

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Мосты и тоннели»

Электронный учебно-методический комплекс
по учебной дисциплине

**«ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ОБЕСПЕЧЕНИЯ
НАДЕЖНОСТИ, БЕЗОПАСНОСТИ И
ДОЛГОВЕЧНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ, ЗДАНИЙ
И СООРУЖЕНИЙ»**

для специальности

1-70 80 01 «Строительство зданий и сооружений»

Минск ◊ БНТУ ◊ 2023

Составитель: В.А. Гречухин

Рецензенты:

Заведующий кафедрой «Химической технологии вяжущих материалов» УО БГТУ,
кандидат технических наук, доцент А.А. Мечай;
Начальник отдела инженерных сооружений службы пути Управления Белорусской
железнодорожной Д.В. Черкасов

Диск содержит данные о назначении и содержании дисциплины «Теория и практика обеспечения надежности, безопасности и долговечности конструкций, зданий и сооружений».

В процессе изучения дисциплины магистранты получают знания и умения необходимые для изучения основ научных исследований в области обеспечения надежности строительных конструкций. Для этого в ЭУМК предусматривается комплекс вопросов, касающихся ознакомления с системой научных исследований, получения магистрантами представления и начальных в области надежности зданий и сооружений.

ЭУМК предназначено для магистрантов специальности 1-70 80 01 «Строительство зданий и сооружений».

Требования к системе: IBM PC-совместимый ПК стандартной конфигурации, дисковод CD-ROM, программное обеспечение для работы с файлами PDF.

Открытие ЭУМК производится посредством открытия файла `nadejnost_mit.pdf`.

Белорусский национальный технический университет
пр-т Независимости, 65, г. Минск, Республика Беларусь
Тел. (017) 265 96 77
E-mail: `mit_ftk@bntu.by`
`http://www.bntu.by`
Регистрационный № **БНТУ/**

компьютерный дизайн, 2023

© БНТУ, 2023
© Гречухин В.А., 2023,

Перечень материалов

Учебно-методический комплекс состоит из взаимосвязанных основных методических материалов: конспекта лекций для студентов и списка литературы. В его состав также входят: рабочая программа, типовые вопросы, касающиеся изучения основ успешного освоения учебной программы и получения студентами знаний о надежности, безопасности и долговечности конструкций, зданий и сооружений.

Предложенные материалы являются теоретической основой для решения практических задач, связанных с получением знаний по профильным дисциплинам.

Пояснительная записка

Цели ЭУМК

Цель ЭУМК заключается в подготовке инженера-строителя по специальности 1-70 80 01 «Строительство зданий и сооружений», ознакомить магистрантов с основами научных исследований в области обеспечения надежности строительных конструкций. Для этого в учебной программе предусматривается комплекс вопросов, касающихся ознакомления с системой научных исследований, получения магистрантами представления и начальных в области надежности зданий и сооружений.

Особенности структурирования и подачи учебного материала

ЭУМК включает учебные, научные и методические материалы по дисциплине «Теория и практика обеспечения надежности, безопасности и долговечности конструкций, зданий и сооружений». Состоит из трех разделов: теоретического, практического, контроля знаний и литературы. В теоретический раздел входит краткий курс лекций по изучению дисциплины. Раздел контроля знаний включает вопросы для подготовки к сдаче экзамена. Литература состоит из перечня нормативно-правовых актов по вопросам высшего образования в Республике Беларусь и список литературных источников.

Рекомендации по организации работы с ЭУМК

Электронный документ открывается в среде Windows на IBM PC – совместимом персональном компьютере стандартной конфигурации.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОГЛАВЛЕНИЕ	4
ВВЕДЕНИЕ	5
ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ.....	6
КРАТКИЙ КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ.....	6
Раздел I. Основные положения теории обеспечения надежности строительных конструкций, зданий и сооружений	6
Тема 1. Основные термины и определения. Общие требования.....	6
Тема 2. Общие требования к расчетным моделям.....	15
Определение прочности бетона плит пролетных строений по методу ударного импульса	21
Тема 3. Учет свойств строительных материалов и грунтов	25
Тема 4. Учет условий работы материалов, конструкций и оснований.....	29
Раздел II. Обеспечение безопасности строительных конструкций, зданий и сооружений	31
Тема 5. Учет ответственности сооружений.....	31
Тема 6. Предельные состояния	34
Тема 7. Нагрузки и воздействия	37
Раздел III. Долговечность строительных конструкций, зданий и сооружений	40
Тема 8. Долговечность конструкций и оснований сооружений.....	40
Тема 9. Коррозионные воздействия на строительные конструкции зданий и сооружений	42
Тема 10. Способы и методы защиты строительных конструкций от коррозии	55
Тема 11. Методы оценки и прогнозирования коррозионной стойкости строительных конструкций.....	81
ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ.....	83
КОНТРОЛЬ ЗНАНИЙ	84
ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	84
ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ.....	86
ЛИТЕРАТУРА	88

ВВЕДЕНИЕ

Электронный учебно-методический комплекс по учебной дисциплине «Теория и практика обеспечения надежности, безопасности и долговечности конструкций, зданий и сооружений» разработан в соответствии с требованиями образовательного стандарта высшего образования II ступени по специальности 1-70 80 01 «Строительство зданий и сооружений». Он предусматривает выработку у магистрантов устойчивых навыков в области исследований по обеспечению надежности, безопасности и долговечности конструкций, зданий и сооружений, способствующему дальнейшей работе в области научных исследований.

Цель изучения учебной дисциплины – овладеть необходимыми знаниями в теории обеспечения надежности, безопасности и долговечности строительных конструкций, зданий и сооружений.

В процессе изучения дисциплины «Теория и практика обеспечения надежности, безопасности и долговечности конструкций, зданий и сооружений» магистранты ознакомятся с основами научных исследований, усвоят основную техническую терминологию в сфере надежности, безопасности и долговечности конструкций, зданий и сооружений.

Основными задачи учебной дисциплины является:

- изучение основных положений теории обеспечения надежности строительных конструкций, зданий и сооружений в целом;
- изучения вопросов, касающихся проблем обеспечения безопасности при эксплуатации промышленных и гражданских зданий, гидротехнических и транспортных сооружений;
- изучение методов и способов обеспечения требуемой долговечности при эксплуатации зданий и сооружений.

При написании учебно-методического комплекса использованы материалы, изложенные в учебниках, учебных пособиях, методических указаниях, нормативных документах, научных статьях, материалах научно-практических конференций. Настоящий учебно-методический комплекс отражает опыт преподавания данной дисциплины, накопленный на кафедре «Мосты и тоннели» БНТУ.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

КРАТКИЙ КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

Раздел I. Основные положения теории обеспечения надежности строительных конструкций, зданий и сооружений

Тема 1. Основные термины и определения. Общие требования

На рисунке 1 представлено фото моста через реку в Пинском районе



Рисунок 1.1. Мост через реку (фото автора)

Общие термины

Общие термины и определения, применяемые в курсе обеспечения надежности строительных конструкций, зданий и сооружений приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1. Общие термины и определения

Термин	Определение
агрессивная среда	Среда эксплуатации, вызывающая уменьшение сечений и деградацию свойств материалов во времени
деградация свойств материалов во времени	Постепенное понижение уровня эксплуатационных характеристик материалов, процесс их изменения в сторону ухудшения относительно проектных значений
долговечность	Способность строительного объекта сохранять прочностные, физические и другие свойства, устанавливаемые при проектировании и обеспечивающие его нормальную эксплуатацию в течение расчетного срока службы
надежность	Способность строительного объекта выполнять требуемые функции в течение расчетного срока эксплуатации
нормативный документ	Документ, доступный широкому кругу потребителей и устанавливающий правила, общие принципы и характеристики, касающиеся определенных видов деятельности в области строительства и их результатов
нормальная эксплуатация	Эксплуатация строительного объекта в соответствии с условиями, предусмотренными в строительных нормах или задании на проектирование, включая соответствующее техническое обслуживание, капитальный ремонт и реконструкцию
основание	Часть массива грунта, взаимодействующая с конструкцией сооружения, воспринимающая воздействия, передаваемые через фундамент и подземные части сооружения и передающие на сооружение техногенные и природные воздействия от внешних источников
отказ	Состояние строительного объекта, при котором не выполняются одно или несколько условий предельных состояний

расчетный срок службы	Установленный в строительных нормах или в задании на проектирование период использования строительного объекта по назначению до капитального ремонта и (или) реконструкции с предусмотренным техническим обслуживанием. Расчетный срок службы отсчитывается от начала эксплуатации объекта или возобновления его эксплуатации после капитального ремонта, или реконструкции
срок службы	Продолжительность нормальной эксплуатации строительного объекта с предусмотренным техническим обслуживанием и ремонтными работами (включая капитальный ремонт) до состояния, при котором его дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна
конструкция	Часть сооружения, выполняющая определенные функции несущих или ограждающих конструкций или являющаяся декоративным элементом
сооружение	Результат строительной деятельности, предназначенный для осуществления определенных потребительских функций
строительный материал	Материал, предназначенный для возведения сооружений
строительный объект	Строительное сооружение, здание, строительная конструкция, строительное изделие или основание
содержание и текущий ремонт	Комплекс мероприятий, осуществляемых в период расчетного срока службы строительного объекта, обеспечивающих его нормальную эксплуатацию
технический мониторинг	Систематическое наблюдение за состоянием конструкций в целях контроля их качества, оценки соответствия проектным решениям и нормативным требованиям, прогноза фактической несущей способности и прогнозирования на этой основе остаточного ресурса сооружения

Термины расчетных положений

Термины расчетных положений и их определения приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2. Термины расчетных положений

Термин	Определение
воздействия	Температура, окружающая среда, ветер, осадка оснований, смещение опор, деградация свойств материалов во времени и другие эффекты, вызывающие изменение напряженно-деформированного состояния конструкций
конструктивная система	Совокупность взаимосвязанных строительных конструкций и основания
нагрузки	Внешние механические силы (вес конструкций, оборудования, людей, снегоотложения и др.), действующие на строительные объекты
несущая способность	Максимальный эффект воздействия, реализуемый в строительном объекте без превышения предельных состояний
нормативные характеристики физических свойств материалов	Физико-механические характеристики, устанавливаемые в нормативных документах или технических условиях и контролируемые при их изготовлении, при строительстве и эксплуатации строительного объекта
обеспеченность	Вероятность благоприятной реализации значения переменной случайной величины. - вероятность непревышения заданного значения; для характеристик материалов "обеспеченность" - вероятность значений, меньших или равных заданным
переменные параметры	Используемые при расчете строительных объектов физические величины (воздействия, характеристики материалов и грунтов), значения которых изменяются в течение расчетного срока эксплуатации или имеют случайную природу

предельное состояние строительного объекта	Состояние строительного объекта, при превышении характерных параметров которого эксплуатация строительного объекта недопустима, затруднена или нецелесообразна
прогрессирующее (лавинообразное) обрушение	Последовательное (цепное) разрушение несущих строительных конструкций, приводящее к обрушению всего сооружения или его частей вследствие начального локального повреждения
расчетная схема (модель)	Модель конструктивной системы, используемая при проведении расчетов
расчетные критерии предельных состояний	Соотношения, определяющие условия реализации предельных состояний
расчетные ситуации	Учитываемый при расчете сооружений комплекс наиболее неблагоприятных условий, которые могут возникнуть при его возведении и эксплуатации
коэффициенты надежности	Коэффициенты, учитывающие возможные неблагоприятные отклонения значений нагрузок, характеристик материалов и расчетной схемы строительного объекта от реальных условий его эксплуатации, а также уровень ответственности строительных объектов. Вводится 4 типа коэффициентов надежности: <ul style="list-style-type: none"> - коэффициенты надежности по нагрузке, - коэффициенты надежности по материалу, - коэффициенты условий работы, - коэффициенты надежности по ответственности сооружений
результат (эффект) воздействия	Реакция (внутренние усилия, напряжения, перемещения, деформации) строительных конструкций на внешние воздействия

Общие требования при обеспечении надежности

Для мостовых сооружений устанавливаются три уровня ответственности, которые учитываются коэффициентом надежности по ответственности γ_n . Значения коэффициента γ_n следует принимать по таблице 1.3.

Таблица 1.3. Значения коэффициента γ_n

Уровень ответственности	Характеристика сооружений	Коэффициент надежности по ответственности γ_n
I (повышенный)	Мосты высокой экономической и социальной значимости: служат безальтернативным путем сообщения; мосты большие и средние; мосты с пролетами 40 м и более; мосты метрополитенов; мосты на железных дорогах	1,05
II (нормальный)	Все мосты, которые не отнесены к I и III классам	1,0
III (пониженный)	Временные мосты	0,90

Коэффициент надежности по ответственности учитывается при расчетах умножением внутренних сил и перемещений конструкций и оснований, вызываемых нагрузками и воздействиями.

Предотвращение разрушения сооружения или ограничение последствий от воздействий должно обеспечиваться следующими условиями:

- применением конструктивных схем и конструкций, которые позволяют уменьшить риск повреждения или уничтожения конструктивных элементов сооружения;

- статическая схема сооружений должна минимально реагировать на непредвиденные воздействия;

- конструкции должны быть долговечными, ремонтпригодными и доступными для осмотра и выполнения работ по текущему ремонту и содержанию.

Требования надежности обеспечиваются при проектировании мостов и труб.

Класс сооружений устанавливается в задании на проектирование генпроектировщиком по согласованию с заказчиком в соответствии с классификацией.

Основным условием надежности строительных объектов являются выполнения требований (критериев) для всех учитываемых предельных состояний при действии наиболее неблагоприятных сочетаний расчетных нагрузок в течение расчетного срока службы. В таблице 1.4 приведены стадии обеспечения надежности строительных конструкций

Таблица 1.4. Стадии обеспечения надежности строительных конструкций

Стадии обеспечения надежности строительных конструкций				
разработка общей концепции сооружения	проектирование	изготовление конструктивных элементов	строительство	эксплуатация

При особых воздействиях надежность строительных конструкций дополнительно следует обеспечивать за счет проведения одного или нескольких специальных мероприятий, приведенных в таблице 1.5.

Таблица 1.5. Специальные мероприятия

Мероприятия для обеспечения надежности строительных конструкций при особых воздействиях		
выбор материалов и конструктивных решений, которые при аварийном выходе из строя или локальном повреждении отдельных несущих элементов конструкций не приводят к прогрессирующему обрушению сооружения	предотвращение или снижение возможности реализации подобных воздействий на несущие конструкции	использование комплекса специальных организационных мероприятий, обеспечивающих ограничение и контроль доступа посторонних лиц к основным несущим конструкциям сооружения

Принятые проектные и конструктивные решения должны быть обоснованы результатами расчета по предельным состояниям сооружений в целом, их конструктивных элементов и соединений, а также, при необходимости, данными экспериментальных исследований, в результате которых устанавливают основные параметры строительных объектов, их несущую способность и воспринимаемые ими воздействия.

Для сооружений класса КС-3, при проектировании которых использованы не апробированные ранее конструктивные решения или для которых не существует надежных методов расчета, необходимо использовать данные экспериментальных исследований на моделях или натурных конструкциях.

При проектировании и возведении сооружений необходимо учитывать их влияние на изменение условий эксплуатации и работы конструкций близлежащих сооружений, а также экологии окружающей среды.

При проектировании конструкций, воспринимающих динамические и циклические нагрузки или воздействия, при необходимости, следует применять специальные меры защиты (гасители колебаний, перфорация ограждающих конструкций, виброизоляция и др.). Проектирование конструктивных элементов, воспринимающих циклические нагрузки, должно проводиться с учетом результатов их поверочного расчета на выносливость и усталостную прочность.

При расчете конструкций должны быть рассмотрены расчетные ситуации, приведенные в таблице 1.6.

Таблица 1.6. Расчетные ситуации

Расчетные ситуации	Характеристика
установившаяся	имеющая продолжительность, близкую к сроку службы строительного объекта (например, эксплуатация между двумя капитальными ремонтами или изменениями технологического процесса)
переходная	имеющая небольшую по сравнению со сроком службы строительного объекта продолжительность (например, изготовление, транспортирование, монтаж, капитальный ремонт и реконструкция строительного объекта)
аварийная	соответствующая исключительным условиям работы сооружения, которые могут привести к существенным социальным, экологическим и экономическим потерям

Для каждой учитываемой расчетной ситуации надежность строительных конструкций должна быть обеспечена за счет:

- расчета сооружения в целом и его отдельных конструктивных элементов по всем учитываемым предельным состояниям;
- выбора и контроля исполнения оптимальных конструктивных решений, материалов, технологических процессов изготовления и монтажа строительных конструкций;

- создания условий, гарантирующих нормальную эксплуатацию строительных объектов;
- контроля технического состояния сооружения в целом и его отдельных конструктивных элементов;
- проведения организационных мероприятий, направленных на снижение возможности возникновения аварийных ситуаций и прогрессирующего обрушения сооружений.

Тема 2. Общие требования к расчетным моделям

Общие требования к расчетным моделям

Расчетные модели (расчетные схемы) строительных объектов должны отражать действительные условия их работы и соответствовать рассматриваемой расчетной ситуации. При этом должны быть учтены конструктивные особенности строительных объектов, особенности их поведения вплоть до достижения рассматриваемого предельного состояния, а также действующие нагрузки и воздействия, в том числе влияние на строительный объект внешней среды, а также возможные геометрические и физические несовершенства.

В частности, при проведении обследования сооружений определению реальных характеристик элементов сооружения посвящается целая глава.

Пример из отчета по обследованию моста через реку Черная

Результаты контрольных измерений и инструментальной съёмки

В составе настоящего обследования были выполнены контрольные измерения и инструментальная съёмка конструкций сооружения.

Нивелирование конструкций сооружения

В качестве временного репера с отметкой 10 000 мм принят верх начала поручня перильного ограждения в начале моста слева.



Рисунок 2.1 – Временный репер ВР1. Верх первой стойки барьерного ограждения в начале моста слева

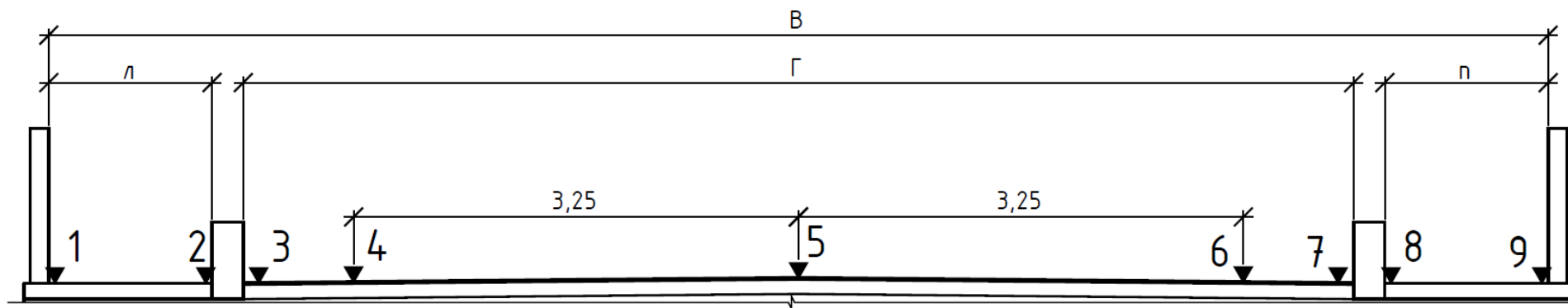
Таблица 2.1 Результаты определения толщины покрытия.

Сечение	Толщина покрытия, мм		
	лев. п.ч.	центр	прав. п.ч.
ОП2	320	463	364
ОП3	303	411	244

Покрытие на тротуарах отсутствует.

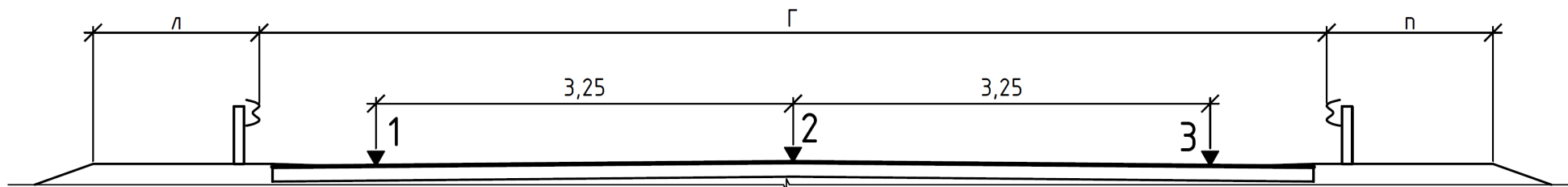
Таблица 2.2 Результаты определения высоты барьерных и перильных ограждений

Сечение	Высота ограждения, мм			
	лев. пер.	лев. Б.О.	прав. Б.О.	прав. пер.
ОП1-15		753	808	
ОП1-5		780	761	
ОП1	1084	407	471	994
ОП2	1056	410	459	958
ОП3	1028	420	522	980
ОП4	1033	443	503	939
ОП5+5		784	775	
ОП5+15		812	814	



Сечение	Мостовое полотно													Расстояния, м			
	лев. прот.			проезжая часть						прав. прот.							
	1	уклон, %	2	3	4	уклон, %	5	уклон, %	6	7	8	уклон, %	9	л	Г	п	В
ОП1	9331	8	9337	9323	9357	39	9484	21	9415	9385	9340	16	9327	0,75	8,85	0,83	11,00
ОП2	9332	8	9338	9322	9357	25	9439	19	9377	9315	9315	7	9320	0,80	8,80	0,76	10,97
ОП3	9346	18	9332	9306	9352	20	9418	22	9346	9255	9336	27	9356	0,78	8,89	0,75	10,96
ОП4	9317	19	9302	9305	9323	25	9403	29	9309	9231	9319	6	9324	0,80	8,87	0,87	11,13

Рисунок 2.2 – Результаты нивелировки мостового полотна. Поперечные уклоны

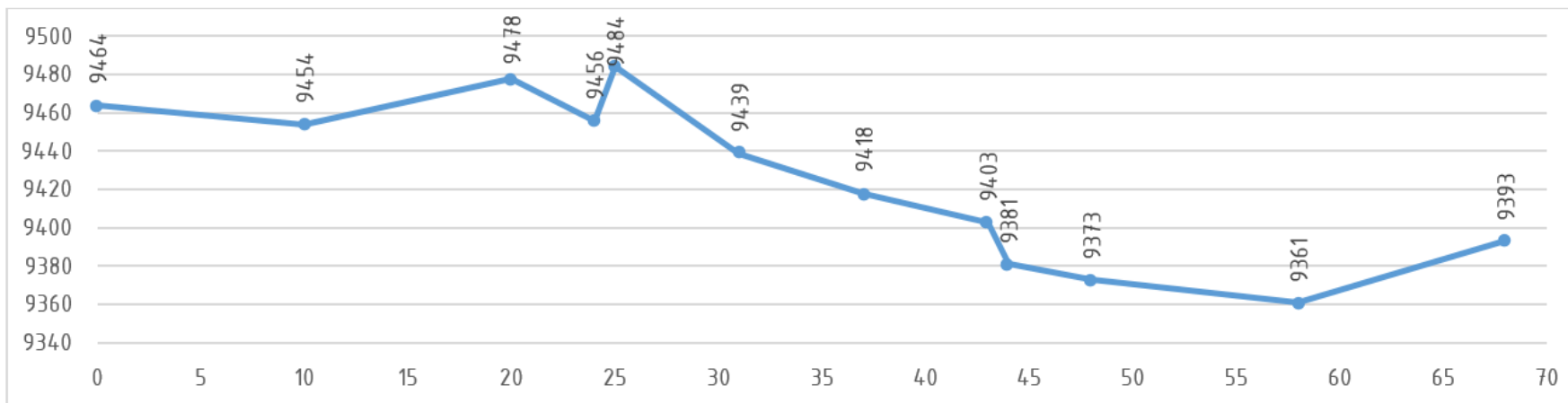


Сечение	Дорожное полотно на подходах						Расстояния, м			
	проезжая часть						л	Г	п	
	1	уклон, %		2	уклон, %					3
ОП1-25	9311	47		9464	30		9367			
ОП1-15	9363	28		9454	33		9347	3,60	9,17	3,40
ОП1-5	9341	42		9478	17		9424		9,18	
ОП1-1	9352	32		9456	18		9396			
ОП4+1	9300	25		9381	29		9288			
ОП4+5	9279	29		9373	30		9276		9,15	
ОП4+15	9223	42		9361	31		9261	3,00	9,20	3,90
ОП4+25	9202	59		9393	31		9292			

Рисунок 2.3 – Результаты нивелировки дорожного полотна на подходах к мосту. Поперечные уклоны

← г. Минск

пос. Нарочь →



Участок	Подход НМ				Мост						Подход КМ	
	ОП1-25	ОП1-15	ОП1-5	ОП1-1	ОП1	ОП2	ОП3	ОП4	ОП4+1	ОП4+5	ОП4+15	ОП4+25
Расстояние, м	10,0	10,0	4,0	1,0	6,0	6,0	6,0	6,0	1,0	4,0	10,0	10,0
Отметки, мм	9464	9454	9478	9456	9484	9439	9418	9403	9381	9373	9361	9393
Уклоны, %												
	1	2	6	28	8	4	3	22	2	1	3	

Рисунок 2.4 – Продольный профиль по оси мостового полотна и подходов

[К оглавлению](#)

- продольные уклоны на сооружении составляют 3–28‰ и на сопрягающих участках подхода №1 составляют от 1 до 6‰, подхода №2 от 1 до 22 ‰. Максимальный перелом продольного профиля по оси проезда над опорой №1 составляет 28‰ и в 1 м от опоры №4 – 22‰;

- поперечные уклоны покрытия ездового полотна сооружения составляют: на опоре №1 – 21‰ с верховой стороны и 39‰ с низовой стороны, на опоре №2 – 19‰ и 25‰, опоре №3 – 22‰ и 20‰, опоре №4 – 29‰ и 25‰ соответственно, профиль покрытия двухскатный. Поперечные уклоны тротуаров на сооружении находятся в пределах 6-27‰;

- толщина слоев на ездовом полотне сооружения составила от 244 мм до 463 мм, осредненная толщина слоев на ездовом полотне принята 350 мм.

Результаты контрольных измерений элементов мостового полотна, сопрягающих участков подходов и конструкций сооружения

Цель работы – определение линейных размеров конструкций сооружения, подходов и их соответствия требованиям СН 3.03.01-2019 и ТКП 45-3.03-19.

Мостовое полотно (таблица 3.2):

- габарит мостового полотна Г–8,80 м **соответствует требованиям** нормативных документов. Требуемый габарит (Г-8) для мостов на дорогах IV категории, число полос движения – 2;

- ширина тротуаров с верховой и низовой стороны – 0,75 м;

- дорожное ограждение ездового полотна– железобетонный парапет– имеет высоту (0,41-0,52 м). Требуемая высота ограждения – 0,75 м с предельными отклонениями ± 3 см (п. 11.5.17, ТКП 376). Конструкция ограждения ездового полотна **не соответствует требованиям** нормативных документов;

- требуемая высота перильного ограждения – 1,1 м с предельными отклонениями ± 3 см (п. 11.5.17, ТКП 376). Высота перильного ограждения с верховой стороны моста 1,028-1,084 м и с низовой стороны моста 0,939-0,994 м, что меньше требуемой. Конструкция перильного ограждения **не соответствует требованиям** нормативных документов.

Подходы к сооружению:

- ширина земляного полотна на подходе №1 к сооружению составляет 15,37 метров, в т. ч. проезжей 9,17 м, на подходе №2 – 15,3 метров, в т. ч. проезжей 9,2 м.

Номинальные и фактические размеры конструкций опор, пролетного строения и элементов мостового полотна, полученные в результате измерений, приведены в разделе 2 настоящего отчета.

Определение фактической глубины р. Чёрная

В рамках проведения контрольных измерений был выполнен контрольный промер глубин русла реки, максимальная глубина составила 0,44 м в середине моста с низовой стороны.

Во время настоящего обследования не выявлено общих и местных размывов дна реки в месте мостового перехода.

Определение прочности бетона плит пролетных строений по методу ударного импульса

Прочность бетона плит пролетных строений определяли в соответствии с требованиями СТБ 2264 по методу ударного импульса с использованием склерометра «BetonCondrol», аттестованного в установленном порядке (номер свидетельства о калибровке №211-18 от 25.10.2018 г).

На подготовительном этапе поверхности бетонных плит на участках контроля зашлифовывались алмазным инструментом.

Результаты испытаний приведены в таблице 2.3.

Согласно требованиям СТБ 2264-2012 оценка прочности бетона на сжатие произведена по ГОСТ 18105-2010. Материал плит принят, как бетон тяжелый на гранитном заполнителе.

$$B_{\phi}=0,8R_m, \quad (2.1)$$

где B_{ϕ} – фактический класс бетона;

R_m – фактическая средняя прочность бетона отдельной партии, МПа. Средние значения прочности исследуемых конструкций и фактический класс бетона плит пролетного строения приведены в таблице 3.3.

Таблица 2.3 Результаты испытаний прочности бетона конструкций

№ п/п	Дата, мес. год	Прочность R_m , МПа	Фактический класс, B_{ϕ}	Ближайший класс бетона по прочности на сжатие по СТБ 2221	Объект исследований
1	10.2022	23,1	18,5	B15	Насадка опоры №3
2	10.2022	49,7	39,7	B35	Плита Пр11, пролет №2
3	10.2022	49,6	39,7	B35	Плита П10, пролет №2
4	10.2022	28,2	22,6	B20	Свая С5 опоры №3

Фактическая прочность бетона на неразрушенных участках соответствует требованиям современных ТНПА.

Оценка коррозионного состояния стальной арматуры плитных пролетных строений

В результате визуального осмотра плит в пролетах №№ 1-3 выявлена коррозия рабочей арматуры с потерей площади сечения до 30% и размораживание бетона на глубину до 50 мм.

Для оценки коррозионного состояния ненапрягаемой арматуры выполнено измерение диаметра рабочей арматуры в плитах пролетных строений.

Выявленная коррозия учтена при расчете прочностных характеристик пролетных строений.

Выводы: коррозия ненапрягаемой арматуры вызвана фильтрацией стоков на ребра плит через поврежденную конструкцию гидроизоляции. Необходимо проведение ремонта с переустройством системы водоотвода и устройством нового гидроизоляционного ковра на всем сооружении.

Выводы по результатам проведенных инструментальных исследований

Существующий габарит ездового полотна Г-8,80 м **соответствует требованиям** нормативных документов. Требуемый габарит (Г-8) для мостов на дорогах IV категории, число полос движения – 2.

Толщина слоев ездового полотна – 35 см, что больше 25 см и **не соответствует требованиям** нормативных документов.

Конструкция ограждения ездового полотна **не соответствует требованиям** нормативных документов.

Высота перильного ограждения с верхней стороны моста 1,028-1,084 см и с нижней стороны моста 0,939-0,994 м меньше требуемой – 1,1 м с предельными отклонениями ± 3 см (п. 11.5.17, ТКП 376). Конструкция перильного ограждения **не соответствует требованиям** нормативных документов.

Во время настоящего обследования не выявлено общих и местных размывов дна канала.

Согласно требованиям СН 3.03.01-2019 класс бетона по прочности на сжатие для железобетонных конструкций с ненапрягаемой арматурой при расположении в пролетных строениях должен быть не ниже В30 (С25/30) по СТБ 2221. Фактическая прочность бетона на неразрушенных участках соответствует требованиям современных ТНПА.

Коррозия ненапрягаемой арматуры вызвана фильтрацией стоков на ребра плит через поврежденную конструкцию гидроизоляции. Необходимо проведение ремонта с переустройством системы водоотвода и устройством нового гидроизоляционного ковра на всем сооружении.

Конец примера.

Расчетная схема включает в себя:

- расчетные модели нагрузок и воздействий;
- расчетные модели, описывающие напряженно-деформированное состояние элементов конструкций и оснований;
- расчетные модели сопротивления.

Расчетные модели нагрузок должны включать в себя их интенсивность (величину), место приложения, направление и продолжительность действия.

Для динамических воздействий, кроме того, должны быть заданы закон изменения нагрузки во времени или характерные частоты и, при необходимости, фазовые углы и спектральные характеристики (энергетический спектр, авто- и взаимные корреляционные функции). В некоторых случаях необходимо учитывать зависимость воздействий от реакции сооружения (например, аэроупругие эффекты при взаимодействии потока ветра с гибкими сооружениями). В случае если невозможно точно описать параметры нагрузок, целесообразно проведение нескольких расчетов с различными допущениями.

Расчетные модели напряженно-деформированного состояния должны включать в себя определяющие соотношения, описывающие:

- реакцию сооружений и их конструктивных элементов при динамических и статических нагрузках;
- условия взаимодействия конструктивных элементов между собой и с основанием. При этом должны быть установлены:
 - упругие или неупругие характеристики конструктивных элементов и основания;
 - параметры, характеризующие геометрически линейную или нелинейную работу конструкций;
 - физические и реологические свойства, эффекты деградации.

Расчетные модели сопротивления строительных конструкций должны включать в себя:

- расчетные модели местной прочности и устойчивости, модели прочности и устойчивости элемента, модели общей устойчивости строительного объекта;
- расчетные модели мгновенной прочности и модели, учитывающие накопление повреждений во времени;
- расчетные модели прочности и деформирования основания.

В некоторых случаях, устанавливаемых в задании на проектирование, расчет необходимо выполнять с использованием данных экспериментальных исследований реальных строительных конструкций или моделей строительных объектов. Подготовку и проведение подобных испытаний, а также оценку полученных результатов следует осуществлять так, чтобы условия эксперимента были подобны условиям работы проектируемой конструкции (во время ее эксплуатации и возведения). Условия, которые не моделируются в процессе проведения эксперимента (например,

долговременные характеристики), необходимо учитывать при проектировании на основе анализа полученных результатов и, при необходимости, за счет использования коэффициентов надежности.

Тема 3. Учет свойств строительных материалов и грунтов

Основные и дополнительные нормативные значения характеристик строительных материалов и грунтов

Свойства строительных материалов и грунтов

Основными характеристиками прочности служат нормативные значения прочностных характеристик.

Для материалов, прошедших приемочный контроль или сортировку, обеспеченность нормативных значений их прочностных характеристик должна быть не ниже 0,95.

Нормативные характеристики материалов и грунтов, а также их изменчивость следует определять на основе результатов испытаний соответствующих образцов или методами неразрушающего контроля. Испытания необходимо проводить на образцах, представляющих рассматриваемую совокупность (партию) материалов с учетом условий их изготовления, приемки и поставки.

При назначении расчетных характеристик материалов следует учитывать возможные отличия свойств материала в образцах и реальных конструкциях (размерные эффекты, изменение свойств во времени, различия температурных условий и т.п.).

Пример определения характеристик материалов.

Определение прочности бетона балок пролетных строений по методу ударного импульса

Прочность бетона балок пролетных строений определяют в соответствии с требованиями СТБ 2264 по методу ударного импульса с использованием склерометра «BetonCondrol», аттестованного в установленном порядке (номер свидетельства о калибровке №211-18 от 25.10.2018 г).

На подготовительном этапе поверхности бетонных балок на участках контроля зашлифовывались алмазным инструментом.

Результаты испытаний приведены в таблице.

Согласно требованиям СТБ 2264 оценка прочности бетона на сжатие произведена по ГОСТ 18105. Материал балок принят, как бетон тяжелый на гранитном заполнителе.

$$B_{\phi}=0,8R_m, \quad (3.1)$$

где B_{ϕ} – фактический класс бетона;

R_m – фактическая средняя прочность бетона отдельной партии, МПа. Средние значения прочности исследуемых конструкций и фактический класс бетона балок пролетного строения приведены в таблице.

Таблица 3.1. Результаты испытаний прочности бетона конструкций

№ п/п	Дата, мес. год	Прочность R_m , МПа	Фактический класс, V_f	Ближайший класс бетона по прочности на сжатие по СТБ 2221-2011	Объект исследований
1	04.2022	33,6	26,9	B25	Опора №1, свая №4
2	04.2022	25,2	20,2	B20	Насадка опоры №1
3	04.2022	34,8	27,8	B25	Балка Б2, пролет №1
4	04.2022	30	24,0	B20	Балка Б1, пролет №1
5	04.2022	33,2	26,6	B25	Диафрагма между Б1 и Б2, пролет №1
6	04.2022	26,6	21,3	B20	Тело опоры №4

Фактическая прочность бетона на неразрушенных участках (B25) не соответствует требованиям современных ТНПА

При расчете конструкций, работающих при высоких или низких температурах, повышенной влажности, в агрессивных средах, при повторных воздействиях и тому подобных условиях, следует учитывать возможные изменения их свойств во времени, в первую очередь деградацию физических свойств материала (прочности, упругости, вязкости и др.).

Нормативные значения дополнительных характеристик материалов и грунтов могут быть получены расчетным путем на основе положений, принятых в нормах проектирования конструкций.

В качестве основных параметров механических свойств грунтов следует устанавливать нормативные и расчетные значения прочностных, деформационных и других физико-механических характеристик, определяемых на основе данных инженерно-геологических изысканий участка строительства объекта с учетом опыта проектирования и строительства. Нормативные значения характеристик грунта или параметров, определяющих взаимодействие фундаментов с грунтом, следует принимать равными их математическим ожиданиям, полученным по результатам обработки результатов испытаний, если не оговорены иные условия, определяющие их значения.

Возможные отклонения в неблагоприятную сторону прочностных и других характеристик материалов и грунтов от их нормативных значений

следует учитывать коэффициентами надежности по материалу. Значения этих коэффициентов могут быть различными для разных предельных состояний.

Расчетное значение характеристик материалов и грунтов определяют делением нормативного значения этих характеристик на коэффициент надежности по материалу или грунту. Расчетные значения характеристик материалов и грунтов допускается определять непосредственно по экспериментальным данным.

Геометрические параметры

При расчетах конструкций сооружений следует учитывать возможные неточности их геометрических размеров и жесткостных параметров. Численные значения таких неточностей следует назначать с учетом условий изготовления и монтажа конструкций.

Геометрические параметры конструкций, изменчивость которых незначительна, допускается принимать по проектным значениям.

В случаях, если отклонения геометрических и жесткостных параметров от проектных значений оказывают существенное влияние на работу конструкций (например, значительные эксцентриситеты, отклонения от вертикали или заданной формы, изменение размеров сечений вследствие воздействий агрессивных сред), их следует учитывать в расчетных моделях конструкций.



Рисунок 3.1. Разрушение защитного слоя и коррозия арматуры (фото автора)



Рисунок 3.2. Разрушение бетона сваи, оголение и коррозия арматуры (фото автора)



Рисунок 3.3. Разлом по ребру плиты – **АВАРИЙНАЯ СИТУАЦИЯ**. Размораживание с оголением арматуры. Поражение рабочей арматуры плиты в расчетных сечениях коррозией (фото автора)

Геометрические размеры конструкций на стадии их монтажа и эксплуатации не должны отличаться от их проектных значений более чем на величину допусков, указанных в действующих нормативных документах.

На стадии монтажа контроль за соответствием фактических отклонений геометрических параметров конструкций от проектных допусков следует проводить в соответствии с требованиями действующих нормативных документов.

Тема 4. Учет условий работы материалов, конструкций и оснований

Коэффициенты условий работы

Условия работы материалов, конструкций и оснований

Возможные отклонения расчетной схемы конструктивных элементов и узлов строительного объекта от условий его реальной работы следует учитывать, используя коэффициенты условий работы.



Рисунок 4.1. Разрушение сопряжения моста с подходами (фото автора)



Рисунок 4.2. Разрушение сопряжения моста с подходами. Изменение расчетной схемы (фото автора)



Рисунок 4.3. Эксцентриситет опирания. Изменение расчетной схемы (фото автора)

Коэффициенты условий работы необходимо устанавливать:

- в нормативных документах, регламентирующих расчет конструкций и оснований;
- на основе экспериментальных и теоретических данных;
- на основе данных о реальной работе материалов, конструкций и оснований в условиях производства работ и эксплуатации объекта.

Расчетные схемы

Расчетные схемы для определения внутренних усилий от статических и динамических нагрузок должны соответствовать работе сооружения на всех этапах изготовления, транспортирования, монтажа и эксплуатации.

Раздел II. Обеспечение безопасности строительных конструкций, зданий и сооружений

Тема 5. Учет ответственности сооружений

Классы сооружений

В зависимости от класса сооружений при их проектировании необходимо использовать коэффициенты надежности по ответственности, минимальные значения которых приведены в таблице.

Таблица 5.1. Минимальные значения коэффициента надежности по ответственности

Класс сооружений	Уровень ответственности	Минимальные значения коэффициента надежности по ответственности
КС-1	Пониженный	0,8
КС-2	Нормальный	1,0
КС-3	Повышенный	1,1

Для сооружений с пролетом более 120 м коэффициент надежности по ответственности следует принимать не менее 1,2.

Класс и уровень ответственности сооружений, а также численные значения коэффициента надежности по ответственности устанавливаются генпроектировщиком по согласованию с заказчиком в задании на проектирование, но не ниже тех, которые указаны в таблице. Для разных конструктивных элементов сооружений допускается устанавливать различные уровни ответственности и соответственно назначать различные значения коэффициента надежности по ответственности.

На коэффициент надежности по ответственности следует умножать эффекты воздействия (нагрузочные эффекты), определяемые при расчете на основные сочетания нагрузок по первой группе предельных состояний.

При расчете по второй группе предельных состояний сооружений коэффициент надежности по ответственности допускается принимать равным единице. Правила учета уровня ответственности строительных объектов при расчете на особые сочетания нагрузок устанавливают в нормах проектирования конструкций или в задании на проектирование объекта.

Классы и уровни ответственности сооружений следует учитывать:

- при оценке долговечности сооружений;

- при разработке номенклатуры и объема проектных работ, а также проводимых инженерных изысканий и экспериментальных исследований;
- при разработке конструктивных решений надземной и подземной частей сооружений;
- при разработке программ научно-технического сопровождения, при проектировании, изготовлении и монтаже конструкций;
- при разработке правил приемки, испытаний, эксплуатации и технической диагностики строительных объектов.

Для зданий и сооружений класса КС-3, имеющих повышенный уровень ответственности, должны предусматриваться научно-техническое сопровождение при проектировании, изготовлении и монтаже конструкций, а также их технический мониторинг при возведении и эксплуатации.

Классификация сооружений

Установлена следующая классификация сооружений

Таблица 5.2. Класс сооружений

Класс сооружений КС-1	
а)	теплицы, парники, мобильные здания (сборно-разборные и контейнерного типа), склады временного содержания, в которых не предусматривается постоянного пребывания людей
б)	сооружения с ограниченными сроками службы и пребыванием в них людей

Класс сооружений КС-2: здания и сооружения, не вошедшие в классы КС-1 и КС-3.

Таблица 5.3. Класс сооружений

Класс сооружений КС-3	
а)	сооружения особо опасных и технически сложных объектов
б)	все сооружения, при проектировании и строительстве которых используются принципиально новые конструктивные решения и технологии, которые не прошли проверку в практике строительства и эксплуатации
в)	объекты жизнеобеспечения городов и населенных пунктов
е)	тоннели, трубопроводы на дорогах высшей категории или имеющие протяженность более 500 м

ж)	строительные объекты высотой более 100 метров
и)	пролетные строения мостов с пролетом более 200 метров
к)	большепролетные покрытия строительных объектов с пролетом более 100 метров
л)	строительные объекты с консольными конструкциями более 20 метров
м)	строительные объекты с заглублением подземной части более чем на 15 метров

Перечень сооружений с массовым нахождением людей

1 Здания (жилые, офисные, административные, общественные и др.) высотой 5 этажей и более.

2 Здания музеев, государственных архивов, административных органов управления, хранилищ национальных и культурных ценностей федерального и регионального уровней подчинения.

3 Зрелищные, спортивные развлекательные объекты, торговые предприятия в том случае, если:

- количество находящихся в них людей составляет 500 человек и более;
- количество людей, находящихся, на прилегающей территории превышает 10000 человек.

4 Здания, в которых расположены рестораны, кафе и другие подобные помещения на 100 посадочных мест и более.

5 Здания дошкольных образовательных учреждений, школ, учебных заведений на 100 постоянных посетителей и имеющих высоту 2 этажа и более.

6 Пассажирские терминалы (здания аэровокзалов, ж/д вокзалов, автовокзалов, речных и морских вокзалов) федерального и регионального уровней подчинения и на крупных транспортных узлах; станции метрополитена, здания культовых учреждений.

7 Гостиницы на 50 мест и более.

8 Стационары лечебных учреждений на 50 коек и более.

9 Амбулаторные лечебные учреждения на 100 посетителей и более.

10 Любые здания и сооружения с помещениями, в которых могут находиться 100 человек и более.

Тема 6. Предельные состояния

Общие положения

Строительные объекты должны удовлетворять требованиям (критериям), соответствующим следующим предельным состояниям, приведенным в таблице 6.1.

Таблица 6.1. Предельные состояния

Группа предельных состояний	Состояния строительных объектов
Первая	Превышение ведет к потере несущей способности строительных конструкций и возникновению аварийной расчетной ситуации
Вторая	При превышении нарушается нормальная эксплуатация строительных конструкций, исчерпывается ресурс их долговечности
Особые	Превышение приводит к разрушению сооружений с катастрофическими последствиями

Таблица 6.2. Первая группа предельных состояний

Первая группа предельных состояний		
- разрушение любого характера (например, пластическое, хрупкое, усталостное)	потеря устойчивости отдельных конструктивных элементов или сооружения в целом	условия, при которых возникает необходимость прекращения эксплуатации (например, чрезмерные деформации в результате деградации свойств материала, пластичности, сдвига в соединениях, а также чрезмерное раскрытие трещин)

Ко второй группе предельных состояний следует относить:

- достижение предельных деформаций конструкций (например, предельных прогибов, углов поворота) или предельных деформаций оснований, устанавливаемых исходя из технологических, конструктивных или эстетико-психологических требований;

- достижение предельных уровней колебаний конструкций или оснований, нарушающих нормальную работу оборудования или вызывающих вредные для здоровья людей физиологические воздействия;

- образование трещин, не нарушающих нормальную эксплуатацию строительного объекта;
- достижение предельной ширины раскрытия трещин;
- другие явления, при которых возникает необходимость ограничения во времени эксплуатации сооружения из-за нарушения работы оборудования, неприемлемого снижения эксплуатационных качеств или расчетного срока службы сооружения (например, коррозионные повреждения).

Перечень предельных состояний и соответствующих критериев, которые необходимо учитывать при проектировании строительного объекта, устанавливаются в нормах проектирования и (или) в задании на проектирование. Предельные состояния могут быть отнесены как к конструкции в целом, так и к отдельным элементам и их соединениям.

Для каждого предельного состояния, которое необходимо учитывать при проектировании, должны быть установлены соответствующие расчетные значения нагрузок и воздействий, характеристик материалов и грунтов, а также геометрические параметры конструкций сооружений (с учетом их возможных наиболее неблагоприятных отклонений), коэффициенты надежности, предельные значения усилий, напряжений, прогибов, перемещений и осадки фундаментов.

Для каждого учитываемого предельного состояния должны быть установлены расчетные модели сооружения, его конструктивных элементов и оснований, описывающие их поведение при наиболее неблагоприятных условиях их возведения и эксплуатации. Допущения, принятые при выборе расчетных моделей, должны быть учтены при расчете строительных объектов по предельным состояниям

Расчет по предельным состояниям

Расчет строительных объектов по предельным состояниям следует проводить с учетом:

- расчетного срока службы;
- прочностных и деформационных характеристик материалов, устанавливаемых в нормативных документах или задании на проектирование, а для грунтов - по результатам инженерно-геологических изысканий;
- наиболее неблагоприятных вариантов распределения нагрузок, воздействий и их сочетаний, которые могут возникнуть при возведении и эксплуатации сооружений;
- неблагоприятных последствий в случае достижения строительным объектом предельных состояний;
- деградации свойств материалов;

- условий изготовления конструкций, возведения сооружений и особенностей их эксплуатации.

Пределные значения прогибов и перемещений несущих и ограждающих конструкций зданий и сооружений следует устанавливать независимо от применяемых материалов.

Расчет конструкций, для которых нормы проектирования не содержат указаний по определению усилий и напряжений с учетом неупругих деформаций, допускается проводить в предположении их упругой работы; при этом сечения конструктивных элементов допускается рассчитывать с учетом неупругих деформаций.

Расчет конструкций и оснований сооружений повышенного уровня ответственности (класса КС-3) рекомендуется проводить на основе результатов специальных теоретических, апробированных численных и экспериментальных исследований, проводимых на моделях или натуральных конструкциях.

При расчете оснований необходимо использовать устанавливаемые опытным путем значения прочностных и деформационных характеристик грунтов, а также другие параметры, характеризующие взаимодействие конструкций с основанием.

Расчет на прогрессирующее обрушение проводится для зданий и сооружений класса КС-3, а также зданий и сооружений класса КС-2 с массовым нахождением людей. Расчет на прогрессирующее обрушение допускается не проводить, если предусмотрены специальные мероприятия, исключаяющие прогрессирующее обрушение сооружения или его части.

Тема 7. Нагрузки и воздействия

Классификация воздействий

Нагрузки и воздействия подразделяют следующим образом

Нагрузки	Характеристики
Постоянные	Изменение расчетных значений в течение расчетного срока службы строительного объекта мало по сравнению с их средними значениями
Длительные	сохраняющие расчетные значения в течение большого промежутка времени эксплуатации строительного объекта
Кратковременные	Длительность действия расчетных значений значительно меньше срока службы сооружения
Особые	Создающие аварийные ситуации

Примечание - особые воздействия подразделяются на нормируемые особые (сейсмические) и аварийные (при взрыве, столкновении с транспортными средствами, при аварии оборудования и отказе работы несущего элемента конструкции), которые не заданы в нормативных документах.

В зависимости от ответной реакции строительного объекта нагрузки и воздействия подразделяют следующим образом:

Нагрузки	Характеристики
Статические	При действии допускается не учитывать ускорения и силы инерции строительных объектов
Динамические	При действии следует учитывать ускорения и силы инерции строительных объектов

Динамические воздействия допускается приводить к эквивалентным статическим нагрузкам за счет введения соответствующих коэффициентов динамичности, учитывающих возникающие в сооружениях силы инерции. Тип воздействия (статический или динамический) устанавливают в соответствующих нормативных документах.

Для оценки реакции строительного объекта при динамических воздействиях необходимо использовать соответствующие динамические

модели. В этом случае параметры напряженно-деформированного состояния (усилия, напряжения, перемещения и др.) определяют в результате динамического расчета.

Нормативные и расчетные нагрузки

Основными характеристиками нагрузок являются их расчетные или нормативные значения, устанавливаемые соответствующими нормами проектирования или заданиями на проектирование.

Расчетное значение нагрузки в тех случаях, когда установлено ее нормативное значение, определяют умножением нормативного значения на коэффициент надежности по нагрузке.

Коэффициент надежности по нагрузке учитывает возможное отклонение нагрузок в неблагоприятную (большую или меньшую) сторону от их нормативных значений. Значения коэффициентов надежности по нагрузке могут быть различными для различных предельных состояний и различных расчетных ситуаций.

Расчетные значения нагрузок и воздействий, зависящих от территориальных климатических условий (снеговые и ветровые нагрузки, воздействия температуры и др.), допускается определять непосредственно по расчетному периоду их повторяемости, который может зависеть от предельного состояния.

При расчете строительных объектов по второй группе предельных состояний расчетные значения кратковременных нагрузок могут устанавливаться с учетом допустимого времени нарушения условий нормальной эксплуатации строительного объекта.

Расчетные значения особых нагрузок устанавливают в соответствующих нормативных документах и заданиях на проектирование с учетом возможных социальных и материальных потерь в случае разрушения сооружений и необходимых мер по предотвращению их разрушения.

Расчетные сочетания нагрузок

Для каждой расчетной ситуации необходимо учитывать все возможные неблагоприятные расчетные сочетания нагрузок, которые следует устанавливать на основе результатов анализа всех реальных вариантов одновременного действия различных нагрузок и с учетом реализации различных схем приложения кратковременных нагрузок или отсутствия некоторых из них.

Вероятность одновременного достижения несколькими нагрузками их расчетных значений, соответствующая вероятности достижения одной

нагрузкой ее расчетного значения, учитывается коэффициентами сочетаний нагрузок, значение которых не должно превышать 1,0.

В зависимости от учитываемой комбинации нагрузок следует различать:

Сочетания нагрузок	Характеристики
Основные	Состоящие из постоянных, длительных и (или) кратковременных нагрузок
Особые	Сочетания нагрузок, включающие в себя особые и аварийные нагрузки и воздействия

В особых сочетаниях кратковременные нагрузки допускается не учитывать, если в нормах проектирования конструкций не приведены иные требования.

Расчетные сочетания нагрузок и численные значения коэффициентов сочетаний устанавливаются в нормативных документах по назначению нагрузок.

Раздел III. Долговечность строительных конструкций, зданий и сооружений

Тема 8. Долговечность конструкций и оснований сооружений

Обеспечение требуемой долговечности.

Необходимые меры по обеспечению долговечности.

Рекомендуемые сроки службы зданий и сооружений.

Долговечность конструкций и оснований сооружений

Для обеспечения требуемой долговечности строительного объекта при его проектировании учитывают:

- условия эксплуатации по назначению;
- расчетное влияние окружающей среды;
- свойства применяемых материалов, возможные средства их защиты от негативных воздействий среды, а также возможность деградации их свойств.

При проектировании строительных объектов необходимо учитывать возможное влияние на них агрессивной среды и других негативных условий эксплуатации (попеременное замораживание и оттаивание, наличие противоледных реагентов, воздействие морской воды, выбросов промышленных производств и т.д.).

Необходимые меры по обеспечению долговечности конструкций и оснований сооружений с учетом конкретных условий эксплуатации проектируемых объектов, а также расчетные сроки их службы должен определять генпроектировщик по согласованию с заказчиком. Рекомендуемые сроки службы зданий сооружений приведены в таблице.

Таблица 8.1. Рекомендуемые сроки службы зданий и сооружений

Наименование объектов	Примерный срок службы
Временные здания и сооружения (бытовки строительных рабочих и вахтового персонала, временные склады, летние павильоны и т.п.)	10 лет
Сооружения, эксплуатируемые в условиях сильноагрессивных сред (сосуды и резервуары, трубопроводы предприятий нефтеперерабатывающей, газовой и химической промышленности, сооружения в условиях морской среды и т.п.)	Не менее 25 лет

Здания и сооружения массового строительства в обычных условиях эксплуатации (здания жилищно-гражданского и производственного строительства)	Не менее 50 лет
Уникальные здания и сооружения (здания основных музеев, хранилищ национальных и культурных ценностей, произведения монументального искусства, стадионы, театры, здания высотой более 75 м, большепролетные сооружения и т.п.)	100 лет и более

Тема 9. Коррозионные воздействия на строительные конструкции зданий и сооружений

Виды и классификация коррозионных воздействий

В процессе эксплуатации строительные изделия и конструкции непрерывно подвергаются воздействию окружающей среды. При этом в материалах строительных конструкций протекают различные нежелательные процессы, которые принято называть – коррозией.

Классификация коррозионных процессов. Виды коррозии

Коррозионные процессы делят на химические, электрохимические, физические, биологические, смешанные.



а)



б)



в)

Рисунок 9.1: а), б), в) коррозия стальной арматуры (фото автора)



Рисунок 9.2. Коррозия перильного ограждения (фото автора)

По результатам обследования сооружения составляется ведомость дефектов, учитывающая коррозионное поражение арматуры и бетона элементов сооружения.

Ниже представлен пример из отчета

ВЕДОМОСТЬ ДЕФЕКТОВ

Описание дефекта, его расположение	Объем дефекта	Причина появления дефекта, влияние на эксплуатационные характеристики и рекомендации по устранению
4.3 Опоры и опорные части		
4.3.1 Замокание бетона насадки, выщелачивание, замшелость, м ² : - опора №1; - опора №2; - опора №3; - опора №4 Код 3.504 Рисунок 2.5-2.8, 4.5 – 4.7	4,7 16,3 16,3 4,7	Дефект строительства, нарушение герметичности ДШ, разрушение гидроизоляции мостового полотна. Дефект влияет на долговечность опор. Рекомендуется переустройство деформационных швов и гидроизоляции мостового полотна. Пескоструйная очистка поверхности опор от продуктов коррозии. Нанести на арматуру антикоррозийное покрытие и восстановить геометрические размеры насадки, свай и ледорезных свай, устроить поверхностную герметизацию (вторичную защиту) поверхности согласно ТКП 576. Подготовку бетона и арматуры выполнить в соответствии с ТКП 525 и ТКП 576

<p>4.3.2 Замокание бетона свай, выщелачивание, замшелость, м²:</p> <p>- опора №2:</p> <p>- С1; - С2; - С3; - С4; - С5; - С6</p> <p>- опора №3:</p> <p>- С1; - С2; - С3; - С4; - С5; - С6</p> <p>Код 3.504 Рисунок 2.6, 2.7, 4.5 – 4.8</p>	<p>1,0 0,9 0,5 0,6 0,4 1,2</p> <p>1,2 0,9 0,8 0,5 1,1 1,2</p>	<p>Дефект строительства, нарушение герметичности ДШ, разрушение гидроизоляции мостового полотна. Дефект влияет на долговечность опор. Рекомендуется переустройство деформационных швов и гидроизоляции мостового полотна. Пескоструйная очистка поверхности опор от продуктов коррозии. Нанести на арматуру антикоррозийное покрытие и восстановить геометрические размеры насадки, свай и ледорезных свай, устроить поверхностную герметизацию (вторичную защиту) поверхности согласно ТКП 576. Подготовку бетона и арматуры выполнить в соответствии с ТКП 525 и ТКП 576</p>
<p>4.3.3 Размораживание бетона насадок с оголением арматуры, м²:</p> <p>- опора №1; - опора №2; - опора №3; - опора №4</p> <p>Код 3.503 Рисунок 2.5-2.8, 4.5 – 4.7</p>	<p>4,0 10,3 9,8 3,7</p>	<p>Дефект строительства. Недостаточная плотность бетона. Дефект влияет на долговечность опор. Рекомендуется удалить слабый бетон, очистить арматуру в зоне дефекта от продуктов коррозии, обработать составом, создающим антикоррозионное покрытие, восстановить опалубочные размеры элементов ремонтным составом по СТБ 1464 в соответствии с требованиями ТКП 525 и ТКП 576</p>

<p>4.3.4 Размораживание бетона свай с оголением арматуры, м²:</p> <ul style="list-style-type: none"> - опора №2: - С1; - С2; - С3; - С4; - С5; - С6 - опора №3: - С1; - С2; - С3; - С4; - С5; - С6 <p>Код 3.503.2 Рисунок 2.6, 2.7, 4.5 – 4.9</p>	<p>0,5 0,4 0,3 0,35 0,2 0,7</p> <p>0,3 0,3 0,4 0,4 0,3 0,7</p>	<p>Дефект строительства. Недостаточная плотность бетона. Дефект влияет на долговечность опор.</p> <p>Рекомендуется удалить слабый бетон, очистить арматуру в зоне дефекта от продуктов коррозии, обработать составом, создающим антикоррозионное покрытие, восстановить опалубочные размеры элементов ремонтным составом по СТБ 1464 в соответствии с требованиями ТКП 525 и ТКП 576</p>
<p>4.3.5 Вертикальные и наклонные трещины по поверхностям насадок с раскрытием 0,3 мм и более, м:</p> <ul style="list-style-type: none"> - опора №1; - опора №2; - опора №3; - опора №4 <p>Код 3.404 Рисунок 2.5-2.8, 4.5 – 4.7</p>		<p>Дефект влияет на долговечность сооружения. Трещины носят коррозионный характер.</p> <p>Для трещин, шириной раскрытия до 0,5 мм, выполнить поверхностную герметизацию путем нанесения эластичных полимерных материалов согласно ТКП 525. Для трещин шириной раскрытия более 0,5 мм, удалить слабый бетон в зоне трещины до 10 см, коррозирующую арматуру оголить, зазор между поверхностью бетона и стержнем – не менее 1 см. На оголенную арматуру нанести антикоррозионное покрытие (ТКП 525, таблица Б.3).</p> <p>Восстановить опалубочные размеры свай ремонтным составом по СТБ 1464 в соответствии с требованиями ТКП 525 и ТКП 576</p>

<p>4.3.6 Вертикальные и наклонные трещины по поверхностям свай с раскрытием 0,3 мм и более, м:</p> <ul style="list-style-type: none"> - опора №2; - С1; - С2; - С3; - С4; - С5; - С6 <p>- опора №3;</p> <ul style="list-style-type: none"> - С1; - С2; - С3; - С4; - С5; - С6 <p>Код 3.404 Рисунок 2.6, 2.7, 4.5 – 4.9</p>	<p>1,1 1,8 0,5 1,3 0,7 1 2,7 1,3 1,9 1,4 1,5 2,0</p>	<p>Дефект влияет на долговечность сооружения. Трещины носят коррозионный характер. Для трещин, шириной раскрытия до 0,5 мм, выполнить поверхностную герметизацию путем нанесения эластичных полимерных материалов согласно ТКП 525. Для трещин шириной раскрытия более 0,5 мм, удалить слабый бетон в зоне трещины до 10 см, коррозирующую арматуру оголить, зазор между поверхностью бетона и стержнем – не менее 1 см. На оголенную арматуру нанести антикоррозионное покрытие (ТКП 525, таблица Б.3). Восстановить опалубочные размеры свай ремонтным составом по СТБ 1464 в соответствии с требованиями ТКП 525 и ТКП 576</p>
<p>4.3.7 Мусор по верху насадки, м³ -опора №3 под ПР11 с верховой стороны</p> <p>Код 3.706 Рисунок 4.10</p>	<p>0,1</p>	<p>Дефект содержания. Устранить в рамках текущего содержания моста</p>
<p>4.3.8 Скол консоли насадки опоры №2, скол</p> <p>Код 3.202 Рисунок 4.5</p>	<p>1</p>	<p>Дефект строительства. Дефект влияет на долговечность и грузоподъемность сооружения. Дальнейшее развитие дефекта может привести к коррозии арматуры и уменьшению ее сечения. Рекомендуется восстановить геометрию насадки в соответствии с действующими нормативными документами во время текущего ремонта</p>

4.3.9 Опираение на прокладки из рубероида, шт - опора №1; - опора №2; - опора №3; - опора №4 Код 4.201 Рисунок 2.5-2.8	11 22 22 11	Дефект строительства. Дефект влияет на долговечность сооружения. Рекомендуется заменить опорные части в соответствии с действующими нормативными документами во время текущего ремонта
4.4 Пролетные строения		
4.4.1 Эксцентриситет опирания плит, см: - опора №3 справа по ходу; Код 5.711.1 Рисунок 4.26	9	Дефект строительства. Дефект влияет на грузоподъемность и долговечность сооружения. Устранение дефекта возможно при проведении капитального ремонта
4.4.2 Скол торца ребра плиты (плита проседает) – АВАРИЙНАЯ СИТУАЦИЯ , м ³ : - плита ПР11 пролетного строения №1 (верховая сторона); - плита ПР11 пролетного строения №3 (верховая сторона); Код 5.205.2 Рисунок 4.18, 4.26	0,3 0,2	Дефект строительства. Дефект влияет на грузоподъемность и безопасность. Возможно обрушение плиты. Движение по тротуару закрыть. В рамках капитального ремонта рекомендуется замена аварийных плит
4.4.3 Разлом по ребру плиты – АВАРИЙНАЯ СИТУАЦИЯ , м ³ : - плита ПР1 пролетного строения №1 (низовая сторона) Код 5.211.1 Рисунок 4.11	0,4	Дефект строительства. Дефект влияет на грузоподъемность и безопасность. Возможно обрушение плиты. Движение по тротуару закрыть. В рамках капитального ремонта рекомендуется замена аварийных плит
4.4.4 Фильтрация воды через толщу железобетонных плит проезжей части и по стыку плит пролетных строений, замокание бетона из-за негерметичности		Дефект строительства. Дефект является следствием неорганизованного водоотвода и постоянного воздействия агрессивных стоков с мостового полотна, а также результатом

деформационных швов, выщелачивание, замшелость, выцветы, сталактиты, м ²		недостаточной плотности бетона стыков в зоне дефекта. Влияет на долговечность.
Пролётное строение №1:		Рекомендуется:
- плита Пр1;	3,3	- выполнить подготовку бетонной поверхности конструкций пролетных строений перед обработкой антикоррозионными жидкостями в соответствии с ТКП 576;
- плита П2;	2,6	- устранить имеющиеся повреждения бетона (локальные разрушения, сколы) согласно ТКП 525 ремонтными материалами по СТБ 1464;
- плита П3;	0,4	- обработать замачиваемые конструкции стыков пролетных строений антикоррозионными жидкостями с ингибиторами коррозии согласно ТКП 576;
- плита П4;	0,2	- обработать замачиваемые конструкции пролетных строений гидрофобизирующими жидкостями согласно ТКП 576;
- плита П5;	0,1	- переустроить систему водоотвода на мостовом полотне
- плита П6;	0,1	
- плита П7;	0,1	
- плита П8;	0,3	
- плита П9;	0,6	
- плита П10;	5,5	
- плита Пр11.	4,8	
Пролётное строение №2:		
- плита Пр1;	1,6	
- плита П2;	3,1	
- плита П3;	0,3	
- плита П4;	0,1	
- плита П5;	0,1	
- плита П6;	0,2	
- плита П7;	0,2	
- плита П8;	0,3	
- плита П9;	0,5	
- плита П10;	2,2	
- плита Пр11.	1,4	
Пролётное строение №3:		
- плита Пр1;	1,2	
- плита П2;	0,9	

<ul style="list-style-type: none"> - плита П3; - плита П4; - плита П5; - плита П6; - плита П7; - плита П8; - плита П9; - плита П10; - плита Пр11. <p>Код 5.702.2, 5.702.3, 5.708 Рисунок 4.11 – 4.17, 4.19-4.25</p>	<p>0,2 0,1 0,1 0,1 0,1 0,2 0,5 0,6 2,1</p>	
<p>4.4.5 Размораживание бетона плит с оголением арматуры, м²:</p> <p>Пролётное строение №1:</p> <ul style="list-style-type: none"> - плита Пр1; - плита П2; - плита П3; - плита П4; - плита П5; - плита П6; - плита П7; - плита П8; - плита П9; - плита П10; - плита Пр11. <p>Пролётное строение №2:</p> <ul style="list-style-type: none"> - плита Пр1; - плита П2; - плита П3; 	<p>7,8 2,2 0,1 0,1 0,3 0,4 3 0,2 1,8 2,6 5,8</p> <p>4,7 2,5 0,1</p>	<p>Дефект влияет на долговечность плит пролетного строения. Дефект является следствием постоянного воздействия агрессивных стоков с мостового полотна, а также результатом недостаточной плотности бетона плит в зоне дефекта. Рекомендуется удалить слабый бетон, нанести на арматуру антикоррозийное покрытие и восстановить геометрические размеры плит, далее устроить поверхностную герметизацию (вторичную защиту) поверхности согласно ТКП 576. Подготовку бетона и арматуры выполнить в соответствии с ТКП 525 и ТКП 576</p>

<ul style="list-style-type: none"> - плита П4; - плита П5; - плита П6; - плита П7; - плита П8; - плита П9; - плита П10; - плита Пр11. <p>Пролётное строение №3:</p> <ul style="list-style-type: none"> - плита Пр1; - плита П2; - плита П3; - плита П4; - плита П5; - плита П6; - плита П7; - плита П8; - плита П9; - плита П10; - плита Пр11. <p>Код 5.210.2 Рисунок</p>	<p>0,1 0,1 0,1 0,1 0,1 0,1 1,4 1,5</p> <p>3,8 6,5 0,1 1,6 0,9 0,2 0,1 0,1 0,1 2,7 4,5</p>	
<p>4.4.6 Поражение рабочей арматуры ПЛИТЫ в расчетных сечениях коррозией, мм:</p> <p>Пролётное строение №1:</p> <ul style="list-style-type: none"> - плита Пр1; - плита П2; - плита П8; - плита П9; - плита П10; 	<p>5 3 2 2 3</p>	<p>Дефект строительства. Дефект влияет на грузоподъемность. В рамках капитального ремонта рекомендуется замена аварийных плит или их усиление и восстановление геометрии плит.</p> <p>В случае усиления плит рекомендуется. Для трещин, шириной раскрытия до 0,5 мм, выполнить поверхностную герметизацию путем нанесения эластичных полимерных материалов согласно ТКП 525. Для трещин шириной раскрытия более 0,5 мм, удалить слабый бетон в зоне трещины до 10 см, корродирующую арматуру оголить, зазор между поверхностью</p>

<p>- плита Пр11.</p> <p>Пролётное строение №2:</p> <p>- плита Пр1; - плита П2; - плита П10; - плита Пр11.</p> <p>Пролётное строение №3:</p> <p>- плита Пр1; - плита Пр11.</p> <p>Код 5.202 Рисунок 4.11 – 4.17, 4.19-4.22, 4.25</p>	<p>5</p> <p>2</p> <p>2</p> <p>2</p> <p>1</p> <p>3</p> <p>5</p>	<p>бетона и стержнем – не менее 1 см. На оголенную арматуру нанести антикоррозионное покрытие (ТКП 525, таблица Б.3). Восстановить опалубочные размеры свай ремонтным составом по СТБ 1464 в соответствии с требованиями ТКП 525 и ТКП 576</p>
<p>4.4.7 Продольные трещины с раскрытием 0,3 мм и более, м:</p> <p>Пролётное строение №1:</p> <p>- плита П8; - плита П9; - плита П10.</p> <p>Код 5.405.2 Рисунок 4.13-4.16</p>	<p>8</p> <p>2</p> <p>2</p>	<p>Дефект строительства. Дефект влияет на долговечность и грузоподъемность сооружения. Дальнейшее развитие дефекта может привести к коррозии арматуры и уменьшению ее сечения. Рекомендуется восстановить геометрию плиты в соответствии с действующими нормативными документами во время текущего ремонта</p>
4.5 Мостовое полотно		
<p>4.5.1 Деформационные швы над опорами №1-4 негерметичны, м.п.</p> <p>Код 6.452 Рисунок 2.10</p>	<p>9×4</p>	<p>Дефект содержания. Дефект влияет на долговечность. Рекомендуется проектом ремонта предусмотреть переустройство деформационных швов над береговыми опорами по специальному проекту с обеспечением их герметичности, а над промежуточными опорами устроить монолитную плиту перекрытия и устроить деформационные швы в зоне тротуаров</p>

4.5.2 Загрязнение покрытия ездового полотна. Наносы песка вдоль дорожного ограждения частично препятствуют отводу воды с проезжей части через водоотводные трубки, м ² Код 6.506 Рисунок 2.10, 4.27, 4.28	16	Дефект содержания. Дефект влияет на безопасность движения автотранспорта. Рекомендуется очистить поверхность ездового полотна от грязи и растительности в рамках содержания
4.5.3 Продольные и поперечные трещины и выбоины в покрытии ездового полотна, м ² Код 6.512 Рисунок 2.10	36	Дефект содержания. Влияет на безопасность движения автотранспорта. Рекомендуется устранить дефект при ремонте асфальтобетонного покрытия
4.5.4 Нарушение (отсутствие) гидроизоляции, м ² Рисунок 2.10	108	Дефект строительства. Отрицательно влияет на долговечность нижележащих конструкций. Рекомендуется выполнить ремонт с переустройством гидроизоляции на всей ширине мостового полотна
4.5.5 Бордюрное ограждение имеет недостаточную высоту (41-52 см) на мостовом полотне, м.п. Таблица 3.2	36,3	Дефект содержания. Отрицательно влияет на безопасность движения по сооружению. Устроить дорожное ограждение высотой не менее 0,75 м в соответствии с СН 3.03.01-2019 «Мосты и трубы»
4.5.6 Перила имеют высоту (102,8-108,4) меньше 110 см, м: - верховая сторона; - низовая сторона; Код 6.201 Таблица 3.2	18,3 18,3	Дефект содержания. Дефект снижает безопасность движения по сооружению. Необходимо переустроить перильное ограждение на мостовом полотне в соответствие с нормативными требованиями высотой не менее 110 см
4.5.7 Толщина слоев ездового полотна больше 25 см, м ² Код 6.509 Таблица 3.1	126	Дефект содержания. Дефект влияет на грузоподъемность. Причина дефекта – неконтролируемая укладка асфальтобетонного покрытия без снятия старых слоев. Дефект снижает грузоподъемность сооружения. Устранение дефекта возможно при текущем ремонте сооружения. Рекомендуется снять все слои покрытия и устроить новое покрытие в соответствии с современными нормами

Тема 10. Способы и методы защиты строительных конструкций от коррозии

Срок службы мостов и путепроводов значительно ниже проектного, что подтверждается значительным объемом капитальных ремонтов и реконструкции, проводимых на транспортных сооружениях Республики Беларусь. Многие из них были построены в 80-е годы и срок их эксплуатации не превышает 50 лет [8].

При выборе варианта защиты необходимо определить наиболее эффективный. Основные способы защиты бетонных и железобетонных конструкций от коррозии представлены в табл. 10.1 [8].

Таблица 10.1. Основные способы защиты конструкций

Способ защиты	Действие
Первичная	В бетонную смесь, «до» или «в» процессе изготовления, вводят добавки, повышающие устойчивость бетона к воздействию агрессивной среды
Вторичная	Поверхность бетонной конструкции защищают нанесением на неё изолирующего материала

Согласно данным Бусела А. В. и Матвейко Н. П. с учетом степени агрессивности среды защита железобетонных конструкций от коррозии может быть первичной или в сочетании со вторичной (см. табл. 10.2) [8].

Таблица 10.2. Виды защиты бетонных и железобетонных конструкций от коррозии в зависимости от степени агрессивности среды

Степень агрессивности среды	Глубина разрушения поверхностного слоя, мм/год	Вид защиты конструкций от коррозии
Слабоагрессивная	До 0,4	Первичная защита
Среднеагрессивная	0,4–1,2	Сочетание первичной и вторичной защиты
Сильноагрессивная	> 1,2	Первичная и вторичная защита с применением материалов по специальному проекту

При всем многообразии технических решений, решающую роль в эффективности антикоррозионной защиты играет выбор системы защитных покрытий и материалов. Неверное решение может привести к разрушению поверхности бетонных и железобетонных конструкций даже в первый год эксплуатации. Большое значение имеет своевременное восстановление защитного слоя [8].

Классификация добавок по механизму действия на процессы твердения минеральных вяжущих веществ, проведенная Ратиновым В. Б. и Розенберг Т. И. приведена в табл. 10.3.

Таблица 10.3. Классификация добавок по механизму действия

Класс добавки	Наименование	Действие
Первый	Химически малоактивные электролиты	Влияют на кинетику гидратационного твердения. Повышают или понижают растворимость исходного вяжущего и конечных продуктов гидратации
Второй	Смолы и другие органические соединения	Распределяются в виде пленок и кольматируют поры. Повышают эластичность, водонепроницаемость и морозостойкость бетона

Основными путями увеличения срока безотказной эксплуатации мостов и путепроводов является совершенствование методов первичной и вторичной защиты, и разработка составов бетонных смесей для ремонта [8].

Батраков В. Г. доказал целесообразность введения в цементные системы добавок органических и неорганических соединений, имеющих гидрофильную головку и гидрофобный хвост.

Гидрофобные и гидрофобизирующие добавки в цементные системы

Касторных Л. И. отмечает, что гидрофобизирующие добавки снижают количество и размер макропор цементного камня и придают им замкнутую правильную форму.

После затворения на поверхности цементных зерен образуется двойной электрический слой. В результате взаимного притяжения разноименных зарядов образуются флоккулы, которые повышают вязкость системы. На цементных зернах оболочками воды создаются стерические препятствия, которые увеличиваются адсорбирующимися молекулами ПАВ, замедляя

гидратацию цемента. К гидратирующейся поверхности цемента хемосорбционно крепятся гидрофильные группы. Гидрофобные углеводородные радикалы, развернуты в сторону воды, отталкивая её и изменяя процесс формирования структуры цементного камня. Адсорбция органических соединений на цементных зернах замедляет гидратацию на начальном периоде набора прочности. В цементном тесте образуются структурные элементы, повышающие прочность и плотность структуры цементного камня. Концентрация ПАВ на межфазных поверхностях раздела изменяет электрокинетический потенциал частиц, препятствуя слипанию и коагуляции.

Гидрофобные и гидрофобизирующие добавки, применяемые в строительстве для защиты железобетонных конструкций, представлены в табл. 10.4 и 10.5.

Таблица 10.4. Гидрофобные добавки

Вид и наименование добавки	Условная марка
Модифицированный олеат кальция	Церезит
Битумная эмульсия	Эмульбит

Таблица 10.5. Гидрофобизирующие добавки

Вид и наименование добавки	Условная марка	Нормативный документ
Фенилэтоксисилоксан	113-63 (ФЭС-50)	ТУ 6-02-995
Алюмометилсиликонат натрия	АМСР-3	ТУ 6-02-1171
Полигидросилоксаны	136-41 (ГКЖ-94) 136-157м (ГКЖ-94М)	ТУ 6-09-52-83
Этилсиликонат натрия	ГКЖ-10	ТУ 18 РСФСР 409
Метилсиликонат натрия	ГКЖ-11	ТУ 6-02-995
Олеат натрия	Олеат натрия	-

Гидрофобизирующие добавки, в зависимости от назначения, делятся на три группы. По стойкости бетонных и железобетонных конструкций к внешним воздействиям они должны удовлетворять требованиям, приведенным в ГОСТ 24211 (табл. 10.6).

Таблица 10.6. Требования к стойкости бетона с гидрофобизирующими добавками

Вид добавки	Гидрофобизирующая		
	1 группы	2 группы	3 группы
Критерий эффективности добавки	Снижение водопоглощения бетона (через 28 суток испытания)		
	в 5 раз и более	в 2–4,9 раза	в 1,4–1,9 раза
Возможные дополнительные положительные или отрицательные эффекты	Снижение скорости тепловыделения, замедление схватывания и твердения бетона, снижение прочности бетона		

Основные теоретические положения о получении гидрофобного цемента и создании на цементных зернах адсорбционных гидрофобных пленок разработали Ребиндер П. А., Сегалова Е. Е. и др. При совместном помолце цемента и гидрофобизатора в мельницах, на цементных зернах образуются гидрофобные пленки, повышающие сроки сохранения активности. При затворении водой, благодаря сетчатому строению гидрофобная пленка пропускает водяные пары, одновременно замедляя гидратацию на начальном этапе. После раскрытия пленки гидратация равномерно происходит по всему объему бетонной смеси.

Горчаков Г. И. и Баженов Ю. М. отмечают, что поры, капилляры и микродефекты снижают прочность, долговечность и стойкость бетона. Они предлагают, для предотвращения доступа воды и агрессивных жидкостей, пропитывать железобетонные конструкции на глубину до 3 см разбавленными смолами, немодифицированными битумами и битумами, модифицированными синтетическими смолами.

Поверхностная пропитка высоковязкими веществами на основе нефтяных битумов и дегтей запирает капилляры, повышает стойкость бетонов. В результате их водопоглощение не превышает 1%, морозостойкость составляет более 2000 циклов, а марка бетона увеличивается на 20–22%.

Кузьменков М. И. и Куницкая Т. С. пишут, что пропитка бетона композициями на основе полимеров повышает водонепроницаемость и прочность. Водорастворимые полимеры, вводимые при пропитке или при объемной гидрофобизации на стадии изготовления бетонной конструкции, снижают микропористость и уменьшают размер пор радиусом 100×10^{-10} м. Основным недостатком метода пропитки является заполнение пор только защитного слоя. Внутренний объем бетонной конструкции при данном способе остается без защиты, при этом количество органического компонента, действующего на поверхностные слои бетонной конструкции, достигает

десятков процентов от массы цементного камня, что может ускорить деструктивные процессы в бетоне.

В НИИЦемент (г. Подольск) разработана синтетическая добавка – раствор одной части высокомолекулярных жирных кислот в двух частях минерального масла, с использованием кубовых остатков СЖК. По прочности и срокам схватывания цемент с этой добавкой равноценен исходному цементу без поверхностно активных веществ.

Надежность и долговечность бетонных конструкций промышленных зданий и сооружений обеспечивают применением битумной эмульсии в качестве химической уплотняющей добавки [8].

Исследования, проведенные в НИИ Гипроцемент, и в лаборатории стройматериалов ЛИСИ доказали, что битумные эмульсии, введенные в бетонную смесь, повышают водонепроницаемость и морозостойкость, улучшают другие свойства бетона.

Согласно электронно-микроскопическим исследованиям Бушневой Е. Ю. битум в количестве 1,0–1,5 % от массы песка, блокирует рост кристаллов гидратных фаз. Структура цементного камня уплотняется, вследствие изменения морфологии кристаллогидратов и частичного заполнения пор битумом, который снижает долю открытых пор, гидрофобизирует структуру цементного камня, уменьшает скорость фильтрации растворов. Общая пористость снижается на 18–41 %, а коэффициент капиллярного водопоглощения уменьшается до 0,04–0,11 кг/м². Пленки битума снижают хрупкость бетона, повышают долговечность, деформативность и коррозионную стойкость. Жесткие кристаллизационные контакты между кристаллогидратами, частично заменяются подвижными коагуляционными, повышая ударную прочность цементного камня в возрасте 28 суток до 3,9 Дж/м².

Добавка для бетонных смесей и растворов, включающая 5–25 % битума, вводимая в виде гранул в количестве 0,6 % на месте выполнения работ, повышает прочность с 43,5 МПа до 60,3 МПа и время схватывания с 4,5 до 24 часов.

Соловьев В. И. установил, что добавки отходов нефтехимической промышленности повышают устойчивость бетона к воздействию агрессивных реагентов. На заводах по производству железобетонных конструкций Москвы, Алма-Аты, Караганды и др. было произведено более 300 тыс. м³ бетона.

Основным отрицательным фактором, ограничивающим применение органических добавок, является то, что они не препятствуют прониканию жидкой агрессивной среды под давлением [8].

Кольматирующие и глинистые добавки

Кольматирующие добавки перекрывают сечение пор и капилляров, создавая препятствие проникновению жидких реагентов в тело бетонной конструкции, повышают водонепроницаемость. Перечень наиболее распространенных кольматирующих добавок приведен в табл. 10.7 [8].

Таблица 10.7. Кольматирующие добавки

Вид и наименование добавки	Условная марка
Хлорное железо	FeCl_3
Силикаты натрия и калия	клей силикатный
Нитрат кальция (селитра кальциевая)	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$
Бентонит	бентонит

Набор прочности бетона сопровождается усадочными процессами, ускоряющимися с повышением температуры твердения. Бентонит снижает возникающие при этом напряжения, что особенно важно на начальных этапах, при этом последовательность физико-химических процессов остается без изменений [8].

Бентонит в количестве 0,1–10,0 % от массы цемента улучшает структурообразование бетона, повышает водонепроницаемость в 3–4 раза, снижает водопоглощение, капиллярный подсос, повышает стойкость к воздействию агрессивной среды, увеличивает плотность и снижает общую пористость. Бентонит не изменяет последовательность происходящих при наборе прочности физико-химических процессов и благоприятно влияет на снижение напряжения, возникающего при повышении температуры твердения, особенно на начальном этапе.

Однако, применение чистого бентонита ограничено высокой стоимостью и значительным набуханием бентонита при увлажнении, что приводит к необходимости поиска других вариантов получения бентонита, отдавая предпочтение вторичным продуктам промышленных предприятий [8].

Комплексные и пластифицирующие добавки

Для получения бетона устойчивого к воздействию агрессивных реагентов, гидрофобизирующие и кольматирующие добавки совмещают или применяют в комплексе. [8]

Комплексные добавки, представленные битумными эмульсиями и эмульсосуспензиями, повышают водонепроницаемость и долговечность конструкций [8].

Бентонит, модифицированный техническим углеродом, улучшает водоудерживающие и пластифицирующие характеристики штукатурного раствора. Введение в бетонную смесь 5 % бентонита, модифицированного суперпластификатором, снижает капиллярную пористость, повышает водонепроницаемость до 0,9–1,4 МПа.

Добавка натриевого и кальциевого бентонита, вводимая с битумом, повышает водонепроницаемость бетона, придает ему водоотталкивающие свойства.

Вторичный продукт адсорбционной рафинации растительных масел, содержащий до 10 % жиров, повышает плотность цементного камня, изготовленного из цемента 24,0–26,0 % и песка 73,0–75,75 %, при В/Ц = 0,45–0,55.

Анализ публикаций, проведенный Баженовым Ю. М. с соавторами, показал целесообразность применения вторичных продуктов производства для повышения плотности и прочности бетона. Авторы предлагают разработать принципы создания нано- органоминеральных модификаторов и рассмотреть основные закономерности их влияния на свойства бетонных смесей и бетона.

Перспективы получения и применения ремонтных бетонов

Одной из задач, стоящих перед строительной отраслью, является долговременное содержание конструкций мостов и путепроводов в состоянии, позволяющем беспрепятственно пропускать нормативные нагрузки [8].

Обзор исследований отечественных и зарубежных литературных источников систематизирован и сведен в таблицы по основному влияющему фактору (табл. 1.8–1.10) [8].

Таблица 10.8. Влияние органических компонентов на цементные системы [8]

Авторы, организации	Влияющий фактор	Качественное изменение
В. Москвин, Н. Розенталь	Снижение количества и уменьшение сечения открытых пор	Повышает защитную способность к воздействию агрессивных реагентов

М. Кузьменков, Т. Куницкая, Е. Чернышов, Д. Коротких	Органика	Гидрофобизирует, уменьшает количество крупных пор, закрывает сквозные поры и связывает излишки воды, препятствует комкованию цемента, снижает внутренние напряжения
РХТУ им. Д.И. Менделеева, НИИ Гипроцемент, ЛИСИ, ДНИСИ, МАДИ, П. Ребиндер, Е. Шитиков, Е. Бушнева, Г. Дибров, Н. Амосов	Битум и битумная эмульсия	Образуют коагуляционные контакты и повышают деформативность. Снижают водопоглощение и повышают водонепроницаемость
МИИТ, НИИЦемент, МГСУ, Е. Мануйлова, О. Попов	Техническое или отработанное масло	Снижает водопоглощение
Промтранспроект, В. Савенков, В. Чернявский	Ароматические углеводороды	Гидрофобизируют, заполняют поры бетона
СамГАСА, В. Соловьев, С. Коренькова, Л. Безгина	Отходы нефтехимической промышленности	Повышают водонепроницаемость

Таблица 10.9. Влияние неорганических компонентов на цементные системы [8]

Авторы, организации	Влияющий фактор	Качественное изменение
В. Рамачандран, Р. Фельдман, М. Коллепарди, В. Бабков, А. Ольгинский	Ультрадисперсны е минеральные частицы	Снижают пористость и формируют плотную структуру цементного камня
МИИТ, КазанИСИ, М. Мощанский, И. Гранковский, Е. Бондарь, М. Шумаков, Л. Дворкин и др.	Добавки бентонита и других глинистых минералов	Снижают водопоглощение, повышают водонепроницаемость, морозостойкость и стойкость к воздействию агрессивной среды, кольматируют капиллярные поры, снижают напряжения при наборе прочности бетона

Таблица 10.10. Совместное влияние органических и неорганических компонентов на цементные системы [8]

Авторы, организации	Влияющий фактор	Качественное изменение
Е. Шитиков, Е. Ракитин, Л. Феднер Г. Дибров, В. Мосиенко, В. Фоменко, Д. Фрумин	Комплексные добавки, включающие битум	Увеличивают прочность, снижают открытую пористость и водопоглощение, повышают водо-, морозо- и коррозионную стойкость
РХТУ им. Д.И. Менделеева, Е. Бушнева, Е. Косинов, М. Давидсон, Е. Кузьмин	Битум и инертный наполнитель бентонит или каолин	Повышают водонепроницаемость и морозостойкость, придают водоотталкивающие свойства
Ивановская гос. химико-технологическая академия	Отработанная глина, отход масложирового производства	Повышает плотность и прочность

Способность бетона противостоять воздействию агрессивных реагентов зависит от размера пор, плотности структуры и водоотталкивающих характеристик поверхности. Эти показатели можно улучшить, применяя разнообразные добавки. Несмотря на большой выбор они имеют недостатки: недолговечность, токсичность, требования по соблюдению условий хранения, снижение прочности. Но основное, что их объединяет, это невысокая эффективность. Даже в безнапорных условиях, несмотря на высокие показатели по водонепроницаемости, происходит фильтрация воды через бетонные конструкции. Это подтверждается результатами многочисленных обследований, проведенных специализированными организациями (рис. 10.1–10.3) [8].



Рис. 10.1. Разрушение плитного пролетного строения



Рис. 10.2. Разрушение балки пролетного строения под тротуарным блоком



Рис. 10.3. Разрушение плитно-ребристого пролетного строения

Для придания бетону способности противостоять агрессивному воздействию окружающей среды, необходимо комплексное применение добавок [8].

Из вышеизложенного следует, что введение в бетонную смесь комплексных добавок улучшает физико-технические свойства бетона и повышает долговечность железобетонных конструкций [8].

В связи с этим актуально получение новой добавки, предпочтительно из вторичных продуктов производства, сочетающей в себе свойства гидрофобизирующих и кольматирующих добавок [8].

На нефтеперерабатывающих предприятиях при контактной очистке масла образуются вторичные продукты производства минеральных масел (отработанная глина масляного производства). Они не находят практического применения, что приводит к потере ценного сырья и загрязнению окружающей среды. Их «запасы» в районе Новополоцкого нефтеперерабатывающего предприятия составляют более 3,0 тыс. тонн [8].

На основании анализа рассмотренных работ, вопросы формирования структуры цементного камня с добавкой ОГ представляют, как научный, так и практический интерес. Однако для их внедрения в производственный процесс, необходимо исследовать свойства и разработать технологию введения в состав бетонной смеси [8].

Приведенный выше анализ состояния вопроса и соответствующие этому анализу заключения позволяют выдвинуть рабочую гипотезу. Она заключается в том, что введение добавки ОГ из вторичных продуктов производства минеральных масел должно изменить поровую структуру цементного камня, преобразуя крупные поры в более мелкие, придавая поверхности пор гидрофобные свойства и кольматируя их, что способствует снижению его водопоглощения и повышению водонепроницаемости [8].

На основании проведенного анализа можно сделать вывод, что защитные характеристики бетона зависят от многих факторов, основными из которых являются: размер пор, плотность и непроницаемость структуры, а также способность поверхности бетона (в частности стенок пор) «отталкивать» жидкие агрессивные реагенты. Для улучшения этих показателей используются разнообразные гидрофобные, гидрофобизирующие и кольматирующие добавки [8].

Совместное применение органических и неорганических добавок позволит повысить надежность защиты железобетонных конструкций, так как органические добавки придадут поверхности пор и капилляров гидрофобные свойства, а неорганические позволят перекрыть сечение пор и капилляров, кольматируя их [8].

Также следует принять во внимание тот факт, что бетоны, применяемые при строительстве мостов и путепроводов, должны иметь водонепроницаемость не ниже W6 (СН 3.03.01-2019). Однако результаты многочисленных обследований показывают, что вода проникает в конструкции даже в условиях безнапорной фильтрации, несмотря на высокие показатели бетона по водонепроницаемости [8].

На этом основании сделан вывод, что для повышения способности бетона противостоять агрессивному воздействию окружающей среды целесообразно комплексное применение органических и неорганических добавок. Этим критериям соответствуют вторичные продукты производства минеральных масел, содержащие в своём составе минеральные и органические компоненты [8].

Технологические требования

Прямые и косвенные показатели проницаемости бетона (марка по водонепроницаемости, коэффициент фильтрации, водопоглощение и водоцементное отношение) приведены в таблице 10.11.

Бетон железобетонных конструкций, подвергающийся воздействию агрессивных жидких сред (хлоридов, сульфатов, нитратов и других солей) и

одновременно попеременному замораживанию и оттаиванию, должен иметь марки по морозостойкости не менее указанных в таблице 10.12.

Таблица 10.11. Прямые и косвенные показатели проницаемости бетона

Условное обозначение показателя проницаемости бетона	Показатели проницаемости бетона			
	прямые		косвенные	
	Марка бетона по водонепроницаемости	Коэффициент фильтрации (при равновесной влажности) Kf, см/с	Водопоглощение, % по массе	Водоцементное отношение В/Ц, не более
Н – бетон нормальной проницаемости	W4	$2 \cdot 10^{-9} - 7 \cdot 10^{-9}$	4,7 – 5,7.	0,6
П – бетон пониженной проницаемости	W6	$6 \cdot 10^{-10} - 2 \cdot 10^{-9}$	4,2 – 4,7	0,55
О – бетон особо низкой проницаемости	W8	$1 \cdot 10^{-10} - 6 \cdot 10^{-10}$	менее 4,2	0,45

Таблица 10.12. Марки по морозостойкости бетона железобетонных конструкций, подвергающихся одновременному воздействию растворов солей, замораживанию и оттаиванию

Условия работы конструкций		Суммарное содержание хлоридов, сульфатов, нитратов и других солей в жидкой среде, мг/л					
Класс среды по условиям эксплуатации	Расчетная температура наружного воздуха, °С	От 5000 до 35 000 включ. и св. 70 000			От 35 000 до 70 000 включ.		
		Минимальные марки бетона по морозостойкости для зданий и сооружений класса по степени ответственности					
		I	II	III	I	II	III
XC4, XF3, XF4	-20 – -40	300	200	150	400	300	200
	-5 – -20	250	200	150	300	200	150
XC2, XF1, XF2	-20 – -40	150	100	100	300	200	150
	-5 – -20	100	75	75	200	150	100

Для бетонных и железобетонных конструкций зданий и сооружений с агрессивными средами необходимо предусматривать следующие виды цемента:

- портландцемент, портландцемент с минеральными добавками, шлакопортландцемент, удовлетворяющие требованиям ГОСТ 10178 и СТБ ЕН 197-1;
- сульфатостойкий цемент, удовлетворяющий требованиям ГОСТ 22266;

- глиноземистый цемент, удовлетворяющий требованиям ГОСТ 969;
- напрягающий цемент, удовлетворяющий требованиям СТБ 1335.

Допускаются к применению в бетоне вяжущие низкой водопотребности (ВНВ), вяжущие с добавками-модификаторами бетона и др., приготовленные на основе вышеприведенных цементов при условии экспериментальной проверки коррозионной стойкости бетона и арматуры для конкретной эксплуатационной среды.

Выбор цемента должен производиться с учетом вида агрессивного воздействия:

- в газообразных и твердых средах допускается применение любого цемента по ГОСТ 10178 и СЕМ I, СЕМ II, СЕМ III по СТБ ЕН 197-1;

- в жидких и твердых средах с содержанием сульфатов следует применять сульфатостойкий цемент, шлакопортландцемент и портландцемент нормированного минералогического состава (С3S не более 65 %, С3А не более 7 %, С3А + С4АF не более 22 %). Не допускается применение этого цемента с отклонением от указанных требований по минералогическому составу;

- в жидких средах, агрессивных к бетону по суммарному содержанию солей, эффективно применение глиноземистого цемента при условии соблюдения требований к температурному режиму твердения бетона;

- не допускается применение глиноземистого цемента в средне- и сильноагрессивных жидких средах, оцениваемых по показателям рН, содержанию NH_4^+ , Mg^+ , Na^+ и K^+ , а также для конструкций с предварительно напряженной арматурой;

- не допускается применение портландцемента с содержанием С3А более 8 % и глиноземистого цемента в жидких средах, агрессивных по содержанию щелочей;

- не допускается применение гипсоглиноземистого расширяющегося цемента для изготовления железобетонных конструкций и замоноличивания армированных стыков;

- в конструкциях, к бетону которых предъявляются требования по водонепроницаемости марок выше W6, наравне с сульфатостойким портландцементом допускается применение напрягающего цемента марок выше НЦ-1;

- в жидких средах, агрессивных по содержанию Mg^{2+} и NH_4^+ , применение напрягающего цемента допускается после экспериментальной проверки.

В качестве мелкого заполнителя для бетона следует предусматривать кварцевый песок по ГОСТ 8736 (отмучиваемых частиц не более 1 % по массе), а также пористый песок.

В качестве крупного заполнителя для тяжелого бетона следует предусматривать фракционированный щебень изверженных пород, гравий и щебень из гравия, отвечающие требованиям СТБ 1544. Щебень изверженных пород следует применять марки не ниже 800, гравий и щебень из гравия – марки не ниже 600. Допускается к применению однородный, не содержащий слабых прослоек щебень из осадочных пород водопоглощением не выше 2 % и марки не ниже 600 для конструкций, эксплуатируемых в газообразных, твердых и жидких средах при любой степени агрессивного воздействия, кроме жидких сред с водородным показателем pH менее 5. Для конструктивных легких бетонов следует предусматривать заполнители по СТБ 1217 и ГОСТ 9757. При этом показатели водопоглощения по массе в течение 1 ч не должны превышать для естественных пористых заполнителей 12 %, для искусственных – 25 %.

В мелком и крупном заполнителях не должно содержаться вредных примесей в виде пород и минералов в количествах, превышающих указанные в СТБ 1544. Наличие и количество в заполнителях вредных примесей должно быть указано в соответствующей документации и учитываться при проектировании бетонных и железобетонных конструкций.

Вода для затворения бетонной смеси, приготовления растворов химических добавок и ухода за бетоном должна соответствовать требованиями СТБ 1114.

Для повышения коррозионной стойкости бетона и железобетонных конструкций, а также защитных свойств бетона по отношению к стальной арматуре следует применять химические добавки для бетона:

- пластифицирующие – для снижения содержания воды в бетонной смеси и уменьшения проницаемости бетона;
- воздухововлекающие, микрогазообразующие и гидрофобизирующие – для повышения стойкости бетона при наличии увлажнения и испаряющих поверхностей;
- уплотняющие – для повышения газо- и водонепроницаемости бетона;
- добавки, повышающие защитные свойства бетона по отношению к стальной арматуре – для повышения стойкости железобетонных конструкций в условиях воздействия агрессивных по содержанию хлоридов сред.

В состав бетона железобетонных конструкций, бетонов и растворов для инъектирования каналов, для замоноличивания швов и стыков армированных конструкций, а также в составы вяжущего, заполнителей и воды затворения не допускается введение хлористых солей.

Для железобетонных конструкций, эксплуатирующихся при воздействии агрессивных сред, применяются все виды арматурных сталей, приведенные в

СНБ 5.03.01, но с учетом различной опасности их коррозионного повреждения. В предварительно напряженных конструкциях с термомеханически упрочненной арматурой предпочтительно применять стали, стойкие к коррозионному растрескиванию.

Арматурная сталь перед бетонированием не должна иметь коррозионных повреждений в виде слоистой ржавчины и язв. На поверхности арматуры допускается наличие отдельных раскатанных загрязнений, отпечатков, мелких рисок, царапин и незначительной ржавчины, не ухудшающих ее механических свойств.

Арматура, имеющая коррозионные повреждения, должна подвергаться испытаниям по оценке физико-механических свойств и соответствия требованиям ТНПА, а высокопрочные стали также и на склонность к хрупкому коррозионному разрушению.

Металлизационные покрытия или протекторные лакокрасочные покрытия, применяемые для повышения коррозионной стойкости арматуры, не должны снижать сцепление арматуры с бетоном.

Расчетно-конструктивные требования

Расчет железобетонных конструкций, подверженных воздействию агрессивных сред, следует производить по СНБ 5.03.01 с учетом требований настоящего пункта по предельно допустимой ширине раскрытия трещин. При этом предельно допустимую ширину раскрытия трещин следует назначать в зависимости от класса среды по условиям эксплуатации с учетом класса применяемой арматуры. В таблице 10.13 приведены предельно допустимые значения ширины раскрытия трещин, в таблице 10.14 – требования к защитному слою и водонепроницаемости бетона для сборных конструкций, предназначенных к эксплуатации в твердых и газообразных агрессивных средах. В таблице 10.15 приведены предельно допустимые значения ширины раскрытия трещин и требования к защитному слою и водонепроницаемости бетона для сборных конструкций, предназначенных к эксплуатации в жидких агрессивных средах. Требования указаны для рабочей арматуры.

При определении ширины раскрытия трещин при практически постоянной комбинации нагрузок, приведенной в таблицах 10.3 и 10.5, допускается:

- принимать ветровую нагрузку в размере 30 % нормативного значения;
- учитывать крановую нагрузку от одного мостового или подвесного крана на каждом крановом пути. При этом ширина раскрытия трещин от нагрузок, предусмотренных СНиП 2.01.07, не должна превышать значений, нормируемых СНБ 5.03.01 и указанных в таблице 10.13. При расчете

сооружений типа башен, дымовых труб, опор ЛЭП, мачт, для которых ветровая нагрузка является определяющей, ветровую нагрузку необходимо учитывать в полном объеме.

Таблица 10.13 – Предельно допустимая ширина раскрытия трещин железобетонных конструкций в зависимости от класса среды по условиям эксплуатации при воздействии газообразных и твердых сред

Группа арматурной стали	Класс арматуры	Предельно допустимая ширина раскрытия трещин, мм, при частой (над чертой) и практически постоянной (под чертой) комбинации нагрузок для классов среды по условиям эксплуатации		
		XA1	XA2	XA3
I	S240, S400 (кроме термомеханически упрочненной)	0,25/0,20	0,25/0,15*	0,15/0,1
	S500 (кроме термомеханически упрочненной)	0,25/0,20	0,15/0,1*	0,1/0,05
	S400 и S500 термомеханически упрочненные	0,25/0,20	0,1/0,05*,**	Не допускается к применению
II	S1200 (канаты диаметром св. 12 мм) и S1400 (при диаметре проволоки более 3,5 мм)	—	—	—
III	S800, S1200	—	—	Не допускается к применению
	S1200 (канаты диаметром менее 12 мм) и S1400 (при диаметре проволок менее 3,5 мм)	—	—	—

Арматурная сталь по степени опасности коррозионного повреждения по мере ее возрастания подразделяется на три группы в соответствии с таблицей 10.13. Для армирования предварительно напряженных конструкций, эксплуатируемых в агрессивных средах, следует применять арматурные стали II группы (термически упрочненную арматуру, стойкую против коррозионного растрескивания, высокопрочную проволочную арматуру диаметром 4 мм и более, арматурные канаты диаметром 12 мм и более).

Таблица 10.14 – Требования к защитному слою и водонепроницаемости бетона в зависимости от класса среды по условиям эксплуатации и группы арматурной стали при воздействии газообразных и твердых сред

Группа арматурной стали по таблице 10.3	Минимально допустимая толщина защитного слоя бетона, мм, (над чертой) и марка бетона по водонепроницаемости (под чертой) для класса среды по условиям эксплуатации при воздействии газообразной и твердой среды		
	XA1	XA2	XA3
I	25/W4	30/W6	40/W8
II	35/W4	40/W6	45/W8
III	35/W6	40/W8	50/W8

Толщина защитного слоя бетона определяется наименьшим расстоянием от поверхности конструкций до поверхности ближайшего стержня. Требования к толщине защитного слоя и водонепроницаемости бетона при воздействии газообразных и твердых агрессивных сред приведены в таблице 10.14, а при воздействии жидких сред — в таблице 10.15.

Таблица 10.15 – Требования к железобетонным конструкциям при воздействии жидких агрессивных сред в зависимости от класса среды по условиям эксплуатации и группы арматурной стали

Класс среды по условиям эксплуатации	Требования к железобетонным конструкциям при воздействии жидких агрессивных сред						
	Предельно допустимая ширина раскрытия трещин, мм, при частой (над чертой) и практически постоянной (под чертой) комбинации нагрузок в зависимости от группы арматурной стали			Толщина защитного слоя бетона не менее, мм	Марка по водонепроницаемости бетона, не менее, в зависимости от группы арматурной стали		
	I	II	III		I	II	III
XA1	0,20 / 0,15	–	–	25 / 40	W4	W6	W6
XA2	0,15 / 0,10	–	–	35 / 45	W6	W6	W8
XA3	0,15 / 0,10	–	Не допускается к применению	40 / 50	W8	W8	–

Толщину защитного слоя тяжелого и легкого бетонов конструкций плоских плит, полок ребристых плит и полок стеновых панелей следует принимать не менее 15 мм для классов XA1 и XA2 при воздействии газообразной среды и не менее 20 мм – для XA3 независимо от класса

арматурной стали. Толщину защитного слоя монолитных конструкций следует принимать на 5 мм больше значений, указанных в таблицах 10.4, 10.5. Для предварительно напряженных железобетонных конструкций, в которых не допускается или допускается кратковременное раскрытие трещин, ширину непродолжительного раскрытия трещин следует принимать на 0,05 мм больше при увеличении толщины защитного слоя на 10 мм.

Для конструкций, в которых допускается ограниченное раскрытие трещин, не допускается применение проволоки класса S500 диаметром менее 4 мм в качестве рабочей арматуры. В арматурных канатах предварительно напряженных конструкций диаметр проволок следует принимать не менее 2,5 мм в наружных и 2,0 мм во внутренних слоях канатов.

Предварительно напряженные конструкции для зданий с агрессивными средами не допускается изготавливать способом натяжения арматуры на затвердевший бетон.

Применение конструкционных легких бетонов в несущих конструкциях в агрессивных средах допускается при условии их соответствия тяжелым бетонам по требованиям к проницаемости и способности сохранять стальную арматуру в пассивном состоянии.

Применение ограждающих конструкций из армированных конструктивно-теплоизоляционных легких и ячеистых бетонов в зданиях классов по условиям эксплуатации ХА0 и ХА1 при воздействии агрессивных газообразных или твердых сред допускается при условии предотвращения их попадания в толщу стены, а именно:

- конструкций из легких бетонов – при наличии со стороны воздействия агрессивной среды изолирующего слоя из тяжелого или легкого конструкционного бетона толщиной не менее 30 мм марки по водонепроницаемости не ниже W4;

- конструкций из ячеистых бетонов – при защите арматуры специальными покрытиями;

- для соединения конструкций из ячеистого бетона необходимо, как правило, предусматривать несварные монтажные соединения;

- швы между сборными наружными ограждающими конструкциями должны быть надежно загерметизированы.

Конструкции из армоцемента допускается применять в газообразной и твердой средах класса по условиям эксплуатации ХА1. В газообразной среде толщина защитного слоя должна быть не менее 4 мм, водопоглощение бетона – не более 8 % при защите арматурных сеток и проволок цинковым покрытием толщиной не менее 30 мкм или при защите поверхностей конструкций лакокрасочным покрытием III группы. В твердой среде в дополнение к

указанным мерам следует осуществлять одновременно защиту арматуры и поверхности конструкции.

При замоноличивании стальных закладных деталей соединительных элементов, не имеющих защитных покрытий, толщина защитного слоя и марка бетона по водонепроницаемости должны соответствовать требованиям, предъявляемым к бетону стыкуемых конструкций.

Защита от коррозии поверхностей бетонных и железобетонных конструкций (вторичная защита)

Защиту от коррозии поверхностей железобетонных конструкций следует предусматривать со стороны непосредственного воздействия агрессивной среды и назначать в зависимости от вида и класса среды по условиям эксплуатации.

Защиту поверхностей надземных и подземных железобетонных конструкций следует назначать исходя из условия возможности возобновления защитных покрытий. Для подземных конструкций, вскрытие и ремонт которых в процессе эксплуатации затруднены, необходимо применять материалы, обеспечивающие защиту конструкций на весь период их эксплуатации.

Защита от коррозии поверхностей надземной части конструкций, эксплуатирующихся при воздействии газообразных и твердых (аэрозоли) сред, выполняется с использованием:

- лакокрасочных покрытий;
- гидрофобизации
- при периодическом увлажнении водой, атмосферными осадками, образовании конденсата или для обработки поверхности перед нанесением грунтовочного слоя под лакокрасочные покрытия;
- уплотняющей пропитки химически стойкими материалами.

Защита от коррозии наружных и внутренних поверхностей конструкций, эксплуатирующихся при воздействии жидких агрессивных сред, при непосредственном контакте с твердой агрессивной средой, в грунтах в зависимости от вида и класса среды по условиям эксплуатации должна осуществляться:

- лакокрасочными толстослойными (мастичными) покрытиями;
- оклеечными покрытиями из рулонных, листовых и пленочных материалов с возможным использованием их в качестве непроницаемого подслоя в облицовочных покрытиях;

- облицовочными (футеровочными) покрытиями, в том числе из полимербетонов или штучными изделиями, и в качестве защиты от механических повреждений оклеечного покрытия;
- уплотняющей пропиткой химически стойкими материалами;
- обмазочными и штукатурными покрытиями на основе цементных и полимерных вяжущих, жидкого стекла и битума;
- биоцидными материалами
- при воздействии бактерий, выделяющих кислоты, и грибов.

Лакокрасочные, оклеечные и облицовочные (футеровочные) покрытия в соответствии с их защитными свойствами подразделяются на четыре группы (защитные свойства групп покрытий повышаются от первой к четвертой). Необходимость применения защиты поверхностей конструкций, группы принимаемых покрытий и примерная их толщина в зависимости от класса среды по условиям эксплуатации приведены в таблице 10.16.

Таблица 10.16 – Способы защиты поверхностей железобетонных конструкций в зависимости от класса среды по условиям эксплуатации и вида агрессивной среды

Среда	Классы среды по условиям эксплуатации и	Группы покрытий (числитель) и толщина* покрытия, мм (знаменатель)			
		лакокрасочных		оклеечных	облицовочных (футеровочных)
		обычных	толстослойных (мастичных)		
Газообразная, твердая	ХА1	I**, II**/ 0,1 0,15	–	–	–
	ХА2	III*** 0,15 0,2			
	ХА3	IV 0,2 0,25			
Жидкая	ХА1	–	II / 1,0 1,5		
	ХА2	–	III / 1,5 2,5	III – IV	III
	ХА3	–	IV / 2,5 5,0	IV	IV

Лакокрасочные защитные покрытия, применяемые для защиты надземных конструкций, делятся на атмосферостойкие (а – стойкие на открытом воздухе, ан – стойкие под навесом) и для внутренних работ (п – в помещениях).

К покрытиям в зависимости от класса среды по условиям эксплуатации, нагрузки и температуры могут предъявляться дополнительные требования стойкости (в – водостойкие, тр – трещиностойкие, м – маслостойкие и другие

в соответствии с приложением В). Трещиностойкие лакокрасочные покрытия следует предусматривать для конструкций, деформации которых сопровождаются раскрытием трещин в пределах, указанных в таблицах 10.3 и 10.5.

Системы лакокрасочных покрытий включают грунтовочные и покрывные защитные слои. В качестве грунтовок по бетону обычно служат лаковые и эмульсионные составы. Лакокрасочные материалы, используемые для защиты поверхностей железобетонных конструкций, приведены в приложении В. Основные контролируемые параметры защитных покрытий приведены в таблице 10.17.

Таблица 10.17 – Показатели качества защитных покрытий

Показатели качества	Виды покрытий и группы					
	лакокрасочные		мастичные		Гидрофобизация	Уплотняющая пропитка
	I, II	III	III	IV		
Прочность сцепления с бетонным основанием, МПа, не менее	0,6	0,8	0,5	1,5	–	–
Водопоглощение за 24 ч, %, не более	0,8	0,5	0,5	0,4	–	0,3
Морозостойкость					Увеличение марки по ГОСТ 10060.2 по сравнению с контрольным образцом	
	–40°С	–40°С	–F100	–F100	в 1,5 раза	в 2 раза
Стойкость к воздействию химических сред (изменение массы), %, не более	3	2	2	1	–	2
Показатель эффективности, не менее	–	–	–	–	3	5
Коэффициент паропроницаемости по ГОСТ 28575, [мг/(м·ч·Па)]·103, не более при толщине покрытия***, мкм	5,0/100	1,0/150	8,0/200	0,6/250	-	1,0

Толщина пленочных оклеечных покрытий должна быть не менее 0,2 мм, мастичных толстослойных – от 1 до 5 мм.

Все материалы, применяемые для защиты от коррозии, следует сопровождать сертификатом качества.

Защита поверхностей подземных конструкций назначается в зависимости от класса среды по условиям эксплуатации с учетом вида конструкций, их массивности, технологии изготовления и возведения, возможного повышения уровня грунтовых вод и их агрессивности в процессе эксплуатации сооружения.

Наружные боковые поверхности подземных конструкций зданий и сооружений, а также ограждающие конструкции подвальных помещений, подвергающихся воздействию агрессивных грунтовых вод или грунтов, защищаются, как правило, мастичными, оклеечными или облицовочными покрытиями. В зависимости от гидростатического напора грунтовых вод и влажностного режима помещений тип гидроизоляции следует назначать согласно П8 к СНБ 5.01.01.

При наличии жидких агрессивных сред бетонные и железобетонные фундаменты под металлические колонны и оборудование, а также участки поверхностей других конструкций, примыкающих к полу, должны быть защищены химически стойкими материалами на высоту не менее 300 мм от уровня чистого пола. При систематическом попадании на фундаменты жидкой среды классов по условиям эксплуатации ХА2 и ХА3 необходимо предусматривать устройство поддонов. Участки поверхностей конструкций, где невозможно технологическими мероприятиями избежать облива или обрызга агрессивными жидкостями, должны иметь местную дополнительную защиту оклеечными, облицовочными или другими покрытиями.

При применении рулонной изоляции для защиты боковых поверхностей последнюю необходимо заводить под подошву фундамента.

Под подошвы бетонных и железобетонных фундаментов следует предусматривать устройство подготовки и изоляции, стойкой к воздействию агрессивной среды. Для защиты подошв фундаментов, расположенных в агрессивных грунтовых водах (с учетом возможности их повышения), необходимо предусматривать:

- в кислых средах классов ХА1 и ХА2 – устройство щебеночной подготовки толщиной 100–150 мм из плотных изверженных горных пород с последующей укладкой слоя кислотостойкого асфальта;

- в сульфатных средах классов ХА1 и ХА2 – устройство щебеночной подготовки толщиной 100–150 мм с проливкой горячим битумом с последующей подготовкой из бетона или цементно-песчаного раствора, или

слоя горячей асфальтовой мастики, а для сульфатных сред класса ХА3 – подготовки из бетона или цементно-песчаного раствора на сульфатостойком портландцементе.

Поверхности забивных и вибропогружаемых свай должны быть защищены механически прочными покрытиями или пропиткой, сохраняющими защитные свойства в процессе погружения. При этом марку бетона по водонепроницаемости для свай следует принимать не ниже W6.

При защите поверхности свай лакокрасочными (мастичными) покрытиями или пропиткой несущую способность забивных свай следует уточнять испытаниями. Из-за возможных механических повреждений покрытий при забивке свай минимальная величина сцепления покрытия с бетоном должна быть не менее 0,4 МПа.

В жидких органических средах (масла, нефтепродукты, растворители) не допускается применение покрытий, а также композиций герметиков на основе битума. Битумные материалы не рекомендуется применять при воздействии кислот с концентрацией: уксусной и хлоруксусной, азотной – более 10 %, серной – более 70 %, олеиновой и пикриновой – 100 %, жирных кислот.

Для подземных конструкций, в которых устройство защиты поверхности затруднено (буронабивные сваи, конструкции, возводимые методом «стена в грунте», и т. п.), необходимо применять первичную защиту с использованием специальных видов цемента, заполнителей, подбором составов бетона, введением добавок, повышающих стойкость бетона, и т. п.

В деформационных швах ограждающих конструкций должны быть предусмотрены компенсаторы из оцинкованной, нержавеющей или гуммированной стали, полиизобутилена или других материалов, и установка их на химически стойком герметике с плотным закреплением. Конструкция деформационного шва должна исключать возможность проникания через него агрессивной среды.

Класс среды по условиям эксплуатации при воздействии среды на необетонируемые поверхности закладных и соединительных деталей определяется как к элементам металлических конструкций. Защиту от коррозии поверхностей необетонируемых стальных закладных деталей и соединительных элементов железобетонных конструкций в зависимости от их назначения и класса среды по условиям эксплуатации следует производить:

– лакокрасочными покрытиями в помещениях с сухим или нормальным влажностным режимом классов среды по условиям эксплуатации ХА0 и ХА1, а также поверхностей элементов, доступных для возобновления покрытий;

– металлическими покрытиями (цинковыми и алюминиевыми) в помещениях с влажным или мокрым режимом и на открытом воздухе для классов среды по условиям эксплуатации ХА0 и ХА1;

– комбинированными покрытиями (лакокрасочными по металлизационному слою) для классов среды по условиям эксплуатации ХА2 и ХА3. На соприкасающиеся плоскости соединяемых сваркой закладных деталей и соединительных элементов допускается не наносить защитных покрытий.

Закладные детали и соединительные элементы в стыках наружных ограждающих конструкций, подвергающиеся увлажнению атмосферной влагой, конденсатом, промышленными водами, независимо от степени агрессивного воздействия среды должны быть защищены металлическими или комбинированными покрытиями; предпочтительно изготавливать их из коррозионностойких видов стали.

Толщина металлизационных покрытий и металлизационного слоя в комбинированных покрытиях должна быть для цинковых и алюминиевых покрытий не менее 120 мкм. Минимальная толщина покрытий, наносимых гальваническим методом, методами горячего, холодного цинкования и газотермического напыления, должна быть соответственно 30 мкм, 50 мкм, 60 мкм и 100 мкм. При толщине слоя алюминиевого покрытия свыше 120 мкм следует перед сваркой закладных деталей удалять покрытие с места наложения сварного шва.

Толщина стальных элементов закладных деталей и связей (лист, полоса, профиль), подвергающихся коррозионным воздействиям, должна приниматься не менее 6 мм, а арматурных стержней – не менее 12 мм.

Обетонирование закладных и соединительных деталей или их замоноличивание в узлах сопряжения строительных конструкций должно осуществляться тяжелым, в том числе мелкозернистым, бетоном или раствором марки по водонепроницаемости, равной марке по водонепроницаемости стыкуемых конструкций, но не ниже W4, а для замоноличиваемых стыков, находящихся внутри здания или примыкающих к наружным ограждающим конструкциям, – по проекту.

Участки защитных покрытий, нарушенные при монтаже и сварке, а также сварной шов должны быть защищены путем нанесения на поверхности тех же или равноценных составов покрытий требуемой толщины.

Для защиты стальной арматуры железобетонных свай, фундаментов, дорожных сооружений, элементов конструкций зданий при воздействии хлоридов или в условиях карбонизированного бетона применяют катодную поляризацию стали.

В случаях, когда защиту от коррозии бетонных и железобетонных конструкций невозможно обеспечить мерами, предусмотренными в техническом кодексе, следует применять конструкции из химически стойких бетонов – полимербетонов или кислотостойких бетонов.

Тема 11. Методы оценки и прогнозирования коррозионной стойкости строительных конструкций.

Методы оценки и прогнозирования коррозионной стойкости железобетонных конструкций. Методы оценки и прогнозирования коррозионной стойкости металлических, деревянных конструкций и конструкций из пластмасс.

Оценка технического состояния

Оценку технического состояния строительных объектов проводят в следующих случаях:

- а) по истечении расчетного срока службы объекта;
- б) при модернизации и реконструкции объекта, во время которой в существующую конструктивную систему добавляют новые элементы конструкции;
- в) при проверке возможности существующей конструкции выдерживать нагрузки, связанные с ожидаемыми эксплуатационными изменениями в использовании данного объекта;
- г) в случае любого вида ремонта (комплексного, капитального, текущего) зданий и конструкций, подвергшихся износу при длительной эксплуатации;
- д) при проверке эксплуатационной пригодности конструкций после аварийных воздействий (землетрясения, взрывных воздействий и т.п.);
- е) при проведении технического мониторинга;
- ж) при изменении природно-климатических условий места расположения строительного объекта.

Проверку и оценку технического состояния строительного объекта проводят по плану технического обслуживания, по запросу владельцев или органов власти.

При оценке технического состояния анализ и расчет существующих конструкций необходимо выполнять на основе положений, изложенных выше и результатов обследования. Отмененные нормативные документы, действовавшие в период проектирования первоначальной конструкции, а также численные данные, правила и методики, не рассматриваемые в действующих нормативных документах, могут быть использованы только как вспомогательные материалы.

При проведении анализа и расчета конструкций на стадии оценки их технического состояния размеры элементов конструкции и их соединений

допускается принимать в соответствии с первоначальной проектной документацией в том случае, если при обследовании не выявлено каких-либо существенных отклонений. В противном случае необходимо использовать результаты непосредственных измерений и натурных обследований.

При проведении расчетов по оценке технического состояния строительного объекта нагрузки и климатические воздействия должны соответствовать фактическим расчетным ситуациям.

Свойства материалов следует рассматривать в соответствии с фактическим состоянием конструкции. В случае если имеются документы по первоначальному проекту сооружения и в результате технического обследования не зафиксированы изменения свойств материалов, допускается использовать расчетные значения, принятые в первоначальном проекте. При необходимости следует провести контроль (разрушающий или неразрушающий) и проверку несущей способности конструкций, на основе полученных при обследовании данных.

Итоговый документ проверки конструкций по результатам обследований и выполненных расчетов должен содержать выводы о текущем техническом состоянии строительного объекта и возможных условиях его дальнейшей эксплуатации.

Применение вероятностно-статистических методов

Вероятностно-статистические методы рекомендуется применять для обоснования нормативных и расчетных характеристик материалов и оснований, нагрузок и коэффициентов сочетаний. Использование указанных методов допускается при наличии достаточных данных об изменчивости основных параметров в случае, если количество (длина ряда) данных позволяет проводить их статистический анализ (в частности, эти данные должны быть однородными и статистически независимыми). Применение таких методов допускается при наличии эффективных вероятностных методик учета случайной изменчивости основных параметров, соответствующих принятой расчетной схеме.

ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

По учебной дисциплине «Теория и практика обеспечения надежности, безопасности и долговечности конструкций, зданий и сооружений» магистранты готовят рефераты. Тема реферата должна быть увязана с темой магистерской диссертации.

Примерные темы рефератов

1. Мониторинг НДС несущих конструкций мостов как фактор повышения надежности, безопасности и долговечности сооружений.
2. Влияние трещинообразования конструкций железобетонной обделки тоннелей на долговечность.
3. Определение значений просадок грунта при проходке ТПМК, как фактор контроля НДС сооружений.
4. Влияние конструктивных особенностей сооружения на производство работ по его строительству.
5. Восстановление гидроизоляции подземных сооружений и ее влияние на долговечность.
6. Аварии мостовых сооружений в период монтажа и их причины.
7. Надежность деформационных швов, как фактор долговечности мостов.
8. Повышение долговечности металлических сварных пролетных строений мостов с усталостными трещинами.
9. Применение трубобетонных конструкций с оболочкой из композиционных материалов при строительстве мостов.
10. Обеспечение ровности проезда на подходах к мостам.
11. Прочностной расчет жестких аэродромных покрытий.
12. Совершенствование метода расчета долговечности асфальтобетонного покрытия на ортотропной плите мостов.
13. Устройство дорожных покрытий и оснований с применением холодной регенерации асфальтобетона в установке.
14. Учет структурных разрушений неукрепленного каменного материала оснований при проектировании дорожных одежд.
15. Моделирование напряженного состояния оснований бесконусных армогрунтовых устоев мостов.

КОНТРОЛЬ ЗНАНИЙ

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Перечень контрольных вопросов и заданий для самостоятельной работы

1. Основные положения теории обеспечения надежности строительных конструкций, зданий и сооружений
2. Основные термины и определения. Общие требования
3. Общие требования к расчетным моделям
4. Учет свойств строительных материалов и грунтов
5. Учет условий работы материалов, конструкций и оснований
6. Обеспечение безопасности строительных конструкций, зданий и сооружений
7. Учет ответственности сооружений
8. Предельные состояния
9. Нагрузки и воздействия
10. Долговечность строительных конструкций, зданий и сооружений
11. Долговечность конструкций и оснований сооружений
12. Коррозионные воздействия на строительные конструкции зданий и сооружений
13. Способы и методы защиты строительных конструкций от коррозии
14. Методы оценки и прогнозирования коррозионной стойкости строительных конструкций

Средства диагностики результатов учебной деятельности

Оценка уровня знаний студента производится в форме экзамена в соответствии с критериями, утвержденными Министерством образования Республики Беларусь.

Для оценки достижений магистранта рекомендуется использовать следующий диагностический инструментарий:

- выступление магистранта на конференции по подготовленному реферату;
- сдача экзамена по дисциплине.

Тематика рефератов

1. Технические решения проектов транспортных сооружений с повышенной надежностью.
2. Разработка инновационных материалов залог повышения надежности транспортных сооружений.
3. Выдающиеся мостовые сооружения современности.

4. Выдающиеся сооружения Беларуси.
5. Пути повышения надежности, долговечности и безопасности.

Методические рекомендации по организации и выполнению самостоятельной работы магистрантов

При изучении дисциплины рекомендуется использовать следующие формы самостоятельной работы:

- подготовка рефератов по индивидуальным темам;
- подготовка сообщений, тематических докладов, презентаций по заданным темам;
- изготовление макетов;
- составление тематической подборки литературных источников, интернет-источников;
- проработка тем (вопросов), вынесенных на самостоятельное изучение.

ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ

В задачи дисциплины входит изучение:

- изучение основных положений теории обеспечения надежности строительных конструкций, зданий и сооружений в целом;
- изучения вопросов, касающихся проблем обеспечения безопасности при эксплуатации промышленных и гражданских зданий, гидротехнических и транспортных сооружений;
- изучение методов и способов обеспечения требуемой долговечности при эксплуатации зданий и сооружений.

В результате изучения учебной дисциплины «Теория и практика обеспечения надежности, безопасности и долговечности конструкций, зданий и сооружений» магистрант должен:

знать:

- знать практические приемы обеспечения долговечности строительных изделий и конструкций, зданий и сооружений;

уметь:

- анализировать и выявлять факторы, влияющие на безопасность строительных конструкций;

владеть:

- теорией обеспечения надежности конструкций, зданий и сооружений.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
Распределение аудиторных часов по видам занятий

Название раздела, темы	Лекции (часы)	Всего аудиторных часов
1 семестр		
Раздел 1. Основные положения теории обеспечения надежности строительных конструкций, зданий и сооружений		
Тема 1. Основные термины и определения. Общие требования	6	6
Тема 2. Общие требования к расчетным моделям	6	6
Тема 3. Учет свойств строительных материалов и грунтов	8	8
Тема 4. Учет условий работы материалов, конструкций и оснований	8	8
Раздел 2. Обеспечение безопасности строительных конструкций, зданий и сооружений		
Тема 5. Учет ответственности сооружений	4	4
Тема 6. Предельные состояния	6	6
Тема 7. Нагрузки и воздействия	6	6
Раздел 3. Долговечность строительных конструкций, зданий и сооружений		
Тема 8. Долговечность конструкций и оснований сооружений	6	6
Тема 9. Коррозионные воздействия на строительные конструкции зданий и сооружений	6	6
Тема 10. Способы и методы защиты строительных конструкций от коррозии	6	6
Тема 11. Методы оценки и прогнозирования коррозионной стойкости строительных конструкций	6	6
Итого за семестр	68	68

ЛИТЕРАТУРА

1. Инженерные сооружения в транспортном строительстве В 2 кн. Кн.1 : учебник для студ. высш. учеб. заведений / П.М. Саламахин [и др.]; под общ. ред. П.М. Саламахина. – М.: Издательский центр «Академия», 2007.- 352 с.
2. Ковалев, Я.Н. Основы обучения в техническом университете: учебно-методическое пособие/ Я.Н. Ковалев, И.И. Леонович. – Минск: БНТУ, 2007. – 69 с.
3. Автомобильные дороги / Я.Н. Ковалев [и др.]. – Минск: Арт Дизайн, 2006. – 352 с.
4. Минин, А.В. Золотые пояса Беларуси /А.В. Минин, А.С. Сардаров [и др.]. – Минск: Арт Дизайн, 2005.
5. Дерюшев Л.Г. Надежность сооружений систем водоснабжения : учебное пособие / Л.Г. Дерюшев, Х.Х. Фам, Н.Л. Дерюшева: М-во образования и науки Рос. Федерации. Моск. гос. строит. ун-т. Москва : МГСУ, 2015. 280 с.
6. Арискин М.В. А81 Прикладные вопросы надежности строительных конструкций. Безопасная эксплуатация зданий и сооружений: учеб. пособие / М.В. Арискин, С.А. Толушов, С.А. Болдырев; под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. Ю.П. Скачкова. – Пенза: ПГУАС, 2015. – 84 с.
7. Васильев А. И. Основы надежности транспортных сооружений: Учебное пособие – М., МАДИ. – 46 с. М-ва. 2008.
8. Гречухин, В. А. Инновационные технологии и материалы для ремонта мостов и тоннелей / В. А. Гречухин, Г. Д. Ляхевич. – Минск : БНТУ, 2021. – 126 с.