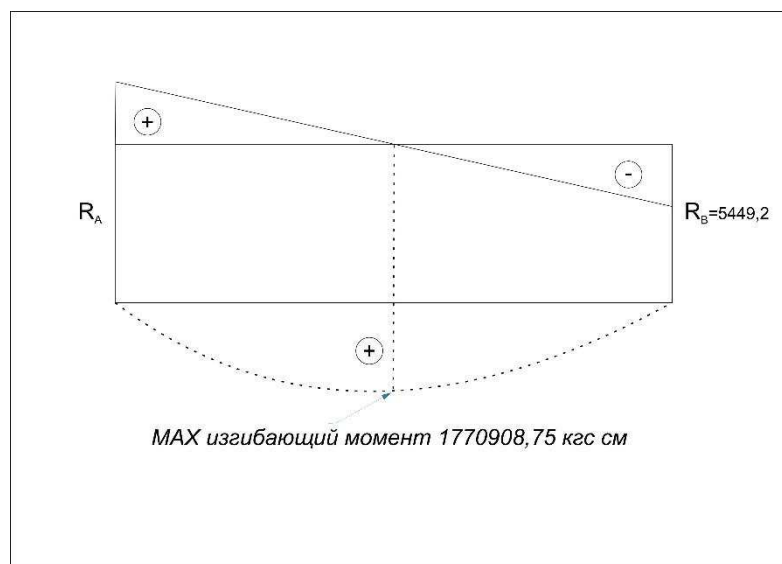


Рисунок 19 – Максимальный изгибающий момент балки

Рассчитываем нормальное напряжение в изгибе:

$$\sigma_{\text{изгиб}} = \frac{M_{\max}}{W_x} = \frac{1770908,75}{2296} = 771,3 \text{ кг/см}^2,$$

где M_{\max} – максимальный изгибающий момент;

W_x – момент сопротивления сечения при изгибе [56].

То есть запас прочности:

$$\frac{\delta_{\text{допускаемое напряжение изгиба}}}{\sigma_{\text{изгиб}}} = \frac{1600}{771,3} = 2,07 \text{ раза} \cdot 100\% = 207\%.$$

Максимальный прогиб балки (рисунок 20):

$$f_{\text{max}} = \frac{5}{384} \cdot \frac{gl^4}{EJ_x} = 0,013 \cdot \frac{8,38 \cdot 1300^4}{2 \times 10^6 \cdot 62790} = 2,47 \text{ см},$$

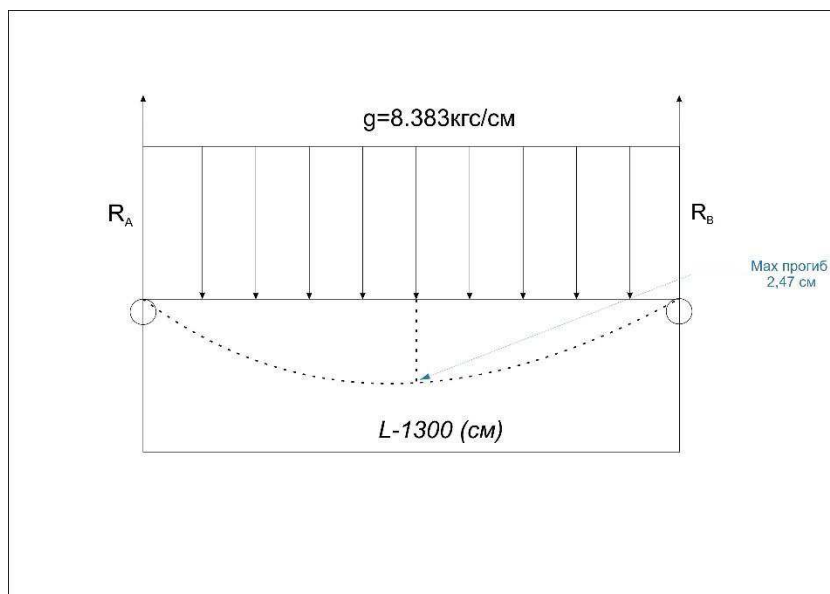


Рисунок 20 – Опорные реакции

где 8,38 – нагрузка на ед. длины; $2 \cdot 10^6$ – модуль продольной упругости; 62790 – осевой момент инерции [56].

Подводя итог из рисунка 21 видно, что самые нагруженные балки в осях 2,3 и 4 т.к. оси 1 и 5 несут половина нагрузки. Оси 2,3 и 4 несут нагрузку 13х6 м (балки). На каждую из этих балок идёт нагрузка 13х6 м.

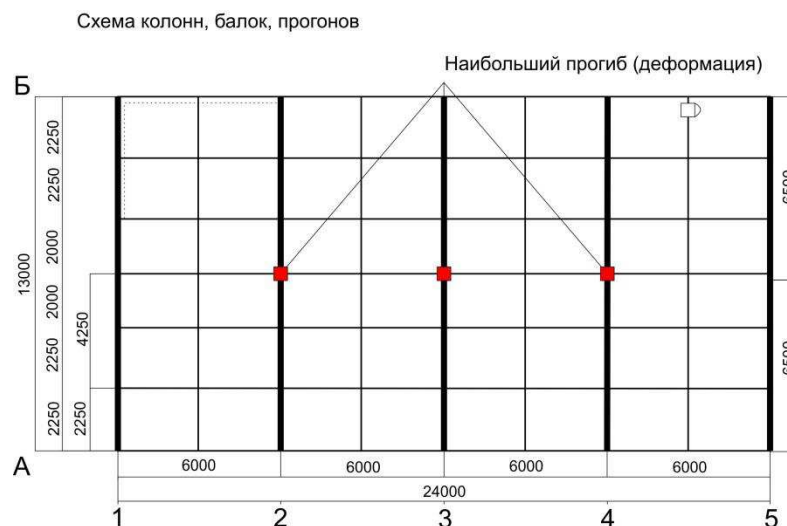


Рисунок 21 – Расположение полномостовых тензометрических датчиков марки СМД–ДТ–2П ПИЖМ.468223.019 на особо напряжённых участках несущих балок при прогибе 2,47 см

Снеговая нагрузка в этих трёх балках 2,3 и 4 составляет 104,7 кг/м².

Нагрузка на балку от собственного веса конструкции, сюда входит:

- вес самой балки;
- прогоны;
- профлист.

Нагрузка на балку от собственного веса 2731,9 кг. Общая нагрузка на балку с учётом её собственного веса составляет 10898,5 кг. Максимальный расчётный изгибающий момент – 771,3 кг/см². Допустимое напряжение изгиба составляет 1600 кг/см², то есть запас прочности составляет в 2 раза больше. Максимальный прогиб балок в осях 2,3 и 4 составляет 2,47 см, то есть датчики деформации можно устанавливать в осях 2,3 и 4 на расстоянии 6,5 м.

Подобным образом инженерной компанией ЗАО НТК «Союзтехнопроект» в здании ТРЦ «Июнь» установлена система мониторинга безопасности крупнопролётных сооружений. Датчики деформации смонтированы на несущих балках (конёк) стеклянной крыши.

Комплексные разработки систем контроля за состоянием крупнопролётных конструкций в настоящее время позволяют своевременно прогнозировать потенциальное разрушение несущих конструктивных узлов, учитывая влияния климатических условий (осадков) и различной природы стихийных бедствий (землетрясений, ураганов и др.). Эта система может использоваться в качестве «сейсмоуловителя», поскольку даже неощутимые человеком и животными колебания земли будут регистрироваться и поступать в мониторинговый центр.

Глава 5 Расчёт рисков обрушения

5.1 Риски и оценка обрушения промышленных зданий и сооружений

В металлургической промышленности наблюдается значительный рост производства продукции не за счет строительства новых производственных площадей, а за счет установки современного, более мощного и совершенного оборудования, технических устройств и агрегатов в ранее построенных зданиях, которые эксплуатируются уже свыше 30 лет. При этом на новом этапе эксплуатации промышленного здания необходимо оценить необходимость усиления и фактическое состояние несущих конструкций с учетом накопленных повреждений, изменившихся нагрузок и условий эксплуатации, а также оценить риск возникновения предполагаемой аварии [58, 6].

Существующие подходы по оценке риска обрушений не отражают реальных условий эксплуатации несущих конструкций каркасов промышленных зданий, особенно для предприятий, где тяжелый режим нагрузки конструкций не снижает общее количество обрушений. Наблюдаемый в РФ рост числа обрушений несущих металлических конструкций и травматизмом доказывает, что обеспечение безопасности эксплуатируемых зданий является одной из актуальнейших проблем на современном этапе [58, 6].

Характеристика балки: $I_{\text{тавр}}35Б2$

1. Момент сопротивления сечения при изгибе: $W_x=662,2 \text{ см}^3$ (ГОСТ 26020–83).
2. Модуль продольной упругости: $E=2 \cdot 10^6 \text{ кгс/см}^2$ [56].
3. Осевой момент инерции: $J_x=11550 \text{ см}^4$ (ГОСТ 26020–83) [56].
4. Допускаемое напряжение изгиба: $\sigma=1600 \text{ кг}_{\text{силы}}/\text{см}^2$ [56].

5. Нагрузка на единицу длины:

$$q \frac{P}{l} = \frac{10190}{1300} = 7,838 \text{ кгс/см. [56].}$$

6. Опорные реакции:

$$R_A = R_B = \frac{q \cdot l}{2} = \frac{7,838 \text{ кгс/см} \cdot 1300}{2} = 5094,99 \text{ кгс.}$$

7. Максимальный изгибающий момент (рисунок 22):

$$M_{max} = \frac{q l^2}{8} = \frac{7,838 \cdot 1300^2}{8} = 16,6 \cdot 10^5 \text{ кгс} \cdot \text{см.}$$

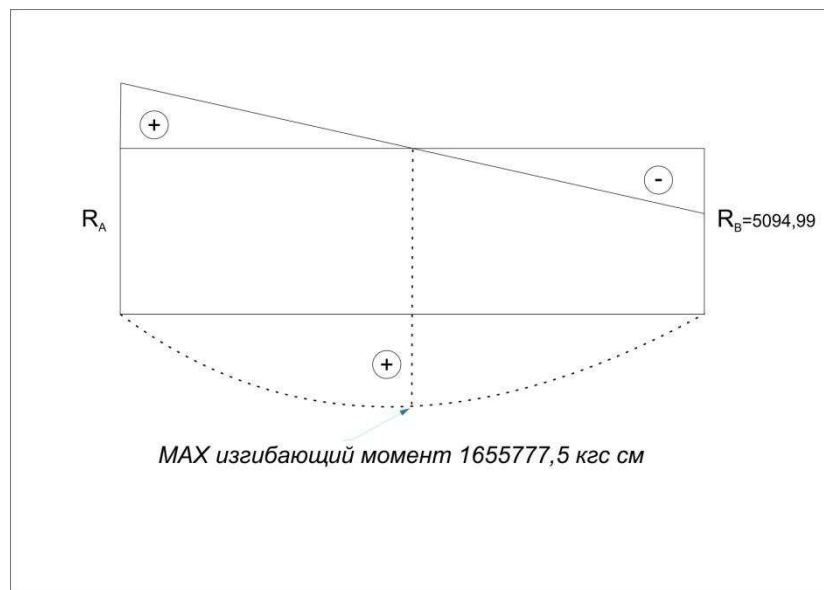


Рисунок 22 – Максимальный изгибающий момент балки

8. Расчёт нормального напряжения в балке:

$$\sigma_{\text{изгиб}} = \frac{M_{max}}{W_x} = \frac{1655777,5}{662,2} = 2500,4 \text{ кг/см}^2,$$

где M_{max} – максимальный изгибающий момент; W_x – момент сопротивления сечения при изгибе. [56].

То есть запас прочности:

$$\frac{\delta_{\text{допускаемое напряжение изгиба}}}{\sigma_{\text{изгиб}}} = \frac{1600}{2500,4} = 0,639 \text{ раза или } 63,9\% .$$

9. Максимальный прогиб балки (рисунок 23):

$$f_{\text{max}} = \frac{5}{384} \cdot \frac{gl^4}{EJ_x} = 0,013 \cdot \frac{7,838 \cdot 1300^4}{2 \times 10^6 \cdot 11550} = 25,9 \text{ см},$$

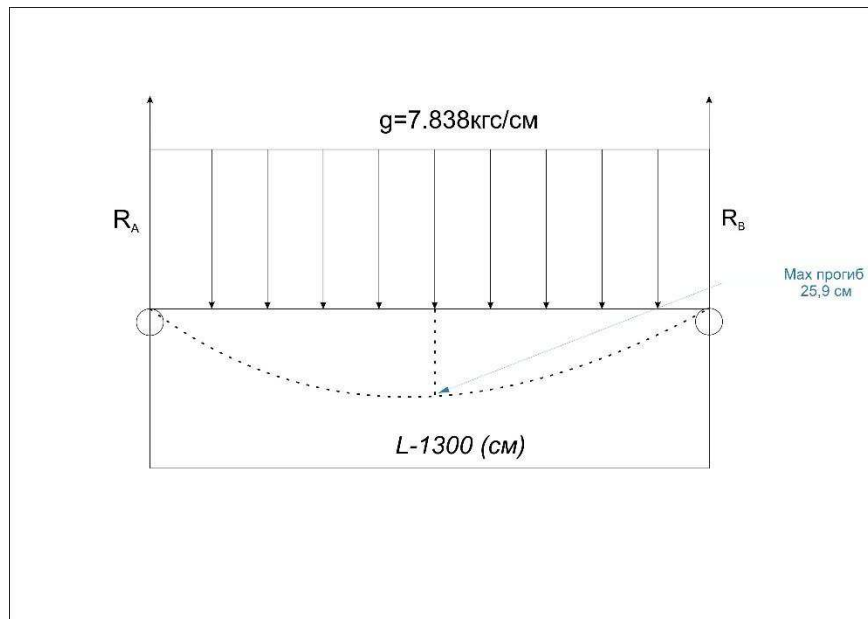


Рисунок 23 – Опорная реакция

где 7,838 – нагрузка на ед. длины; $2 \cdot 10^6$ – модуль продольной упругости; 11550 – осевой момент инерции.

5.2 Риски обрушения конструкции

Причинами обрушений конструкций чаще всего явились ошибки при проектировании, просчёты в определении нагрузок, с неудачными узловыми соединениями, неправильным выбором стали для конкретных условий строительства [10, 60].

Много ошибок допускается при проектировании стальных конструкций неспециализированными сторонними организациями. Однако основными являются дефекты, допускаемые при изготовлении и монтаже стальных конструкций [10, 60].

К числу наиболее часто встречающихся дефектов относятся: неэквивалентная замена материала (класса стали, сечения элементов), изменение проектных размеров конструкций в целом и отдельных элементов, смещение осей от проектных геометрических центров узлов, не прямолинейность (прогнутость) элементов, подрезы металла при сборке, неправильное соединение в монтажных узлах, не обеспечение пространственной жесткости в процессе монтажа, не проектное приложение нагрузки [10, 60, 8].

Исходя из представленного анализа, выделим одну из возможных причин аварии, это ошибка при проектировании стальной конструкции.

Отметим, что надёжность сооружения увеличивается не пропорционально увеличению надёжности конструктивных элементов. Начальный уровень надёжности определяется внутренними параметрами, например, для конструкции это использование качественных материалов, осуществление предупредительных мероприятий, использование эффективных систем контроля технологических процессов. А изменения надёжности сооружения можно добиться, например, повышением качества проектирования, уровнем технологии, обеспеченностью прочности материалов и нагрузок, созданием необходимых резервов, материальных и финансовых ресурсов ликвидации ЧС и т.п [8, 38].

При отказе опорных колонн возможно разрушение несущих элементов конструкции покрытия, образование очага локального обрушения покрытия, разрушение оборудования (кран-балки), деформация несущих балок кровельной конструкции. При ликвидации последствий аварии и восстановлении пострадавшего объекта потребуются:

- расчистка территории (для приведения территории в состояние, пригодное для проведения восстановительных работ);
- разборка, демонтаж конструктивных элементов;
- изготовление и монтаж новой конструкции покрытия;
- восстановление систем и оборудования;
- привлечение дополнительной строительной техники и оборудования, рабочей силы [8, 38].

При отказе одного из узловых соединений несущих балок возможна деформация каркаса покрытия. При ликвидации последствий аварии и восстановлении пострадавшего объекта потребуются:

- подготовка территории строительства;
- разборка, демонтаж конструктивных элементов;
- изготовление и монтаж новых элементов;
- привлечение дополнительной строительной техники и оборудования, рабочей силы [62, 63].

Согласно своду правил СП20.13330.2011 п.12 Гололёдные нагрузки необходимо учитывать для воздушных ЛЭП связи, контактных сетей электрифицированного транспорта, для наземных строений имеющих несущие конструкции и кровлю, расчёт не проводится.

Допустим произошла ошибка при проектировке или при строительстве вместо балки 55Б2 поставили балку 35Б2

Определение собственного веса конструкции крыши:

1. Балка $I_{\text{тавр}}35Б2$ [13],

$$13 \text{ м} \cdot 43,3 \text{ кг погонный метр} = 562,9 \text{ кг.}$$

2. Прогон швеллера 20У [14],

$$6 \text{ м} \cdot 18,4 \text{ кг погонный метр} \cdot 7 \text{ шт.} = 772,8 \text{ кг.}$$

3. Профнастил Н60–845–07 несущий и кровельный,
где Н60 – марка профнастила;

845 – ширина листа в мм;

0,7 – толщина профнастила в мм;

$$13 \text{ м} \cdot 6 \text{ м} \cdot 8,8 \text{ кг/м}^2 = 686,4 \text{ кг/м}^2.$$

4. Расчёт балки и характеристики балки:

- момент сопротивления сечения при изгибе: $W_x=662,2 \text{ см}^3$;
- модуль продольной упругости: $E=2 \cdot 10^6 \text{ кгс/см}^2$ [56];
- осевой момент инерции: $J_x=11550 \text{ см}^4$ [56];
- допускаемое напряжение изгиба: $\sigma=1600 \text{ кг}_{\text{силы}}/\text{см}^2$ [56];
- нагрузка на единицу длины:

$$q = \frac{P}{l} = \frac{10190}{1300} = 7,838 \text{ кгс/см. [56].}$$

Подытожим, наибольшая нагрузка, это опорные реакции в точках *A* и *B* составляет 5094,99 кгс. Минимальная нагрузка в осях 1–5 на расстоянии 6500 мм.

Наибольший изгибающий момент в осях 1–5 на расстоянии 6500 мм составляет 1655777,5 кгс·см.

Согласно расчёта запаса прочности конструкции, можно сделать вывод о том, что в осях (балки) 2, 3 и 4 составит 63,9%, а у осей (балок) 1 и 5 он составит $63,9 \cdot 2 = 127,8\%$. Это говорит о том, что в летний период конструкция будет стоять в напряжённом состоянии, а в зимний период при максимальном прогибе 25,9 см обрушатся балки 2, 3 и 4, а балки 1 и 5 могут устоять в стационарной плоскости (рисунок 24).

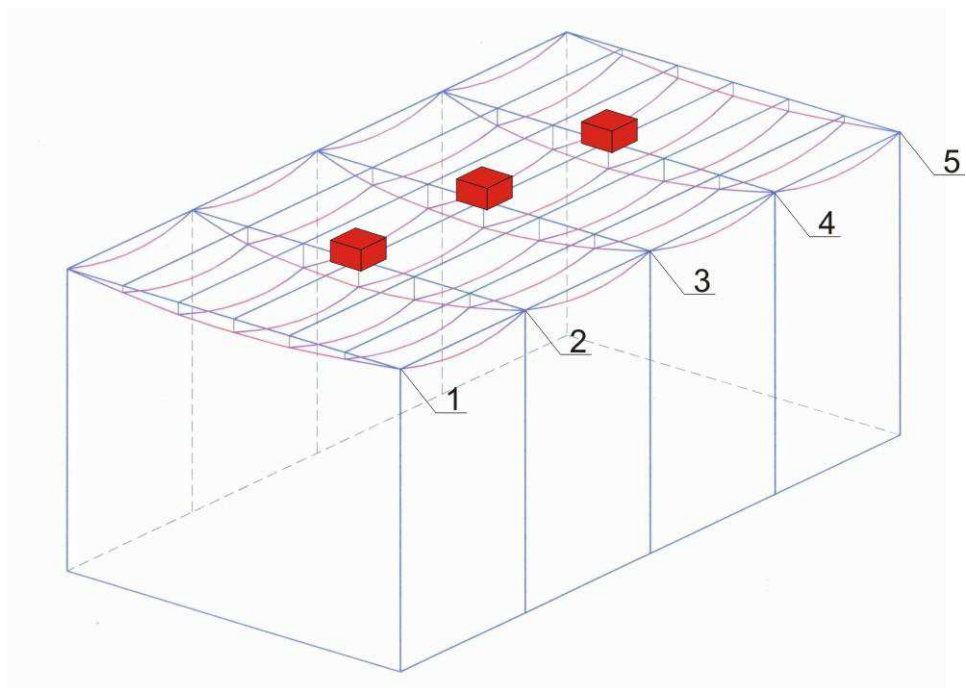


Рисунок 24 – Расположение полномостовых тензометрических датчиков марки СМД–ДТ–2П ПИЖМ.468223.019 на особо напряжённых участках несущих балок при прогибе 25,9 см

Для предотвращения риска обрушения, максимальный прогиб в осях 2–4 на расстоянии 6500 мм должен составлять 2,47 см, а в осях 1 и 5 в 2 раза меньше – $\frac{2,47}{2} = 1,235$ см. Запас прочности составит 2,07 раза в осях 2–4, то есть 207%, а в осях 1 и 5 – $207\% \cdot 2 = 414\%$.

5.3 Сравнительный анализ расчёта части кровельной конструкции ТРЦ «Июнь» с холодным складом металла

Конструкция крыши и выбор кровельного материала определяется на стадии проекта и зависит от дизайна фасада здания и технологии настила кровли. Выбор вида кровли, материалов для ее устройства, ее конструкции, уклона зависит от климатических условий, эксплуатации, архитектурных требований, степени капитальности здания [90].

Кровля — верхний элемент крыши (покрытие), предохраняющий здания от всех видов атмосферных воздействий.

В зависимости от уклона скатов крыши бывают скатные (больше 10%) и плоские (до 2,5%). В индивидуальном жилищном строительстве, как правило, используются скатные и пологоскатные крыши. В плоских крышах возможно образование застоя воды, а в зимний период снега на кровле и, как следствие, появление в этих местах протечек, прогибов и трещин. Достоинством плоских крыш является возможность использования их для различных целей. По конструктивному решению крыши могут быть чердачными (раздельными) и бесчердачными (совмещенными). Чердачные крыши бывают утепленные или холодные. В бесчердачных (совмещенных) крышах несущие элементы служат перекрытием верхнего этажа здания. Бесчердачные крыши бывают вентилируемыми, частично вентилируемыми и невентилируемыми. По условиям эксплуатации крыши бывают эксплуатируемыми и неэксплуатируемыми. Тип крыши в основном определяется ее геометрической формой и материалом кровли. В зависимости от формы крыши могут быть односкатными, двускатными, трех-, четырехскатными, многоскатными [90].

В расчётном анализе рассматривается односкатная и двускатная кровли крупнопролётных сооружений ТРЦ «Июнь» и холодного склада металла. Эти покрытия конструктивно схожи между собой, но различны по использованию материала и усилённости несущих элементов.

Расчёт определения собственного веса конструкции ТРЦ «Июнь»:

1. Балка $I_{\text{тавр}}60Б2$ [13],

$13 \text{ м} \cdot 115,6 \text{ кг погонный метр} = 1502,8 \text{ кг.}$

2. Прогон швеллера 22У [14],

$6 \text{ м} \cdot 21,0 \text{ кг погонный метр} \cdot 7 \text{ шт.} = 882,0 \text{ кг.}$

3. Поликарбонат монолитный кровельный [89];

845 – ширина листа в мм;

12,0 – толщина поликарбоната в мм;

$$13 \text{ м} \cdot 6 \text{ м} \cdot 14,4 \text{ кг/м}^2 = 1123,2 \text{ кг/м}^2.$$

Снеговая нагрузка на балку кровли:

$$13 \text{ м} \cdot 6 \text{ м} \cdot 104,7 \text{ кгс/м}^2 = 8166,6 \text{ кгс/м}^2.$$

Общая нагрузка на балку с учётом её собственного веса:

$$\sum P(1502,8 \text{ кг} + 882,0 \text{ кг} + 1123,2 \text{ кг/м}^2 + 8166,6 \text{ кгс/м}^2) = 11674,6 \text{ кг}.$$

Расчёт балки и характеристики балки:

1. Момент сопротивления сечения при изгибе:

$$W_x = 2936 \text{ см}^3.$$

2. Модуль продольной упругости [56]:

$$E = 2 \cdot 10^6 \text{ кгс/см}^2.$$

3. Осевой момент инерции [56]:

$$J_x = 87640 \text{ см}^4.$$

4. Допускаемое напряжение изгиба: $\sigma = 1600 \text{ кг}_{\text{силы}}/\text{см}^2$.

5. Нагрузка на единицу длины [56]:

$$g = \frac{P}{l} = \frac{11674,6}{1300} = 8,98 \text{ кгс/см.}$$

Расчёт опорных реакций:

$$R_A = R_B = \frac{g \cdot l}{2} = \frac{8,98 \text{ кгс/см} \cdot 1300}{2} = 5837 \text{ кгс.}$$

Максимальный изгибающий момент:

$$M_{\max} = \frac{gl^2}{8} = \frac{8,98 \frac{\text{кгс}}{\text{см}} \cdot 1300^2}{8} = 1897025 \text{ кгс/см.}$$

Рассчитываем нормальное напряжение в балке:

$$\sigma_{\text{изгиб}} = \frac{M_{\max}}{W_x} = \frac{1897025 \text{ кгс/см}}{2936 \text{ см}^3} = 646,1 \text{ кг/см}^2,$$

где M_{\max} – максимальный изгибающий момент;

W_x – момент сопротивления сечения при изгибе [56].

То есть запас прочности:

$$\frac{\delta_{\text{допускаемое напряжение изгиба}}}{\sigma_{\text{изгиб}}} = \frac{1600}{646,1} = 2,47 \text{ раза.}$$

Максимальный прогиб балки:

$$f_{\max} = \frac{5}{384} \cdot \frac{gl^4}{EJ_x} = 0,013 \cdot \frac{8,98 \cdot 1300^4}{2 \times 10^6 \cdot 87640} = 1,90 \text{ см,}$$

Сходимость расчётов на прочность, это равенство внешних и внутренних сил, действующих на здание. Внешние силы, это снег, ветер, лёд и т.д. Внутренние силы, это сопротивление конструкции здания.

Подводя итог по конструкции кровли ТРЦ «Июнь» необходимо отметить, что нагрузка на балку от собственного веса равна 3508 кг. Общая нагрузка на балку с учётом её собственного веса составляет 11674,6 кг. Максимальный расчётный изгибающий момент – 1897025 кгс/см.

Сравнивая конструкцию кровли ТРЦ «Июнь» с холодным складом металла, отметим, что нормальное напряжение в несущих балках не превышает допустимое 1600 кг/см^2 , то есть запас прочности составляет в 2,5 раза или на 19% больше в сравнении с холодным складом.

Максимальный прогиб несущей балки ТРЦ «Июнь» составляет 1,90 см, что говорит о том, что прочностные свойства несущей конструкции ТРЦ «Июнь» выше на 23% в сравнении с кровельной конструкции холодного склада металла.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Анализ рисков аварий зданий и сооружений показывает, что в подавляющем большинстве случаев обрушения являются результатом пересечения двух негативных событий: внешнего непроектного воздействия на объект и человеческого фактора.

В диссертации рассчитана модель управления рисками для крупнопролётных сооружений.

С помощью численного моделирования и расчёта рисков возникновения аварийной ситуации получено допустимое значение прогиба несущих балок без нарушения технологии строительства.

2. Проведённые расчёты показывают граничные условия прогиба несущих балок и, соответственно, количественно представить запас прочности для крупнопролётных сооружений.

3. В результате численного моделирования рекомендованы места установки тензометрических датчиков деформации, что даёт возможность управления рисками при строительстве и реконструкциях крупнопролётных сооружений. Подобным образом датчики деформации установлены в здании ТРЦ «Июнь» на несущих балках (конёк) стеклянной крыши.

4. Комплексные разработки систем контроля за состоянием крупнопролётных конструкций в настоящее время позволяют своевременно прогнозировать потенциальное разрушение несущих конструктивных узлов, учитывая влияния климатических условий (осадков) и различной природы стихийных бедствий (землетрясений, ураганов и др.).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Алексеев С.И. Механика грунтов: учебное пособие для студентов вузов / С.И. Алексеев. – СПб.: Петербургский государственный университет путей сообщения, 2007. – 111 с.
2. Алмазов В.О. «Сопротивление прогрессирующему разрушению: расчеты и конструктивные мероприятия / В.О. Алмазов // Вестник ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко «Исследования по теории сооружений» N1(XXVI), 2009. № 1. – С. 179–194.
3. Алмазов В.О. Предотвращение прогрессирующего разрушения / В.О. Алмазов, М.: МГСУ, ИСА 2006. – 189 с.
4. Алмазов В.О. Проектирование железобетонных конструкций по евро нормам / В.О. Алмазов, М.: Изд-во АСВ, 2007. – 216 с.
5. Архитектура промышленных зданий [электронный ресурс]: Жилые и общественные здания // Курс лекций для студентов строительных специальностей. – Москва, 2011. – Режим доступа: <http://gendocs.ru/v2141/%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%86%D0%B8%D0%B8>.
6. Байбурин Д.А. Методика оценки риска аварии одноэтажных промышленных зданий с учётом локализации обрушения / Д.А. Байбурин // Строительство и архитектура, Челябинск: Вестник ЮУрГУ, 2011, № 16. – С. 4–6.
7. Барабаш М.А. Методика моделирования прогрессирующего обрушения на примере реальных высотных зданий / М.А. Барабаш // Национальный авиационный университет, Киев: 2014. №6. – С. 520–530.
8. Булгаков С.Н., Тамразян А.Г., Рахман И.А., Степанов А.Ю. Снижение рисков в строительстве при чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера / Под общ. ред. А.Г. Тамразяна. - М.: МАКС Пресс, 2004. – 304 с.

9. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятностей / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. – М.: Наука, 1969. – 368 с.
10. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения. - М.: Наука, 1998.
11. Владимиров В.Б., Зарецкий Ю.К., Орехов В.В. Математическая модель мониторинга каменно–земляной плотины гидроузла Хоабинь / В.Б. Владимиров, Ю.К. Зарецкий, В.В. Орехов // Гидротехническое строительство, 2003. № 6. – С. 47–52.
12. Гольдин А.Г., Рассказов Л.Н. Проектирование грунтовых плотин / А.Г. Гольдин, Л.Н. Рассказов, М.: Энергоатомиздат, 1987. – 304 с.
13. ГОСТ 26020–83 Двутавры стальные горячекатаные с параллельными гранями полок.
14. ГОСТ 8240–72 Швеллеры стальные горячекатаные.
15. Градостроительный Кодекс РФ от 29.12.2004 N 190–ФЗ.
16. Гроздов В.Т. и др. Техническое обследование строительных конструкций зданий и сооружений / В.Т. Гроздов, Д.В. Берников, А.Н. Летчфорд, С.А. Платонов, И.П. Яковенко. – Санкт–Петербург: «Центр качества строительства», 1998. – 49 с.
17. Ерёмин А.К. Риск аварийного обрушения металлических каркасов эксплуатируемых одноэтажных промышленных зданий дис. к.т.н.: 05.23.01 / Ерёмин Артём Константинович. – Магнитогорск, 2006. – 133 с.
18. Есипов Ю.В. Интегральные датчики динамической деформации на основе тонких сегнетоэлектрических плёнок для мониторинга сложных механических систем / Ю.В. Есипов, В.М. Мухортов // Журнал технической физики, 2009. Том 79. – С. 82–85.
19. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. – М.: Мир, 1976.
20. Зарецкий Ю.К. Вязкопластичность грунтов и расчеты сооружений / Зарецкий Ю.К., М.: Стройиздат, 1988. – 350 с.

21. Зарецкий Ю.К., Воронцов Э.И., Гарицелов М.Ю. Экспериментальные исследования упругопластического поведения грунтов / Ю.К. Зарецкий, Э.И. Воронцов, М.Ю. Гарицелов // Проектирование и исследование гидротехнических сооружений: тр. Всесоюз. совещ. М.: Энергия, 1980. – С. 189–192.
22. Зарецкий Ю.К., Карабаев М.И., Тверитнев В.П. Математическая модель мониторинга системы «здание ГЭС – грунтовое основание» / Ю.К. Зарецкий, М.И. Карабаев, В.П. Тверитнев // Юбил. сб. науч. тр. Гидропроекта (1930–2000). Вып. 159. М.: АО «Институт Гидропроект», 2000. – С. 692–703.
23. Зарецкий Ю.К., Ломбардо В.Н. Статика и динамика грунтовых плотин / Ю.К. Зарецкий, В.Н. Ломбардо, М.: Энергоатомиздат, 1983. – 255 с.
24. Зарецкий Ю.К., Чумичев Б.Д., Щербина В.И. Прочность и деформируемость горной массы при изменении влажности и условий нагружения / Ю.К. Зарецкий, Б.Д. Чумичев, В.И. Щербина // Сб. науч. тр. Гидропроекта. М., 1993. Вып. 154. С. – 16–22.
25. Келдыш М.В., Свищев Г.П., Авиация в России / М.В. Келдыш, Г.П. Свищев, Справочник. 2–е изд., перераб. М.: Машиностроение, 1988. – 368 с.
26. Кочетков К.Е. и др. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация / К.Е. Кочетков, В.А. Котляревский, А.В. Забегаева, М.: Изд-во Ассоциация строительных ВУЗов, 1995. – 321 с.
27. Маклакова Т.Г. и др. Архитектура зданий / Т.Г. Маклакова, С.М. Нанасова, В.Г. Шарапенко, А.Е. Балакина, Учебник. – М.: Изд-во АСВ, 2004 – 464 с.
28. Маликов Т.Ф. и др. Расчеты упругих тензометрических элементов / Т.Ф. Маликов, А.Л. Шнейдерман, А.М. Шулемович, М.: Машиностроение, 1964. – 190 с.
29. Махеда В.А. Тензометрический метод измерения деформаций / В.А. Махеда, Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2011. – 56.

30. Мельчаков А.П. Оценка надежности возведенных строительных конструкций на основе методов теории размытых множеств // 7-е Уральские академические чтения. Екатеринбург: Изд. УралНИИпроект, 2002.

31. Мельчаков А.П. Прогноз, оценка и регулирование риска аварии зданий и сооружений: Теория, методология инженерные приложения: Монография / А.П. Мельчаков, Д.В. Чебоксаров. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2009. – 113 с.

32. Мельчаков А.П. Расчёт и оценка риска аварии и безопасного ресурса строительных объектов: Теория, методики и инженерные приложения: Уч.пособие / А.П. Мельчаков. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. – 49 с.

33. Мутока К.Н. Живучесть многоэтажных каркасных железобетонных гражданских зданий при особых воздействиях дис. к.т.н.: 05.23.01 / Мутока Кяло Ндунда. – М., 2005. – 185 с.

34. Орехов В.В. Комплекс вычислительных программ «Земля–89» / В.В. Орехов // Исследования и разработки по компьютерному проектированию фундаментов и оснований: межвуз.сб. Новочеркасск, 1990. – С. 14–20.

35. Орехов В.В. Математическое моделирование напряжённо–деформированного состояния системы здания ГЭС – грунтовое основание с учётом поэтапности строительства здания / В.В. Орехов // Основания и фундаменты, подземные сооружения. механика грунтов, М.: Вестник МГСУ, 2014, № 12. – С. 113–120.

36. Постановление правительства РФ от 10 марта 2006 г. № 2883–IV ГД «О неотложных мерах по обеспечению соблюдения требований безопасности при проектировании, строительстве и эксплуатации зданий, строений, сооружений» // Собрания законодательства Российской Федерации от 20 марта 2006 г. № 12. – С. 1270.

37. Проектные решения по системе контроля зданий с массовым пребыванием людей, имеющих крупнопролётные конструкции: отчёт

технического проекта / Хвеженко В.П. – Санкт–Петербург: предприятие радиоэлектроники, микросхемотехники и приборостроения ОАО «Авангард», 2011 г. – 34 с.

38. Райзер В.Д. Теория надежности в строительном проектировании // Монография. -М.: Изд-во АСВ, 1998. -304 с.

39. Расторгуев Б.С. Деформирование конструкций перекрытий каркасных зданий после внезапного разрушения одной колонны / Б.С. Расторгуев, К.Н. Мутока // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений, М.: 2006. №1. – С. 12–15.

40. Расторгуев Б.С. Обеспечение живучести зданий при особых динамических воздействиях / Б.С. Расторгуев // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений, М.: 2003. №4. – С. 45–48.

41. Расторгуев Б.С., Плотников А.И. Расчет несущих конструкций монолитных железобетонных зданий на прогрессирующее разрушение с учетом динамических эффектов // Сборник научных трудов Института строительства и архитектуры МГСУ/ Московский Государственный строительный университет. М., 2008. Вып. 1. – С. 68–75.

42. Рекомендации по технологии возведения монолитных гражданских зданий, М.: ЦНИИЭП жилища, 1981. – 28 с.

43. Русак О.Н. и др. Безопасность жизнедеятельности / О.Н. Русак, К.Р. Малаян, Н.Г. Занько, Спб.: Изд–во «Лань», 2001. – 381 с.

44. Сборщикова С.Б. Основы проектирования, строительства, эксплуатации зданий и сооружений: учебное пособие / С.Б. Сборщикова; М-во образования и науки РФ, Моск. гос. строит. ун-т. М.: Изд-во МГСУ, 2015. – 492 с.

45. Семехин Ю.Г. Безопасность жизнедеятельности для гуманитарных ВУЗов / Ю.Г. Семехин, Ростов–на–Дону: Изд–во Феникс, 2003. – 416 с.

46. Семехин Ю.Г., Бондин В.Н. Безопасность жизнедеятельности / Ю.Г. Семехин, В.Н. Бондин, М.: Изд–во Директ–Медиа, 2015. – 412 с.

47. СНиП 2.01.02–85 Противопожарные нормы.

48. СНиП 21–01–97 Пожарная безопасность зданий и сооружений.
49. СП 20.13330.2011 г. Нагрузки и воздействия.
50. Тамразян, А.Г. Снижение рисков в строительстве при чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера / А.Г. Тамразян, С.Н.Булгаков, под общей ред. А.Г. Тамразяна. – М.: Изд-во АСВ, 2012. – 304 с.
51. Тензометрическое оборудование [электронный ресурс]: Строительный мониторинг зданий и сооружений // Спецификация датчиков деформации плёночного типа. – Санкт-Петербург, 2014. – Режим доступа: <https://electrosam.ru/glavnaja/jelektrooborudovanie/ustrojstva/tenzometricheskie-datchiki-tenzodatchik/>.
52. Тензорезисторы [электронный ресурс]: Безопасность и мониторинг производственных зданий // Терминология строительного мониторинга. – Москва., 2014. – Режим доступа: http://www.lcard.ru/lexicon/r_strain_sens_2x4.
53. Типы общественных зданий [электронный ресурс]: Жилые и общественные здания // Курс лекций для студентов строительных специальностей. – Москва, 2016. – Режим доступа: <http://poznayka.org/s2381t1.html>.
54. Устинов Д.В. Моделирование крупнопролётных выработок на примере подземных ГЭС / Д.В. Устинов // Вестник МГСУ, М.: 2010. №4. – С. 68–74.
55. Федеральный закон РФ №116–ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» (в редакции Федерального закона от 04.03.2013 №22–ФЗ).
56. Фесик С.П. Справочник по сопротивлению материалов / Г.М. Сергеев. – Киев: «Будівельник», 1982. – 308 с.
57. Цитович Н.А. Механика грунтов / Н.А. Цитович – М.: Изд-во Высшая школа, 1973. – 448 с.
58. Четверик Н.П. Управление рисками аварий зданий и сооружений – реалии сегодняшнего дня / Н.П. Четверик // Строительство и архитектура, Челябинск: Вестник ЮУрГУ, 2009, № 14. – С. 11–20.

59. Шапиро Г.И. и др. Методика расчёта монолитных жилых зданий на устойчивость против прогрессирующего обрушения / Г.И. Шапиро, В.В. Гурьев, Ю.А. Эйсман, М.: Изд-во. МНИИТЭП, 2004. – 40 с.

60. Bennet R.M., Ang A.H.-S. Formulation of structural systems reliability//I.of Engineering mechanics. 1986, vol.112 №11, pp.1135-1164.

61. Burnett E. F. P. 1975. The Avoidance of Progressive Collapse: Regulatory Approaches to the Problem. NBS–GCR 75–48. National Bureau of Standards, Washington, D.C.

62. Farivar A.R., Mirghasemi A.A., Mahin Roosta R. Back analysis of Tabarak Abad dam behavior during construction // Proc. of the int. symp. on dams for a changing world – 80th annual meet. and 24th congr. of ICOLD. Kyoto, Japan, 2012. Pp. (4) 13–18.

63. Fintel, M.; Schultz, D. M. 1976. A philosophy for structural integrity of large panel buildings, Journal of the Prestressed Concrete Institute 21(3): 46–69.

64. Gilmour J.D., Viridi K.S. Numerical modelling of the progressive collapse of framed structures as a result of impact or explosion, in Proceedings of the 2nd International PhD Symposium in Civil Engineering, 26–28 August 1998, Budapest, Hungary.

65. Kaewkulchai G.F., Williamson E.D. Dynamic behavior of planar frames during progressive collapse, in Proceedings of the 16th ASCE Engineering Mechanics Conference, 16–18 July 2003, University of Washington, Seattle.

66. Leyendecker, E. V.; Burnett, E. F. P. 1976. The incidence of abnormal loading in residential buildings. National Bureau of Standards, Washington, DC.

67. Leyendecker, E. V.; Ellingwood, B. R. 1977. Design methods for reducing the risk of progressive collapse in buildings. National Bureau of Standards, Washington, DC.

68. McGuire W. 1974. Prevention of Progressive Collapse, in Proceedings of the Regional Conference on Tall Buildings, 23–24 January 1974, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.

69. MGSN 1.01–99. Нормы и правила планировки и застройки участков территорий высотных градостроительных комплексов.
70. MGSN 4.19–2005. Многофункциональные высотные здания и комплексы.
71. Pretlove A.J., Ramsden M.K., Atkins A.G. Dynamic effects in progressive failure of structures, *International Journal of Impact Engineering* 1991, №11. – С. 539–546.
72. STO 008–02495342–2009. Предотвращение прогрессирующего обрушения железобетонных монолитных конструкций зданий.
73. Zheng Dongjian, Zhong Lin. Interface behaviour of Roller concrete dam // *Proc. of the 4th int. conf. on dam engineering. Nanjing, China, A.A.Balkema, 2004. Pp. 1111–1117.*
74. Алисов Б.П. Климат СССР / Б.П. Алисов. – М.: Изд-во МГУ, 1956. – 127 с.
75. Головин В.Ф. Красноярский край / В.Ф. Головин // *Известия Красноярского Отдела всесоюзного географического общества.* – 1960. – Т. 30. — Вып. 1. — С. 61-74.
76. Коляго В.А. Климат Причулымья / В.А. Коляго // *Материалы 3-й научно-теоретической конференции КГПИ.* — Красноярск: Изд-во КГПИ, 1973. — С. 38 — 52.
77. Безруких В.А. Оценка земельных ресурсов Красноярского Причулымья / В.А. Безруких // *Материалы 4-й научно-теоретической конференции КГПИ.* – Красноярск: КГПИ, 1975. — С. 52 — 54.
78. Хромов С.П. Метеорология и климатология / С.П. Хромов. – М.: Гидрометеиздат, 1983. — 456 с.
79. Агроклиматический справочник по Красноярскому краю и Тувинской АО. — Л.: Гидрометеиздат, 1961. — 268 с.
80. Динамика среднемесячных температур и осадков на территории Красноярского края [Электронный ресурс]: база данных за 2013 год //

Гидрометеорологическая служба «gismeteo». — Режим доступа: <http://www.gismeteo.ru>.

81. Динамика среднемесячных температур и осадков на территории Красноярского края [Электронный ресурс]: база данных за 2013 год // Гидрометеорологическая служба «meteo». — Режим доступа: <http://www.meteo.ru>.

82. Колесниченко В.Г. К характеристике зимнего термического режима почв различных природных зон юга Средней Сибири / В.Г. Колесниченко, Ш.Д. Хисматуллин // Почвы мерзлотной области: тезисы докладов Всесоюзной конференции по мерзлотным почвам. — Якутск, 1969. — С. 19 — 20.

83. Экономика Красноярского края [Электронный ресурс]: Концепция социально-экономического развития // «Русская Цивилизация». — Режим доступа: <http://xn--80aa2bkafhg.xn--p1ai/article.php?nid=2600>

84 «Концепция социально-экономического развития Красноярского края на период до 2020 года», утвержденная постановлением администрации края от 15.11.2012 № 537.

85. Шереметова Т.Г. Прогнозирование развития транспортной системы региона: институциональный аспект (на примере Красноярского края): Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата экономических наук / Т.Г. Шереметова / Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН. — Новосибирск, 2004. — 28 с.

86. Красноярский край [Электронный ресурс]: Социально-экономическое развитие Красноярского края. — Режим доступа: www.krskstate.ru.

87. Немировская А.В. Структура и динамика ценностных ориентаций в массовом сознании населения региона в условиях трансформации российского общества: (на материалах исследования в Красноярском крае в 1991-2004 годах): Автореферат диссертации на соискание ученой степени

кандидата социологических наук / Алтайский государственный университет,
- Алтай, 2005. – С 15.

88. Злобин Д.А. Комплексное исследование механизма экономического роста региона (на примере Красноярского края): Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата экономических наук / Д.А. Злобин / Институт проблем региональной экономики РАН. – СПб, 2005. – С 12.


89. ГОСТ Р56712-2015 Панели многослойные из поликарбоната. Технические условия.

90. Строительный справочник материалы – конструкции – технологии [Электронный ресурс]: Классификация крыш: конструкция, виды, формы, элементы // «Общественные здания и сооружения». — Режим доступа: <http://build.novosibdom.ru/node/58>

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Политехнический институт
кафедра «Инженерная экология и безопасность жизнедеятельности»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой


Г.А. Кулагина
« 06 » 2018 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

«Оценка эффективности использования датчиков деформации в целях
повышения безопасности эксплуатации крупнопролетных сооружений»

20.04.01 Техносферная безопасность

20.04.01.03 Чрезвычайные ситуации в техносфере

Научный руководитель


подпись, дата

В. И. Терешков

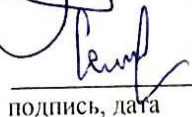
Научный консультант


подпись, дата

к.т.н, доцент

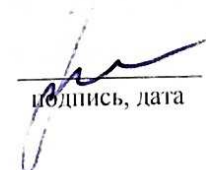
Л. В. Кулагина

Выпускник


подпись, дата

Д. А. Семенякин

Рецензент


подпись, дата

к.т.н, доцент

И. В. Варфоломеев

Красноярск 2018