**Министерство строительства
и жилищно-коммунального хозяйства
Российской Федерации**

**Федеральное автономное учреждение
«Федеральный центр нормирования, стандартизации
и оценки соответствия в строительстве»**

Методические рекомендации

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Москва 2018 г.

gost.e-ecolog.ru

Содержание

Введение ……..3
1 Область применения ……4
2 Нормативные ссылки ……...5
3 Термины и определения ……..7
4 Общие положения ……8
5 Основные предпосылки к расчетному подходу по оценке остаточного ресурса ……...11
6 Методика оценки остаточного ресурса несущих конструкций ……16
Приложение А. Рекомендуемые минимальные значения индекса надежности β ……24
Приложение Б. Методика оценки остаточного ресурса несущих железобетонных конструкций по критерию прочности ……...38
Приложение В. Приближенная оценка остаточного ресурса несущих железобетонных конструкций……..……...38
Библиография ……...……50

Введение

Настоящая методика разработана в развитие положений СП 255.1325800.2016 «Здания и сооружения. Правила эксплуатации. Основные положения» для реализации проектировщиками требований, заложенных в сводах правил, и выполнения более грамотного и рационального проектирования зданий и сооружений, а также для содействия экспертным и эксплуатирующим организациям при составлении и планировании бюджетов на обслуживание и капительный ремонт несущих конструкций зданий и сооружений.

Разработка методики направлена на решение следующих задач:

- рекомендации по методике оценки остаточного ресурса несущих конструкций зданий и сооружений;

- развитие положений СП 255.132800.2016 «Здания и сооружения. Правила эксплуатации. Основные положения».

Методика разработана авторским коллективом: А.В. Цапулина, гл. инж. Г.Н. Кохало (ООО «НИЦ КБС»); к. т. н. С.А. Зенин, инж. А.М. Петров (АО «НИЦ «Строительство»).

1 Область применения

Методика разработана для применения широким кругом специалистов, чья деятельность связана с проектированием и исследованиями в области строительства зданий и сооружений.

Настоящая методика предназначена для оценки остаточного ресурса несущих конструкций жилых и общественных зданий и сооружений, необходимой при технической инвентаризации, планировании и проектировании капитального ремонта.

Методика не распространяется на оценку остаточного ресурса несущих конструкций зданий и сооружений, пострадавших в результате стихийных бедствий.

2 Нормативные ссылки

В настоящей методике использованы ссылки на следующие нормативные документы:

ГОСТ 27751-2014 «Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения»;

ГОСТ 31937-2011 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния»;

СП 15.13330.2012 «СНиП II–22–81* Каменные и армокаменные конструкции»;

СП 16.13330.2017 «СНиП II–23–81* Стальные конструкции»;

СП 20.13330.2016 «СНиП 2.01.07–85* Нагрузки и воздействия»;

СП 22.13330.2016 «СНиП 2.02.01–83* Основания зданий и сооружений»;

СП 24.13330.2011 «СНиП 2.02.03–85 Свайные фундаменты»;

СП 28.13330.2017 «СНиП 2.03.11–85 Защита строительных конструкций и коррозии»;

СП 50.13330.2012 «СНиП 23–02–2003 Тепловая защита зданий»;

СП 63.13330.2012 «СНиП 52–01–2003 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения»;

СП 64.13330.2017 «СНиП II–25–80 Деревянные конструкции»;

СП 70.13330.2012 «СНиП 3.03.01–87 Несущие и ограждающие конструкции»;

СП 131.13330.2012 «СНиП 23–01–99* Строительная климатология»;

СП 255.1325800.2016 «Здания и сооружения. Правила эксплуатации. Основные положения».

Примечание – При пользовании настоящей методикой целесообразно проверить действие ссылочных стандартов и классификаторов в информационной системе общего пользования – на официальном сайте

национального органа Российской Федерации по стандартизации в сети Интернет или по ежегодно издаваемому информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован на 01 января текущего года, и по соответствующим ежемесячно издаваемым информационным указателям, опубликованным в текущем году. Если ссылочный документ заменен (изменен), то при пользовании настоящей методикой следует руководствоваться замененным (измененным) документом. Если ссылочный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины и определения

В настоящей методике правил применены следующие термины с соответствующими определениями:

ресурс несущей конструкции (срок службы): календарная продолжительность эксплуатации или ее возобновление после ремонта конструкции до перехода несущей конструкции в предельное состояние (момент снятия с эксплуатации);

остаточный ресурс несущей конструкции (остаточный срок службы): календарная продолжительность эксплуатации несущей конструкции от момента контроля ее технического состояния (идентификации) до перехода в предельное состояние;

предельное состояние несущей конструкции: состояние несущей конструкции, при которой эксплуатация несущей конструкции недопустима или нецелесообразна;

отказ: событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния;

наработка: продолжительность работы конструкции;

надежность конструкции: свойство конструкции сохранять во времени и в установленных пределах безотказное состояние и выполнять требуемые функции в течение расчетного срока службы;

уровень надежности конструкции: характеристика, численно устанавливающая надежность конструкции, а также вероятность наступления отказа конструкции в расчетный срок службы.

4 Общие положения

Настоящая методика позволяет выполнить расчетный прогноз остаточного ресурса несущих конструкций на стадии эксплуатации. В общем случае остаточный ресурс эксплуатируемой конструкции определяется ее перерасчетом на основании фактических и прогнозируемых характеристик материалов.

Методика расчетного прогнозирования срока службы учитывает требования действующих нормативных документов по проектированию несущих конструкций: СП 15.13330, СП 16.13330, СП 63.13330, СП 64.13330 и др.

В качестве базовой концепции оценки остаточного ресурса несущей конструкции принимают подход, основанный на принципе безопасной эксплуатации по техническому состоянию [3]. Согласно данному подходу оценку технического состояния конструкции осуществляют по параметрам технического состояния, обеспечивающим ее надежную и безопасную эксплуатацию согласно действующим нормативным документам (ГОСТ 31937, СП 15.13330, СП 16.13330, СП 63.13330, СП 64.13330 и пр.) и конструкторской документации, а остаточный ресурс – по определяющим параметрам технического состояния согласно п. 8.3 СП 255.1325800.

В качестве определяющих параметров технического состояния для оценки остаточного ресурса принимают в общем случае параметры, изменение которых (в отдельности или в некоторой совокупности) может привести конструкцию в неработоспособное или предельное состояние.

В зависимости от критериев предельного состояния и условий эксплуатации конструкции параметрами ее технического состояния могут служить:

- характеристики материалов (механические характеристики – предел текучести, предел прочности, твердость, трещиностойкость, пределы

выносливости, длительной прочности, ползучести и т.д., химический состав, характеристики микроструктуры и т.д.);

- несущая способность конструкции (с учетом имеющихся граничных условий, нагрузок и возможных типов разрушений);

- характеристики нагрузок и воздействий (температура, давление, динамика и т.д.).

В качестве основного параметра технического состояния конструкции для оценки ее остаточного ресурса принимают, как правило, несущую способность конструкции. В данном случае несущую способность конструкций определяют в зависимости от вида их материала согласно требованиям действующих нормативных документов (СП 15.13330, СП 16.13330, СП 63.13330, СП 64.13330, СП 24.13330 и др.) с учетом положений настоящей методики.

При принятии в качестве критериев характеристик нагрузок и воздействий учитывают положения СП 20.13330 по назначению их величин и длительности.

Оценку параметров технического состояния и выбор определяющих параметров осуществляют по результатам анализа технической документации, экспертного обследования, данных мониторинга (при наличии).

По сравнению с предусмотренной в нормативно-технической и конструкторской (проектной) документации может вводиться дополнительная система критериев предельного состояния, переход в которое определяет остаточный ресурс рассматриваемой конструкции.

Прогнозирование остаточного ресурса в общем случае осуществляется согласно закономерностям изменения определяющих параметров, полученным при анализе механизмов развития повреждений и (или) по результатам измерения функциональных показателей. На основании

полученных оценок принимается решение о дальнейшей эксплуатации конструкции.

Допускается использовать положения данной методики для определения сроков службы несущих конструкций на иных стадиях жизни несущей конструкции (например, проектирование и строительство).

На стадии проектирования может быть определен расчетный срок службы несущей конструкции с заданными характеристиками материалов. При определении расчетного срока службы учитывают климатические особенности участка строительства, принятые характеристики материалов, геометрические характеристики конструкции. Представляется возможным проектирование конструкции с любым заданным сроком службы.

На стадии строительства может быть определен прогнозируемый срок службы реально построенной конструкции с учетом реальных параметров материалов, дефектов изготовления конструкции и отступлений от требуемой технологии. Расчеты выполняют по предельным состояниям, используя фактические прочностные характеристики материалов и учитывая величины дополнительных напряжений в конструкции, обусловленных технологическими отступлениями. При этом по мере получения дополнительной информации в процессе эксплуатации конструкции, в частности, по мере наполнения базы данных по техническим параметрам конструкции по результатам обследований и работ по мониторингу, данный прогноз может уточняться.

5 Основные предпосылки к расчетному подходу по оценке остаточного ресурса

При эксплуатации несущей конструкции рассматривают три этапа эксплуатации. Первый этап – период приработки конструкции. Второй этап – время работоспособной работы конструкции, третий этап – достижение предельного срока службы конструкции (см. рисунок 5.1).

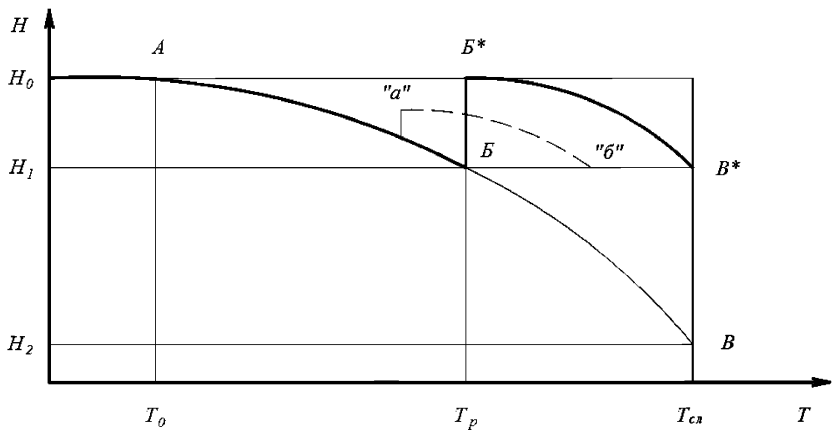

Рисунок 5.1 – График снижения надежности (**H**) конструкции:
$\boldsymbol{T_0}$ – период приработки; $\boldsymbol{T}_{\text{р}}$ – работоспособность; $\boldsymbol{T}_{\text{сл}}$ – предельный срок службы

На первом этапе эксплуатации, когда построенная конструкция эксплуатируется некоторое время без снижения надежности (период приработки). За этот период протекают основные длительные деформации конструкций (например, ползучесть), возрастает прочность бетона, нормально функционируют системы водоотведения и гидроизоляция и т.п.

На данном этапе вероятность безотказной работы конструкции сохраняется на высоком уровне: P(t)=0,9986 [2]. В течение указанного периода за конструкцией осуществляются только содержание и профилактические работы. Выполнение работ по содержанию и профилактике конструкций в целом выполняется согласно СП 255.1325800. Продолжительность этого периода зависит от качества изготовления и монтажа конструкций (рис. 5.1, точка А).

Второй этап эксплуатации характеризуется появлением и развитием дефектов, изменением свойств материалов конструкции, развитием коррозии. Появляются отказы в элементах конструкции, срок службы которых ниже (покрытие, деформационные швы, изоляция и т.п.). Дефекты и отказы влияют на несущую способность конструкции. Конструкция продолжает эксплуатироваться в прежнем режиме, т.е. без каких-либо ограничений, хотя ее надежность постепенно снижается (см. рис. 5.1, линия А–Б). Продолжительность второго этапа определяется временем, за которое вероятность безотказной работы конструкции снижается с 0,9986 до 0,9 [2]. В этот период за конструкцией ведется уход и проводятся плановые профилактические работы, а также локальный ремонт в рамках работ по содержанию.

Продление указанного этапа возможно при проведении планово-предупредительных работ (ППР) – см. рис. 5.1, линия «а» – «б».

Снижение вероятности безотказной работы конструкции в течение второго этапа (см. рис. 5.1, точка Б) означает, что дальнейшая эксплуатация конструкции по первоначальной схеме невозможна и конструкция подлежит ремонту. В случае, если выполнение ремонта задерживается или перенесено на более поздний срок, то допускается дальнейшая временная эксплуатация конструкции (до проведения ремонта) при обязательном изменении условий ее нагружения (т.е. при введении ограничений по временной нагрузке).

Третий этап эксплуатации конструкции характеризуется двумя факторами:

- наличием дефектов, снижающих их несущую способность;

- введением ограничений по нагрузкам и воздействиям на конструкцию, и периодическим последующим снижением их величин с целью обеспечения требуемой надежности.

Продолжительность третьего этапа (см. рис. 5.1, участок Б–В) определяется временем, необходимым для достижения конструкцией такого состояния, когда, при максимально возможных ограничениях по временной нагрузке, вероятность безотказной ее работы снова достигает $P = \mathbf{0,9}$ [2].

На третьем этапе эксплуатации конструкции обязательно должен быть выполнен ее ремонт, не дожидаясь наступления момента В (см. рис. 5.1), или предпринята серия ремонтных мероприятий (определяется экономическими расчетами), включая планово-предупредительные работы, цель которых переместить момент времени ремонта конструкции или ее восстановления, в т.ч. за счет изменения темпов деградации материалов.

Уровни надежности в общем случае определяются основными принципами подхода к расчету по оценке остаточного ресурса несущей конструкции. В настоящей методике рассматриваются два основных уровня надежности – $Н_1$ и $Н_2$ (см. рис. 5.1).

Уровень $Н_1$ характеризуется достаточным значением вероятности безотказной работы конструкций ($P = \mathbf{0,9}$) в условиях действия проектных нагрузок. Этому уровню соответствует временной отрезок $\boldsymbol{T}_р$, называемый работоспособным периодом (условно, работоспособностью) и определяемый для проектируемых, строящихся или недавно построенных сооружений. При достижении уровня $Н_1$ снижается несущая способность конструкции или выполняется ее ремонт.

Уровень $Н_2$ характеризуется пониженным значением вероятности безотказной работы в условиях действия проектных нагрузок. Этому уровню

соответствует предельный износ конструкции, а ее дальнейшая эксплуатация недопустима даже при пониженной эксплуатационной нагрузке. Первое снижение допустимой нагрузки происходит в возрасте конструкций до $T_р$. Последующие снижения нагрузки возможны на участке Б–В (Б*–В*) (см. рисунок 5.1,), что может продлить период эксплуатации до достижения уровня $Н_2$.

Критерием невозможности эксплуатации несущей конструкции преимущественно принимают исчерпание ее несущей способности. При необходимости в качестве данного критерия могут быть приняты иные параметры технического состояния конструкции.

Уровни надежности $Н_1$ и $Н_2$ также могут быть характеризованы соответствующей величиной индекса надежности β, являющейся аргументом функции (Ф) вероятности наступления отказа. Величины индекса надежности β принимают в общем случае с учетом уровня ответственности здания или сооружения, в котором находятся рассматриваемые конструкции, расчетной ситуации и других факторов. Допускается назначать индексы надежности β согласно Приложению А.

Остаточный ресурс эксплуатируемой конструкции определяется периодом эксплуатации до достижения предельного износа. Момент наступления предельного износа (момент невозможности дальнейшей эксплуатации) устанавливают, как правило, на основании графика снижения несущей способности, построенного по результатам перерасчета конструкции.

При перерасчете конструкции учитывают:

- деградацию материала конструкции (изменение прочности сечения);

- прогноз изменения характеристик материалов конструкции на момент t_i (прогноз изменения прочности на сжатие, растяжение, сдвиг и т.п., изменения площади сечения, включая коррозионные процессы);

- изменение граничных условий и жесткости конструкции;

- иные факторы, которые могут оказать влияние на величину остаточного ресурса конструкции.

Деградация свойств материалов в конструкции вызывается неблагоприятной комбинацией воздействий статически и динамически действующих внешних сил и внутренних самоуравновешивающихся полей напряжений.

Деградация структуры материалов конструкции зависит главным образом от комбинации силовых полей в конструкции. С учетом этого принятая в действующих нормативных документах методика оценки надежности в форме сопоставления комбинации суммарных напряжений с предельными значениями прочности, изменяющейся во времени, может быть использована и в оценке остаточного ресурса конструкции.

При этом учитывают, что величины напряжений, как и надежность, изменяются во времени вследствие деструктивных процессов в материалах конструкции, изменений деформативных свойств и др.

При оценке остаточного ресурса для различных видов несущих конструкций и их материалов могут быть применены различные виды моделей, описывающих деградационные процессы.

При оценке остаточного ресурса рассматривают различные возможные модели отказов (износа). Отказы возникают в различных комбинациях и сочетаниях. Вероятность их реализации в разных конструкциях различна.

Основная часть предсказуемых износов относится к категориям медленно протекающих, постепенных отказов. Они могут быть своевременно обнаружены и приостановлены или устранены в результате ремонта.

6 Методика оценки остаточного ресурса несущих конструкций

Основными этапами определения остаточного ресурса несущей конструкции являются:

- анализ исходной технической документации;

- оценка технического состояния;

- анализ результатов оценки технического состояния (включая установление критериев предельных состояний и выбор определяющих параметров технического состояния);

- определение остаточного ресурса

В рамках анализа исходной технической документации устанавливают номенклатуру технических параметров конструкции, устанавливают предельные состояния, выявляют наиболее вероятные отказы и повреждения, которые могут привести к отказу конструкции.

Особое внимание должно быть уделено анализу критериев, причин, последствий и критичности отказов, выявлению возможных постепенных, деградационных и зависимых отказов, подтверждению отсутствия возможности внезапных отказов.

Анализу подлежат: нормативно-техническая, конструкторская (проектная) и эксплуатационная, в том числе монтажная и ремонтная документация. Кроме того, следует проанализировать базу данных по техническим параметрам конструкции или составленные ранее аналогичные технические заключения по результатам анализа технического состояния конструкции или его мониторинга при их наличии. Также в процессе анализа может быть рассмотрена иная научно-техническая информация по отказам и повреждениям по аналогичным конструкциям.

По результатам анализа исходной технической документации составляют:

- перечень проанализированной документации;

- схему конструкции с указанием элементов и участков, которые в результате особенностей их конструкторской или технологической реализации и (или) условий функционирования и нагруженности представляются наиболее предрасположенными к появлению повреждений и (или) отказам (в особенности скрытым, зависимым и внезапным);

- перечень технических параметров конструкции;

- программу оценки технического состояния конструкции.

В общем случае оценку технического состояния конструкции выполняют согласно ГОСТ 31937.

В рамках оценки технического состояния конструкции получают информацию о реальном техническом состоянии конструкции, наличии в ней повреждений, выявлении причин и механизмов их возникновения и развития.

Оценку технического состояния выполняют в соответствии с программой, разработанной на основании анализа технической документации. Программой, как правило, предусматривают:

- визуальный контроль;

- измерения геометрических параметров, включая толщинометрию;

- замеры твердости и определение механических характеристик материалов, металлографические исследования, определение химического состава металла, дефектоскопический контроль, вид и объем которого устанавливается с учетом требований полноты и достаточности выявления дефектов и повреждений рассматриваемой конструкции;

- испытания на прочность (с испытанием контрольных образцов, с применением неразрушающих методов, методов тензочувствительных покрытий, тензометрии, акустической эмиссии, термографии и др.).

Для выполнения обследования применяют методики и аппаратуру, регламентируемые для этих целей действующей нормативно-технической

документацией с учетом требований проектной, монтажной и эксплуатационной документации на обследуемую конструкцию.

Результаты обследования должны быть оформлены в виде протоколов измерений, карт дефектности и повреждений конструкции с таблицами данных и отражены в отчете или техническом заключении.

В рамках анализа результатов оценки технического состояния конструкции устанавливают ее текущее техническое состояние, уровень и механизмы повреждения, фактическую нагруженность, необходимые для прогнозирования развития этого состояния в соответствии с установленными закономерностями доминирующих механизмов повреждения до достижения параметрами технического состояния значений, при которых конструкция переходит в предельные состояния.

Анализ результатов оценки технического состояния конструкции должен включать:

- оценку фактической нагруженности конструкции, выполненную расчетным методом по действующим нормативным документам с учетом всех режимов нагружения и действующих нагрузок (включая температурные воздействия), фактической геометрии конструкции, фактических толщин ее несущих элементов, имеющихся и выявленных концентраторов напряжений и экспериментальных результатов исследований напряженно-деформированного состояния, полученных при ее обследовании;

- установление механизмов образования и роста обнаруженных дефектов и повреждений, возможных отказов (постепенных, деградационных, внезапных, включая их категории, последствия и критичность) вследствие развития дефектов и повреждений, при этом особое внимание должно быть уделено подтверждению отсутствия возможности внезапных отказов, при которых нельзя прогнозировать остаточный ресурс;

- оценку параметров технического состояния объекта, их соответствие требованиям действующих нормативных документов и конструкторской

документации, а по отклонению от требований – выбор определяющих параметров технического состояния;

- установление при необходимости уточненной по сравнению с указанной в действующей нормативной документации системы предельных состояний и их критериев (например, уровень прогрессирующего формоизменения, возникновение предельно допустимых трещин, уровень течи перед разрушением и т.д.);

- заключение о необходимости дальнейших уточненных расчетов и экспериментальных исследований напряженно-деформированного состояния и характеристик материалов;

- заключение о возможности дальнейшей эксплуатации конструкции с установлением назначенного ресурса (до проведения уточненных расчетов и экспериментальных исследований напряженно-деформированного состояния, характеристик материалов и оценки остаточного ресурса) в случае отсутствия повреждений, влияющих на параметры технического состояния объекта.

Результаты анализа оценки технического состояния оформляют в виде технического заключения с решением о продолжении дальнейших исследований напряженно-деформированного состояния и характеристик материалов или возможности дальнейшей эксплуатации с указанием назначенного ресурса.

Результаты анализа оценки технического состояния также рекомендуется дополнить в базу данных по техническим параметрам конструкции (при ее наличии).

Также в рамках анализа результатов оценки технического состояния конструкции могут быть выполнены уточненные расчеты и исследования напряженно-деформированного состояния и характеристик материалов.

В рамках выполнения уточненных расчетов и экспериментальных исследований напряженно-деформированного состояния и характеристик

материалов получают дополнительную (а также отсутствующую в технической документации) информацию о номинальных и местных напряжениях и деформациях с учетом фактических свойств материалов, необходимую для установления механизмов повреждений и (или) расчетов остаточного ресурса.

Уточненные расчеты проводят с учетом всех режимов и действующих нагрузок за период эксплуатации (включая температурные воздействия и взаимодействие с внешней средой), а также возможным изменением характеристик материалов.

Результаты расчетов напряженно-деформированного состояния, выполненные по действующим нормативным документам, не регламентированным непосредственно для обследуемой конструкции, должны быть проверены экспериментальными методами (тензометрии, тензочувствительных покрытий, термометрии, акустической эмиссии и т.д.), которые в отдельных случаях (например, при отсутствии достаточно точных или апробированных на практике методов для сложных расчетов) могут использоваться самостоятельно. При этом могут применяться (при достаточном теоретическом и экспериментальном обосновании) методы моделирования и ускоренные методы испытания.

Определение уточненных характеристик материалов должно проводиться с учетом необходимой точности и объемов контроля неразрушающими методами или на образцах, вырезанных из элементов конструкции в соответствии с программами исследований, составленными с учетом обнаруженных повреждений и условий эксплуатации элемента конструкции. Перечень характеристик материала должен быть расширен и включать, кроме стандартных прочностных свойств, в зависимости от условий эксплуатации характеристики малоцикловой и многоцикловой усталости, длительной прочности, трещиностойкости, сопротивления коррозии и коррозионному растрескиванию и др.

Испытания образцов и определение характеристик материалов должны проводиться в соответствии с действующими нормативными документами.

По результатам уточненных расчетов и исследования напряженно-деформированного состояния и характеристик материалов должны быть уточнены механизмы повреждений, параметры технического состояния, установлены определяющие параметры технического состояния и критерии предельных состояний.

Остаточный ресурс конструкции необходимо устанавливать на основе совокупности имеющейся информации прогнозированием его технического состояния по определяющим параметрам до достижения предельного состояния.

На первой стадии прогнозирования остаточного ресурса должно быть установлено, что в результате проведенных обследований и анализов технического состояния конструкции в соответствии с разделами 4-5 настоящей методики выполнены одновременно следующие условия:

- известны параметры технического состояния объекта, в частности, определяющие параметры технического состояния, изменяющиеся соответственно выявленному механизму повреждения элементов объекта;

- установлены критерии предельных состояний объекта, достижение которых возможно при развитии выявленных повреждений.

Прогнозирование остаточного ресурса может быть выполнено упрощенными или точными методами. Выбор способа прогнозирования остаточного ресурса зависит от периодичности контроля за конструкцией. При непрерывном (или дискретном) контроле за параметрами технического состояния могут допускаться упрощенные методы, при которых прогнозирование осуществляют по одному параметру технического состояния. Упрощенные методы прогнозирования могут использоваться, например, при прогнозировании остаточного ресурса:

- конструкции, работающей в условиях статического нагружения и коррозионной среды, и несущая способность которой снижается вследствие уменьшения толщины (когда основной повреждающий фактор – общая коррозия);

- конструкции, работающей в условиях циклического нагружения при отсутствии коррозионной среды, несущая способность которой снижается вследствие малоцикловой усталости;

- конструкций по функциональным параметрам, когда имеется объем информации по параметрам за период эксплуатации, достаточный для экстраполяции этих значений на последующий период эксплуатации, при выполнении условий безопасной эксплуатации данных конструкций.

В общем случае выбор метода должен обосновываться точностью и достоверностью полученных данных, а также требованиями точности и достоверности прогнозируемого остаточного ресурса конструкции и риска, связанного с его дальнейшей эксплуатацией, наличия и точности системы контроля за его техническим состоянием.

В качестве основного показателя остаточного ресурса в результате прогноза определяют наработку до отказа $\boldsymbol{T}$, при заданной вероятности безотказной работы $\boldsymbol{P(t)}$ или по индексу надежности $\boldsymbol{\beta}$, в виде функции вероятности безотказной работы в течение этой наработки.

Величину вероятности $\boldsymbol{P(t)}$ выбирают в зависимости от назначения, степени ответственности и режима использования конструкции. Если переход конструкции в предельное состояние (ресурсный отказ) связан с опасностью для жизни и здоровья людей, со значительными экологическими последствиями, с отсутствием непрерывного контроля за техническими параметрами, то продолжительность эксплуатации следует нормировать заданным назначенным ресурсом, опираясь при этом на полученные показатели остаточного ресурса.

Индекс надежности $\boldsymbol{\beta}$ допускается устанавливать по приложению А.

На основании данных по оценке технического состояния конструкции и остаточного ресурса должно приниматься обоснованное решение о возможности дальнейшей ее эксплуатации в соответствии с остаточным или назначенным ресурсом или его ремонте, снижении рабочих параметров, демонтаже. Решение принимается организацией, проводившей техническое диагностирование и оценку остаточного ресурса.

Результаты выполненных расчетов по прогнозированию остаточного ресурса должны оформляться в виде отчета.

Общие принципы оценки остаточного ресурса несущих конструкций приведены в Приложении Б. Точный метод расчета остаточного ресурса для несущих железобетонных конструкций по критерию прочности приведен в Приложении В.

Приложение А

РЕКОМЕНДУЕМЫЕ МИНИМАЛЬНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ИНДЕКСА НАДЕЖНОСТИ β

А1. В таблице А.1 приведены рекомендуемые минимальные значения индекса надежности в зависимости от класса ответственности сооружения.

Таблица А.1 – Рекомендуемые минимальные значения индекса надежности **β** (для предельных состояний по несущей способности)

Класс ответственности сооружений	Минимальные значения для **β** при базовом периоде	
	1 год	50 лет
КС-3	5,2	4,3
КС-2	4,7	3,8
КС-1	4,2	3,3

Примечания:

1) При определении указанных значений β приняты следующие предпосылки:

- логарифмически нормальное распределение или распределения Вейбулла для описания свойств материалов, расчетных сопротивлений и неопределенности расчетной модели;

- нормальные распределения собственного веса;

- нормальные распределения временных воздействий для всех расчетов кроме усталостных. (В данном случае более корректным является использование распределений экстремальных значений).

2) В том случае, когда основным случайным параметром являются воздействия, которые характеризуются годовыми статистическими

независимыми максимумами, то для других периодов времени значение $\boldsymbol{\beta}$ может быть вычислено, используя следующее выражение:

$$\Phi(\boldsymbol{\beta}_n) \leq [\Phi(\boldsymbol{\beta}_1)]^n \qquad (A.1)$$

где

$\boldsymbol{\beta}_n$ – индекс надежности для периода в n лет;

$\boldsymbol{\beta}_1$ – индекс надежности для периода в один год.

Ф – функция Лапласа

3) Базовый период – промежуток времени, выбранный для оценки статистических временных, и возможно, аварийных воздействий.

А2. В таблице А.2 приведены значения интегральной функции Лапласа

Таблица А.2 – Таблица значений интегральной функции Лапласа Ф

x	Ф(x)	x	Ф(x)	x	Ф(x)	x	Ф(x)	x	Ф(x)
0,00	0,0000	0,52	0,1985	1,04	0,3508	1,56	0,4406	2,16	0,4846
0,01	0,0040	0,53	0,2019	1,05	0,3531	1,57	0,4418	2,18	0,4854
0,02	0,0080	0,54	0,2054	1,06	0,3554	1,58	0,4429	2,20	0,4861
0,03	0,0120	0,55	0,2088	1,07	0,3577	1,59	0,4441	2,22	0,4868
0,04	0,0160	0,56	0,2123	1,08	0,3599	1,60	0,4452	2,24	0,4875
0,05	0,0199	0,57	0,2157	1,09	0,3621	1,61	0,4463	2,26	0,4881
0,06	0,0239	0,58	0,2190	1,10	0,3643	1,62	0,4474	2,28	0,4887
0,07	0,0279	0,59	0,2224	1,11	0,3665	1,63	0,4484	2,30	0,4893
0,08	0,0319	0,60	0,2257	1,12	0,3686	1,64	0,4495	2,32	0,4898
0,09	0,0359	0,61	0,2291	1,13	0,3708	1,65	0,4505	2,34	0,4904
0,10	0,0398	0,62	0,2324	1,14	0,3729	1,66	0,4515	2,36	0,4909
0,11	0,0438	0,63	0,2357	1,15	0,3749	1,67	0,4525	2,38	0,4913
0,12	0,0478	0,64	0,2389	1,16	0,3770	1,68	0,4535	2,40	0,4918
0,13	0,0517	0,65	0,2422	1,17	0,3790	1,69	0,4545	2,42	0,4922

0,14	0,0557	0,66	0,2454	1,18	0,3810	1,70	0,4554	2,44	0,4927
0,15	0,0596	0,67	0,2486	1,19	0,3830	1,71	0,4564	2,46	0,4931
0,16	0,0636	0,68	0,2517	1,20	0,3849	1,72	0,4573	2,48	0,4934
0,17	0,0675	0,69	0,2549	1,21	0,3869	1,73	0,4582	2,50	0,4938
0,18	0,0714	0,70	0,2580	1,22	0,3883	1,74	0,4591	2,52	0,4941
0,19	0,0753	0,71	0,2611	1,23	0,3907	1,75	0,4599	2,54	0,4945
0,20	0,0793	0,72	0,2642	1,24	0,3925	1,76	0,4608	2,56	0,4948
0,21	0,0832	0,73	0,2673	1,25	0,3944	1,77	0,4616	2,58	0,4951
0,22	0,0871	0,74	0,2703	1,26	0,3962	1,78	0,4625	2,60	0,4953
0,23	0,0910	0,75	0,2734	1,27	0,3980	1,79	0,4633	2,62	0,4956
0,24	0,0948	0,76	0,2764	1,28	0,3997	1,80	0,4641	2,64	0,4959
0,25	0,0987	0,77	0,2794	1,29	0,4015	1,81	0,4649	2,66	0,4961
0,26	0,1026	0,78	0,2823	1,30	0,4032	1,82	0,4656	2,68	0,4963
0,27	0,1064	0,79	0,2852	1,31	0,4049	1,83	0,4664	2,70	0,4965
0,28	0,1103	0,80	0,2881	1,32	0,4066	1,84	0,4671	2,72	0,4967
0,29	0,1141	0,81	0,2910	1,33	0,4082	1,85	0,4678	2,74	0,4969
0,30	0,1179	0,82	0,2939	1,34	0,4099	1,86	0,4686	2,76	0,4971
0,31	0,1217	0,83	0,2967	1,35	0,4115	1,87	0,4693	2,78	0,4973
0,32	0,1255	0,84	0,2995	1,36	0,4131	1,88	0,4699	2,80	0,4974
0,33	0,1293	0,85	0,3023	1,37	0,4147	1,89	0,4706	2,82	0,4976
0,34	0,1331	0,86	0,3051	1,38	0,4162	1,90	0,4713	2,84	0,4977
0,35	0,1368	0,87	0,3078	1,39	0,4177	1,91	0,4719	2,86	0,4979
0,36	0,1406	0,88	0,3106	1,40	0,4192	1,92	0,4726	2,88	0,4980
0,37	0,1443	0,89	0,3133	1,41	0,4207	1,93	0,4732	2,90	0,4981
0,38	0,1480	0,90	0,3159	1,42	0,4222	1,94	0,4738	2,92	0,4982
0,39	0,1517	0,91	0,3186	1,43	0,4236	1,95	0,4744	2,94	0,4984
0,40	0,1554	0,92	0,3212	1,44	0,4251	1,96	0,4750	2,96	0,4985
0,41	0,1591	0,93	0,3238	1,45	0,4265	1,97	0,4756	2,98	0,4986

0,42	0,1628	0,94	0,3264	1,46	0,4279	1,98	0,4761	3,00	0,49865
0,43	0,1664	0,95	0,3289	1,47	0,4292	1,99	0,4767	3,20	0,49931
0,44	0,1700	0,96	0,3315	1,48	0,4306	2,00	0,4772	3,40	0,49966
0,45	0,1736	0,97	0,3340	1,49	0,4319	2,02	0,4783	3,60	0,499841
0,46	0,1772	0,98	0,3365	1,50	0,4332	2,04	0,4793	3,80	0,499928
0,47	0,1808	0,99	0,3389	1,51	0,4345	2,06	0,4803	4,00	0,499968
0,48	0,1844	1,00	0,3413	1,52	0,4357	2,08	0,4812	4,50	0,499997
0,49	0,1879	1,01	0,3438	1,53	0,4370	2,10	0,4821	≥5,00	0,499999
0,50	0,1915	1,02	0,3461	1,54	0,4382	2,12	0,4830		
0,51	0,1950	1,03	0,3485	1,55	0,4394	2,14	0,4838		

Приложение Б
ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ОЦЕНКИ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

В общем случае приближенная оценка остаточного ресурса несущих конструкций может быть выполнена с применением подхода, изложенного в рекомендациях [1] с учетом положений настоящего Приложения. Подход заключается в приближенной оценке надежности по внешним признакам несущей конструкции.

В качестве исходных данных для приближенной оценки остаточного ресурса несущих конструкций используют результаты визуального обследования, выполняемого согласно ГОСТ 31937.

Категории технического состояния в общем случае принимают согласно ГОСТ 31937 по которому конструкции по результатам обследования относят к находящимся:

- в нормативном техническом состоянии;
- в работоспособном состоянии;
- в ограниченно работоспособном состоянии;
- в аварийном состоянии.

Категории технического состояния и соответствующие относительные надежности конструкции приведены в таблице В.1.

Результатом проведения предварительного (визуального) обследования несущих конструкций согласно ГОСТ 31937 в общем случае являются:

- схемы и ведомости дефектов и повреждений с фиксацией их мест и характера;
- описания, фотографии дефектных участков;
- результаты проверки наличия характерных деформаций конструкции (прогибы, крены, выгибы, перекосы, разломы и т. п.);

- установление аварийных участков (при наличии);

- уточненная конструктивная схема;

- уточненная схема мест вскрытий, зондирования конструкции;

- предварительная оценка технического состояния конструкции, определяемая по степени повреждений и характерным признакам дефектов.

Таблица Б.1 – Категории технического состояния несущих конструкций

Категория технического состояния согласно ГОСТ 31937	Описание технического состояния	Относительная надежность конструкции при эксплуатации $y = \gamma/\gamma_0$
1	Нормативное техническое состояние. Категория технического состояния, при котором количественные и качественные значения параметров всех критериев оценки технического состояния несущих конструкций соответствуют установленным в проектной документации значениям с учетом пределов их изменения.	0,99
2	Работоспособное техническое состояние. Категория технического состояния, при которой некоторые из числа оцениваемых контролируемых параметров не отвечают требованиям проекта или действующим нормативным документам, но имеющиеся нарушения требований в конкретных условиях эксплуатации не приводят к нарушению работоспособности, и необходимая несущая способность конструкции с учетом влияния имеющихся дефектов и повреждений обеспечена.	0,95
3	Ограниченно работоспособное состояние. Категория технического состояния конструкции, при которой имеются крены, дефекты и повреждения, приведшие к снижению несущей способности. При этом отсутствует опасность	0,80

Категория технического состояния согласно ГОСТ 31937	Описание технического состояния	Относительная надежность конструкции при эксплуатации $y = \gamma/\gamma_0$
	внезапного разрушения, потери устойчивости или опрокидывания и функционирование конструкции возможно либо при контроле (мониторинге) технического состояния, либо при проведении необходимых мероприятий по восстановлению или усилению.	
4	Аварийное состояние. Категория технического состояния конструкции, характеризующая повреждениями и деформациями, свидетельствующими об исчерпании несущей способности и опасности обрушения и (или) характеризующаяся кренами, которые могут вызвать потерю устойчивости объекта.	0,65

Повреждения в конструкции разделяют в зависимости от причин их возникновения на две группы: от силовых воздействий и от воздействия внешней среды. Основные виды повреждений стальных, железобетонных, каменных и деревянных конструкций, а также оценка категории их технического состояния на основе выявленных повреждений приведены в таблицах Б.2-Б.5.

При выполнении оценки технического состояния категории технического состояния конструкции принимают согласно таблице Б.1. Оценку технического состояния конструкции выполняют по ее максимальному повреждению.

При наличии в конструкции отдельных элементов общую оценку технического состояния конструкции выполняют по формуле (2.1) рекомендаций [1] с учетом повреждений отдельных видов элементов и их

значимости.

Для оценки категории состояния конструкции необходимо наличие хотя бы одного признака, указанного в графах 2–3 таблиц Б.2–Б.5.

Остаточный ресурс несущей конструкции (годы) определяют по формуле:

$$T_{\text{р}} = \frac{k}{\lambda}, \qquad \text{(Б.1)}$$

где

k – коэффициент, принимаемый равным:

0,16 – при определении остаточного ресурса до капитального ремонта;

0,22 – при определении остаточного ресурса до аварийного состояния.

λ – постоянная износа, определяемая по данным обследования на основании изменения несущей способности в момент обследования, принимаемая равной:

$$\lambda = \frac{-\ln y}{T_i}, \qquad \text{(Б.2)}$$

где

y – относительная надежность, определяемая в зависимости от категории технического состояния конструкции по таблице Б.1;

T_i – срок эксплуатации конструкции (годы).

Таблица Б.2 – Оценка технического состояния стальных конструкций по внешним признакам

Категория технического состояния конструкции	Признаки силовых воздействий на конструкцию	Признаки воздействий внешней среды на конструкцию
1	Нет	Нет
2	Нет	Местами разрушено антикоррозионное покрытие. На отдельных участках коррозии отдельными пятнами с поражением до 5% сечения. Местные погнутости от ударов транспортных средств и другие повреждения, приводящие к ослаблению сечения до 5%.
3	Прогибы изгибаемых элементов превышают 1/150 пролета. Потеря местной устойчивости конструкций (выпучивание стенок и поясов балок и колонн). Срез отдельных болтов или заклепок в многоболтовых соединениях. Наличие трещин во второстепенных элементах.	Пластинчатая ржавчина с уменьшением площади сечения несущих элементов до 15%. Местные погнутости от ударов транспортных средств и другие механические повреждения, приводящие к ослаблению сечения до 15–25%. Погнутость узловых фасонок ферм. Коррозия с уменьшением расчетного сечения несущих элементов до 25%. Трещины в сварных швах или околошовной зоне. Отклонения ферм от вертикальной плоскости более 15 мм. Расстройство узловых соединений от проворачивания болтов или заклепок.

4	Прогибы изгибаемых элементов более 1/50 пролета. Потеря общей устойчивости балок или сжатых элементов. Наличие трещин в основном материале элементов.	Коррозия с уменьшением расчетного сечения несущих элементов более 25%. Расстройство стыков со взаимным смещением опор.

Таблица Б.3 – Оценка технического состояния железобетонных конструкций по внешним признакам

Категория технического состояния конструкции	Признаки силовых воздействий на конструкцию	Признаки воздействий внешней среды на конструкцию
1	Волосяные трещины (до 0,1 мм)	Имеются отдельные раковины, выбоины.
2	Трещины в растянутой зоне бетона не превышают 0,3 мм.	На отдельных участках с малой величиной защитного слоя проступают следы коррозии распределительной арматуры или хомутов. Шелушение ребер конструкций. На поверхности бетона мокрые или масляные пятна, изменение цвета бетона.
3	Ширина раскрытия нормальных трещин в балках не более 1 мм и протяженность трещин более ¾ высоты балки. Сквозные нормальные трещины в колоннах не более 0,5 мм. Прогибы изгибаемых элементов более 1/75 пролета.	Продольные трещины в бетоне вдоль арматурных стержней от коррозии арматуры. Коррозия арматуры до 10–15% площади стержней. Отделение защитного слоя бетона и оголение арматуры. Бетон в растянутой зоне на глубине защитного слоя между стержнями арматуры легко крошится. Снижение прочности бетона до 20–30%.

4	Ширина раскрытия нормальных трещин в балках более 1 мм при протяженности трещин более ¾ их высоты. Косые трещины, пересекающие опорную зону и зону анкеровки растянутой арматуры балок. Сквозные наклонные трещины в сжатых элементах. Хлопающие трещины в конструкциях, испытывающих знакопеременные воздействия. Выпучивание арматуры в сжатой зоне колонн. Разрыв отдельных стержней рабочей арматуры в растянутой зоне, разрыв хомутов в зоне наклонной трещины. Раздробление бетона в сжатой зоне. Прогибы изгибаемых элементов более 1/50 пролета при наличии трещин в растянутой зоне более 0,5 мм.	Оголение всего диаметра арматуры стержня. Коррозия арматуры более 15% сечения. Снижение прочности бетона более 30%. Расстройство стыков.

Таблица Б.4 – Оценка технического состояния каменных конструкций по внешним признакам

Категория технического состояния конструкции	Признаки силовых воздействий на конструкцию	Признаки воздействий внешней среды на конструкцию
1	Трещины в отдельных кирпичах, не пересекающие растворные швы.	Нет.

2	Волосные трещины, пересекающие не более двух рядов кладки (длиной 15–18 см).	Выветривание раствора швов до 1 см.
3	Вертикальные и косые трещины в несущих стенах на высоту более четырех рядов кладки. Образование вертикальных трещин между продольными и поперечными стенами, разрывы или выдергивание отдельных стальных связей и анкеров крепления стен к колоннам и перекрытиям. Местное (краевое) повреждение кладки на глубину до 2 см под опорами ферм, балок и перемычек в виде трещин и лещадок; вертикальные трещины по концам опор, пересекающие не более трех рядов кладки.	Замораживание и выветривание кладки, отслоение облицовки на глубину до 15–25% толщины. Наклоны и выпучивание стен и фундаментов в пределах этажа не более чем на 1/6 их толщины. Смещение плит перекрытий на опорах не более 1/5 глубины заделки, но не более 2 см.
4	Вертикальные и косые трещины в несущих стенах и столбах на высоту всей стены. Отрыв продольных стен от поперечных в местах их пересечения, разрывы или выдергивание стальных связей и анкеров, крепящих стены и колонны к перекрытиям. Повреждение кладки под опорами ферм, балок и перемычек в виде трещин, раздробление камня, образование вертикальных или косых трещин, пересекающих более трех рядов кладки, в месте примыкания пилястры к стене.	Замораживание и выветривание кладки на глубину до 40% толщины. Наклоны и выпучивание стен в пределах этажа на 1/3 их толщины и более, смещение (сдвиг) стен, столбов и фундаментов по горизонтальным швам. Смещение плит перекрытий на опорах не более 1/5 глубины заделки в стене. Полная потеря прочности раствора (раствор легко разбирается руками).

Таблица Б.5 – Оценка технического состояния деревянных конструкций по внешним признакам

Категория технического состояния конструкции	Признаки силовых воздействий на конструкцию	Признаки воздействий внешней среды на конструкцию
1	Нет	Волосные усадочные трещины в конструкциях.
2	Ослабление креплений отдельных болтов, хомутов, скоб.	Большие щели между досками наката и балками перекрытия.
3	Глубокие и продольные трещины в конструкциях. Сдвиги и отслоения в швах и в узлах конструкций заметные на глаз. Трещины в работающих на скалывание торцах по ширине более 25% от толщины элемента. Сильное обмятие и зазоры более 3 мм в рабочих поверхностях врубок. Смятие древесины вдоль волокон по линии болтов и нагелей на ½ их диаметра. Потеря местной устойчивости элементов конструкций. Прогибы изгибаемых элементов более 1/75 пролета.	Следы протечек, мокрые пятна в конструкциях. Гниль в местах заделки балок в наружные стены. Гниль в мауэрлате и в концах стропильных ног, снижающих прочность до 15–25%.
4	Прогибы изгибаемых элементов более 1/50 процента. Быстроразвивающиеся деформации. Сквозные трещины в накладках стыков по линии болтов ферм. Трещины в растянутых элементах, выходящие на кромки. Надломы и	Поражение гнилью и жучком строительных конструкций, приводящее к снижению их прочности более 25%.

	разрушения отдельных конструкций. Скалывание врубок. Потеря устойчивости конструкций (поясов ферм, арок, колонн).	

Примечание – Оценку повреждения стальных элементов металлодеревянных конструкций производят по таблице Б.2

Приложение В
МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА НЕСУЩИХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПО КРИТЕРИЮ ПРОЧНОСТИ

В.1 Общие положения

В.1.1 Данные положения составлены с учетом методики [2] и используют при прогнозировании срока службы эксплуатируемых конструкций (возраст больше T_0 – см. рисунок 5.1). Основанием для прогноза служат исходные данные на момент строительства (начальные характеристики) и данные на момент обследования (идентификации конструкции), которые экстраполируются на будущее.

Работоспособность и предельный срок службы прогнозируют на основании расчета конструкций по фактическим параметрам старения материалов.

В.1.2 Расчеты срока службы эксплуатируемых железобетонных конструкций выполняют преимущественно по критериям предельных состояний первой группы (по несущей способности или устойчивости). В необходимых случаях также могут быть использованы критерии предельных состояний второй группы и иные критерии.

В.1.3 При определении остаточного ресурса эксплуатируемых железобетонных конструкций все характеристики принимаются не по нормативным значениям, а определяют на основании фактических замеров. В качестве основных характеристик определяют следующие:

- прочность бетона с обеспеченностью 0,95;
- условный класс бетона;
- величины защитных слоев бетона;
- марки бетона по водонепроницаемости и морозостойкости;

- прочность арматуры;

- геометрические параметры конструкции и ее поперечных сечений;

- коррозия арматуры;

- наличие трещин и их расположение.

Также могут быть определены иные дополнительные характеристики, влияющие на рассматриваемый критерий, применяемый при оценке остаточного ресурса.

В.1.4 Прочность бетона на момент обследования определяют по результатам измерений, а график изменения прочности бетона строят с учетом показателей прочности из исполнительной документации и результатов обследования. В общем случае график изменения прочности включает в себя два участка: участок набора прочности и участок снижения прочности (рисунок В.1).

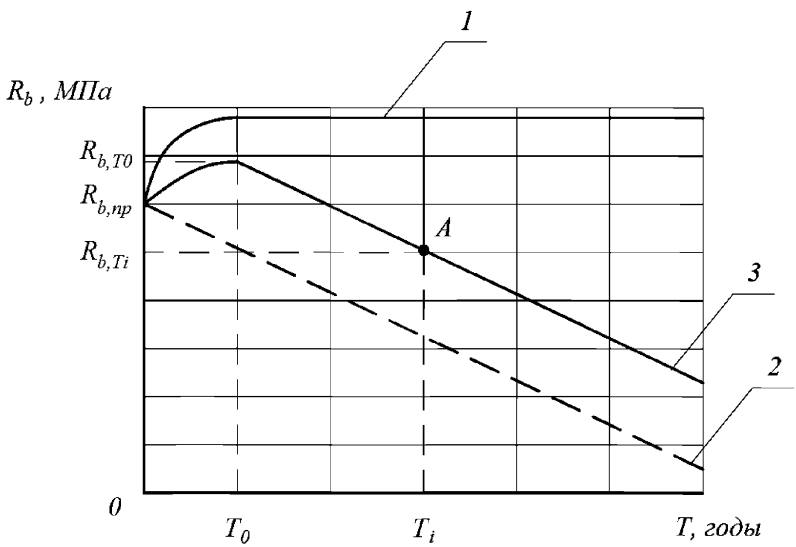

Рисунок В.1 – График изменения прочности бетона конструкции:
1 – кривая роста прочности; **2** – кривая деградации; **3** – итоговая теоретическая кривая изменения прочности

График изменения прочности бетона конструкции строят в следующей последовательности.

1. По документации устанавливают прочность бетона конструкции на 28 сутки. При отсутствии паспорта на бетон или данных испытания бетонных кубиков в процессе строительства, в качестве начальной прочности бетона принимают данные проекта ($\boldsymbol{R_{b,пр}}$, рисунок В.1). При отсутствии проектной и рабочей документации на конструкции значения прочности определяют по требованиям типового проекта, а для индивидуальных конструкций – согласно требованиям нормативного документа, действующего на момент проектирования объекта.

2. Устанавливают возможное время продолжения набора прочности в период эксплуатации. Участок набора прочности (кривая 1, рис. В.1) строится по двум характерным точкам:

1-я – прочность на момент $\boldsymbol{t = 0}$;

2-я – прочность на момент завершения ее нарастания.

В качестве функции увеличения прочности допускается принимать параболическую функция набора прочности. При отсутствии точных данных допускается принимать в первом приближении рост прочности бетона в возрасте 10 лет согласно таблице В.1.

Таблица В.1 – Рост прочности бетона на сжатие во времени

Класс бетона по прочности на сжатие	В27,5 и ниже	В30	В35	В40	В45	В50	В55	В60
Коэффициент, учитывающий рост прочности бетона во времени	1,34	1,31	1,28	1,26	1,24	1,22	1,21	1,20

3. Рассчитывают теоретическую кривую деградации бетона (кривая 2, рисунок В.1). Допускается снижение прочности бетона $\boldsymbol{R_{b,Ti}}$ и модуля упругости $\mathrm{E}_{\boldsymbol{b,Ti}}$ в результате деградационных процессов в течение $\boldsymbol{T}$ лет эксплуатации определять по формулам:

$$\boldsymbol{R_{b,Ti}} = \boldsymbol{\gamma_{R,b}} \boldsymbol{R_b}, \quad \text{(В.1)}$$

$$\mathrm{E}_{\boldsymbol{b,Ti}} = \boldsymbol{\gamma}_{\mathrm{E},\boldsymbol{b}} \mathrm{E}_{\boldsymbol{b}}, \quad \text{(В.2)}$$

где $\boldsymbol{R_b}$ и $\mathrm{E}_{\boldsymbol{b}}$ – расчетное сопротивление и начальный модуль упругости бетона согласно СП 63.13330.2012;

$\boldsymbol{\gamma_{R,b}}$ и $\boldsymbol{\gamma}_{\mathrm{E},\boldsymbol{b}}$ – коэффициенты условий работы, определяемые по формуле:

$$\boldsymbol{\gamma_{R(\mathrm{E}),b}} = \mathbf{1} - \mathrm{K}_{\boldsymbol{s}} \cdot \mathrm{K}_{\boldsymbol{t}} \cdot \boldsymbol{\Delta_{R(E)}} \cdot \omega \cdot \boldsymbol{T_i} \quad \text{(В.3)}$$

где

$\mathrm{K}_{\boldsymbol{s}}$ – коэффициент, зависящий от агрессивности воды-среды. Значения коэффициента принимают равными $\mathrm{K}_{\boldsymbol{s}} = \mathbf{1,25}$ при наличии контакта конструкции с морской или другой соленой водой. В остальных случаях принимают $\mathrm{K}_{\boldsymbol{s}} = \mathbf{1,0}$;

$\mathrm{K}_{\boldsymbol{t}}$ – коэффициент, учитывающий увеличение скорости деструктивных процессов в призмах по сравнению со скоростью этих процессов в кубах. Значение $\mathrm{K}_{\boldsymbol{t}}$ принимают равным 1,675 [5];

$\boldsymbol{\Delta_R}$, $\boldsymbol{\Delta_E}$ – комплексы влияния на бетон циклов замораживания и оттаивания при заданной влажности, значения которых принимают по таблице В.2;

ω – комплекс влияния уровня напряженности на скорость изменения деструктивного процесса, значение которого принимают по таблице В.3;

$\boldsymbol{T_i}$ – количество полных лет эксплуатации.

Таблица В.2 – Величины $\boldsymbol{\Delta_R}$ и $\boldsymbol{\Delta_E}$ для различных условий водонасыщения и морозостойкости конструкции

Условия работы конструкций						
Характеристика режима	Особо суровые ($F > 300$)		Суровые ($F = 300$)		Умеренные ($F \leq 200$)	
	$\boldsymbol{\Delta_R}$	$\boldsymbol{\Delta_E}$	$\boldsymbol{\Delta_R}$	$\boldsymbol{\Delta_E}$	$\boldsymbol{\Delta_R}$	$\boldsymbol{\Delta_E}$
Водонасыщенное состояние	13,5	20,9	6,0	9,6	3,0	4,8
Эпизодическое водонасыщение	9,0	13,8	3,0	4,6	1,6	2,5
Воздушно-влажное состояние	4,5	6,9	2,0	3,0	1,0	1,5

Таблица В.3 – Величина ω для различных условий влияния морозостойкости на напряженное состояние конструкции

$\frac{\boldsymbol{\sigma_{min}}}{\boldsymbol{R_b}}$	$\omega \cdot \mathbf{10^3}$			
	$F = 200$		$F = 300$	
	сжатие	растяжение	сжатие	растяжение
0,01	4,86	5,00	3,27	3,33
0,05	4,42	5,02	3,04	3,34
0,10	4,04	5,06	2,84	3,36
0,15	3,79	5,14	2,70	3,39
0,20	3,64	5,26	2,60	3,45
0,25	3,56	5,42	2,55	3,52
0,30	3,54	5,63	2,53	3,60
0,35	3,59	5,90	2,53	3,71
0,40	3,70	6,25	2,58	3,85
0,45	3,90	6,69	2,66	4,01
0,50	4,21	7,27	2,78	4,21
0,55	4,68	8,04	2,95	4,46
0,60	5,36	9,09	3,21	4,76
0,65	6,08	10,60	3,54	5,14
0,70	6,80	12,90	3,88	5,63
0,75	7,52	16,84	4,23	6,27
0,80	8,23	25,00	4,57	7,14
0,85	8,95	51,61	5,09	8,38

Примечания:

1) $\boldsymbol{\sigma_{min}}$ – сжимающие (растягивающие) напряжения, создаваемые постоянными нагрузками.

2) Промежуточные значения ω следует определять линейной интерполяцией.

4. По результатам суммирования кривых набора прочности и теоретической кривой деградации получают итоговую теоретическую кривую изменения прочности бетона (кривая 3, рис. В.1).

5. На основании результатов обследования устанавливают фактическую прочность бетона конструкции $\boldsymbol{R_{b,\text{факт}}}$ на момент ее идентификации T_i.

6. Определяют расчетную функцию деградации бетона, которая зависит от фактического значения прочности бетона $\boldsymbol{R_{b,\text{факт}}}$. В случае, если фактическая прочность бетона конструкции $\boldsymbol{R_{b,\text{факт}}}$ соответствует теоретической $\boldsymbol{R_{b,Ti}}$ или отличается от нее не более чем на 10%, то в качестве расчетной принимают теоретическую кривую деградации (кривая 1, рисунок В.2).

В случае, если фактическая прочность отличается от теоретической более, чем на 10 % (она может располагаться выше или ниже теоретического значения – точки D или C соответственно на рисунке В.2), то в качестве расчетной принимают экспоненциальную кривую, проходящую через точки B–D или B–C соответственно (рисунок В.2) и определяемую по формуле:

$$\boldsymbol{R_{b,Ti} = R_{b,T0} \cdot e^{\lambda T'}}, \qquad \text{(В.4)}$$

где:

$\boldsymbol{R_{b,Ti}}$ – прочность бетона в любой момент времени $\boldsymbol{T_i}$;

$\boldsymbol{R_{b,T0}}$ – прочность бетона после прекращения ее нарастания (в момент времени $\boldsymbol{T_0}$);

$\boldsymbol{T'}$ – продолжительность эксплуатации с момента начала деградации бетона ($\boldsymbol{T' = T_i - T_0}$);

$\boldsymbol{\lambda}$ – функция деградации прочности бетона.

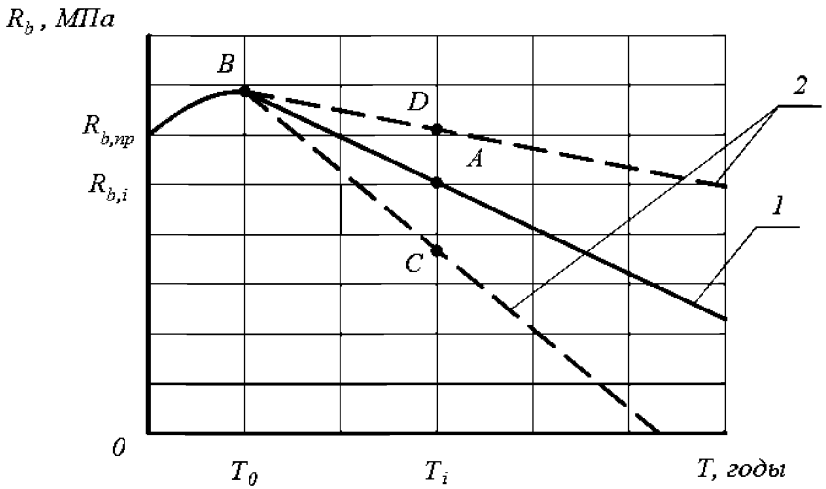

Рисунок В.2 – К определению расчетной функции деградации прочности бетона конструкции во времени:

1 – теоретическая кривая изменения прочности; **2** – корректировка теоретической кривой изменения прочности

В.1.5 Прочность арматуры принимают по исполнительной документации, если не обнаружена значительная коррозия стержней. Если на арматуре имеются слоистые окислы продуктов коррозии, для начальной прочности вводится коэффициент 0,95.

Коррозию арматуры, учитываемой в расчете по площади арматуры $\boldsymbol{A_s}$, определяют для каждого ряда арматуры, а увеличение коррозии принимают как функцию износа с момента полной карбонизации защитного слоя бетона в виде площади корродированной арматуры в процентах от первоначальной стадии по формуле:

$$\boldsymbol{\Delta A_{s,T} = \left[e^{\lambda^*(t-T_{кб})} - 1\right] \cdot 100\%}, \qquad (В.5)$$

где

$\boldsymbol{t}$ – время эксплуатации конструкции;

$T_{кб}$ – время карбонизации защитного слоя;

λ^* – показатель функции коррозии, характеризующий ее скорость при различных условиях эксплуатации.

При $\Delta A_{s,T} > 60\%$ арматурные стержни в расчете не учитывают. В общем случае за расчетную величину A_s принимают суммарную площадь арматуры с учетом коррозии.

В.1.6 Карбонизацию бетона защитного слоя определяют для установления момента начала коррозии арматуры [2, 4].

Время карбонизации защитного слоя бетона определяют по формуле:

$$T_{кб} = {y_1}^2 \cdot \frac{a^2}{K_э^2}\ , \qquad (В.6)$$

где

a – среднее значение толщины защитного слоя бетона по результатам обследования конструкции, мм;

$K_э$ – среднее значение эффективного коэффициента диффузии (мм/год$^{1/2}$) по результатам обследования, определяемое по формуле:

$$K_э = \frac{\sum_{i=1}^{n} a_1}{\sum_{i=1}^{n} t_i^{0,5}}\ , \qquad (В.6)$$

где

a_1 – замеренная глубина карбонизации;

n – число измерений;

t_i – возраст бетона.

$$y_1 = \frac{1 - \sqrt{1 - (1 - \gamma_n^2 \cdot V_a^2)(1 - \gamma_n^2 \cdot V_{кэ}^2)}}{1 - \gamma_n^2 \cdot V_{кэ}^2}, \qquad (В.6)$$

где

V_a, $V_{кэ}$ – коэффициенты вариации защитного слоя и диффузии соответственно.

γ_n – характеристика надежности, принимаемая равной 1,645.

В общем случае коэффициент $K_э$, а также коэффициента вариации $V_{кэ}$ принимают с учетом агрессивности сред эксплуатации железобетонных

конструкций согласно СП 28.13330. Допускается в первом приближении значения коэффициента $K_э$ и коэффициентов вариации V_a, $V_{кэ}$ принимать согласно таблице В.4.

Таблица В.4 – Значения величин $K_э$, V_a, $V_{кэ}$ для различных условий эксплуатации железобетонных конструкций

№	Конструкции, эксплуатируемые в средах с различной степенью агрессивности (по признаку карбонизации, выщелачивания бетона и проникания кислых вод в бетон)	$K_э$, мм/год$^{1/2}$	$V_{кэ}$	V_a
1	Среда слабой степени агрессивности	2,0–3	0,20	0,17
2	Среда средней степени агрессивности	3,0–5,0	0,25	0,17
3	Среда высокой степени агрессивности	5,0–8,0	0,30	0,17

Допускается в первом приближении показатель функции коррозии λ^* определять по базовым значениям, приведенным в таблице В.5.

Таблица В.5 – Базовые значения показателя функции коррозии λ^*

Вид арматуры	Местоположение арматуры	
	Фасадные (открытые) поверхности	Закрытые (защищенные) поверхности
Крайний ряд рабочей арматуры	0,0220	0,0120
Средние ряды рабочей арматуры	0,0160	0,0120
Хомуты	0,0250	0,0150

Примечание – Значения показателя приведены для конструкций с ненапрягаемой арматурой

В.1.7 Геометрические параметры конструкции – толщина элементов, площадь сечений – определяют по фактическим замерам при обследовании. Графическая интерпретация изменения характеристик h, A_b, R_b, A_s, $T_{кб}$ через показатели износа приведена на рисунке В.3.

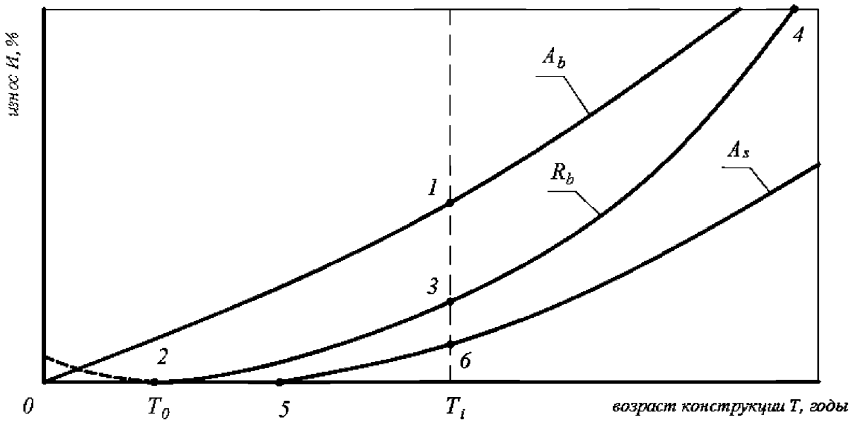

Рисунок В.3 – Изменение во времени поперечного сечения конструкции A_b, прочности ее бетона R_b и площади арматуры A_s из-за коррозии: **1** – фактическая площадь бетона на момент идентификации; **2** – прочность бетона на момент T_0; 3 – уменьшенная прочность бетона на момент идентификации; 4 – предельное снижение прочности бетона (предельный износ); 5 – продолжительность карбонизации защитного слоя бетона; 6 – зафиксированный процент коррозии на момент идентификации

В.2 Определение остаточного ресурса по критерию прочности

В.2.1 Остаточный ресурс по критерию прочности в общем случае определяют по результатам расчета конструкций с использованием фактических характеристик материалов, упомянутых в разделе 1 настоящего Приложения. Расчет выполняют преимущественно по характерным точкам, соответствующим различному периоду эксплуатации (см. рисунок В.3), например, на момент:

- строительства;
- завершения периода приработки, T_0;
- карбонизированной толщины защитного слоя $T_{кб}$;

- идентификации конструкции (момент обследования), $\boldsymbol{T_i}$;

- достижения минимально допустимой прочности бетона, $\boldsymbol{T_{b,min}}$.

В.2.2 В качестве основного критерия принимают условие прочности:

$$F \leq F_{ult}\ , \qquad \text{(В.7)}$$

где:

F – усилие в конструкции от внешних нагрузок в рассматриваемом сечении конструкции;

F_{ult} – предельное усилие, которое может быть воспринято в этом сечении.

По результатам расчетов строят график изменения условия прочности, по которому определяют остаточный срок службы до потери работоспособности, $T_р$ (рис. В.4). При этом принимают, что срок службы до потери работоспособности $T_р$ соответствует моменту времени, когда соблюдается условие:

$$\frac{F_{ult}}{F} = 0{,}7\ . \qquad \text{(В.8)}$$

На рисунке В.4 приведен условный график изменения различных критериев прочности железобетонной конструкции с учетом ограничений условия В.8.

Рассчитанный по данному графику остаточный ресурс по работоспособности $T_р$ указывает на время эксплуатации конструкции до ее ремонта.

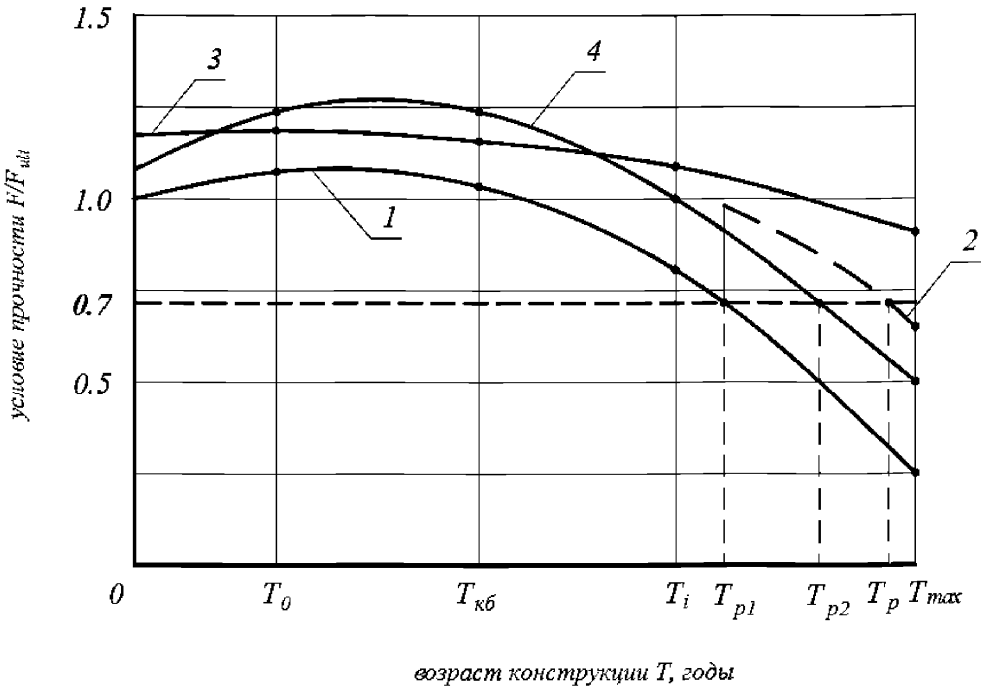

Рисунок В.4 – Условный график изменений различных критериев по прочности:

1 – нормальные сечения при расчете на действие изгибающих моментов; *2* – нормальные сечения при расчете на действие изгибающих моментов после снижения временной нагрузки; *3* – наклонные сечения при расчете на действие изгибающих моментов и поперечных сил; *4* – наклонные сечения при расчете на действие поперечных сил

Библиография

1. Рекомендации по оценке надежности строительных конструкций по внешним признакам. ЦНИИПромзданий. М, 2001

2. Методика расчетного прогнозирования срока службы железобетонных пролетных строений автодорожных мостов. М., Росавтодор, 2002

3. РД 09-102-95 Методические указания по определению остаточного ресурса потенциально опасных объектов, поднадзорных Госгортехнадзору России

4. Чирков В.П. Прогнозирование сроков службы железобетонных конструкций. Учебное пособие. МИИТ, 1997

5. Иосилевский Л.И. Практические методы управления надежностью железобетонных мостов. М., 2001

gost.e-ecolog.ru