

Канд. техн. наук, доцент **Д.А. Шестовицкий**
(Петербургский государственный университет путей
сообщения Императора Александра I» (ПГУПС))
Конт. информация: irinas@stpr.ru

Статья касается проблемы назначения и обоснования сроков службы проектируемых мостов, а также отсутствия нормирования надёжности конструкций в отечественных нормах. При директивном назначении сроков службы на уровне 70-100 лет в нормативных документах отсутствуют механизмы расчета и обоснования сроков службы для конкретного сооружения с учетом условий его эксплуатации. Уравнения предельных состояний не содержат переменной времени, а коэффициенты надежности к расчётным сопротивлениям и нагрузкам учитывают их вероятностный разброс, но не изменения данных параметров во времени. Дан обзор нормирования надежности сооружений в отечественной и европейской литературе. Рассмотрен современный подход к прогнозированию и обоснованию срока службы мостов.

Ключевые слова: мосты, срок службы, надежность, характеристика безопасности.

Проблема назначения сроков службы проектируемых мостов

Назначение сроков службы транспортных сооружений является одной из важнейших задач, которая стоит перед инженером-проектировщиком. Сроки службы являются универсальной характеристикой, определяющей остальные параметры мостовой конструкции. В ГОСТ 27751-2014 «Надежность строительных конструкций и оснований» [1], вышедшего взамен ГОСТ Р 54257-2010 [2], указаны примерные сроки службы зданий и сооружений, а также дано определение терминам «долговечность», «надежность», «жизненный цикл», «срок службы», «расчетный срок службы».

В 2016 г. был разработан СП «Мосты в условиях плотной городской застройки. Правила проектирования» (приложение А) [3], в котором приведена таблица регламентирования проектных сроков службы частей

и элементов мостовых сооружений с указанием сроков службы металлических, железобетонных и сталежелезобетонных пролетных строений – 100 лет, композитных – 50 лет, деревянных – 25 лет. При этом ранжирование проектных сроков службы для пролетных строений из сборного и монолитного железобетона в данном документе отсутствует.

В 2017 г. было утверждено Изменение № 1 к СП 35.13330.2011 «Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84*» [4], в котором впервые появляется «Приложение № 6 (рекомендуемое). Сроки службы». В данном приложении для пролетных строений автодорожных и городских мостов приводятся следующие сроки службы/сроки до первого ремонта в годах: железобетонные ребристые сборные с обычной арматурой, а также плитные сборные сплошного сечения – 50/30; монолитные, стальные и сталежелезобетонные длиной до 60 м – 70/40; длиной 60 м и выше – 100/50.

Таким образом, инженер при проектировании считает, что с выполнением всех нормативных требований сроки службы элементов сооружений должны соответствовать указанным в Приложении № 6 [4]. При этом директивное назначение ориентировочных сроков службы без математического аппарата их определения не дает возможности инженерам-проектировщикам корректно обосновывать эти сроки. В п. 4.3 [1] отмечено, что расчётные сроки службы проектируемых строительных объектов должен определять генпроектировщик по согласованию с заказчиком. В случае, если заказчиком потребуется назначение срока службы на уровне 120 лет, то какие изменения в проект необходимо внести, чтобы обеспечить такой срок службы? Какую начальную надёжность имеет конструкция, запроектированная в соответствии с нормативными требованиями? Найти соответствующее решение проектировщику затруднительно, поскольку в нормах не содержится аппарата расчета и обоснования сроков службы, определения надёжности конструкции (вероятности безотказной работы). В отечественных сводах правил по проектированию мостов не регламентируется уровень надёжности, которому должна соответствовать конструкция при проектировании.

Исходя из имеющихся статистических данных и сведений о сроках службы мостов во всем мире, можно сделать вывод о том, что срок службы моста до капитального ремонта или реконструкции в 100 лет удастся выдержать в единичных случаях, в большей степени для внеклассных мостов. В соответствии с информацией [5], средний срок службы железобетонных мостов России находится в пределах 40 – 60 лет. По данным, представленным в [6], в РФ большинство транспортных сооружений запроектированы по нормативным документам XX века и вследствие

долгой эксплуатации в настоящее время требуют ремонта или реконструкции: 12,3 % мостов из общего числа мостов (5087 шт.), расположенных на федеральных автомобильных дорогах, находятся в неудовлетворительном состоянии, а 45 % не отвечают требованиям грузоподъемности.

В ряде других стран постсоветского пространства ситуация с техническим состоянием железобетонных мостов обстоит еще хуже. Так, в Украине фактический срок службы железобетонных мостов составляет 45 – 50 лет. По данным прогноза 2014 г., основанного на линейной регрессии, в период с 2004 до 2018 гг. количество мостов, которые требовали ремонта или реконструкции, возрастало практически в 10 раз (рис. 1) [7].

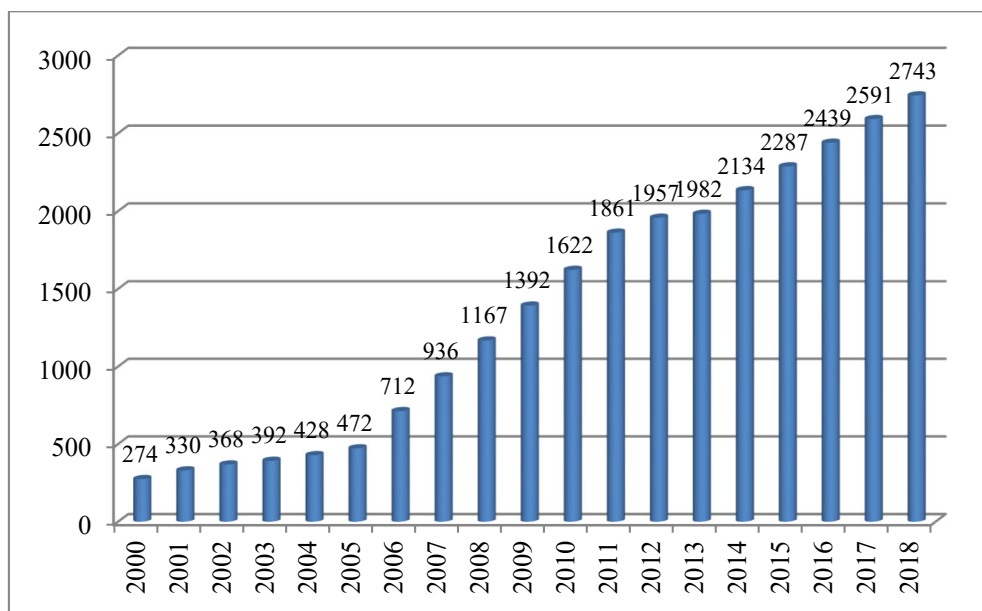


Рис. 1. Динамика роста количества мостов, которые ожидают безотлагательного ремонта

Снижение реального среднего срока службы мостов до 50 – 60 лет констатируется также во многих странах мира. Так, в [8] указано, что средняя продолжительность жизненного цикла железобетонных мостов Японии составляет 60 лет.

На протяжении многих лет проблема долговечности мостовых сооружений находилась лишь в плоскости обсуждений и полемики. В

нормы проектирования мостов прошлого века термин «долговечность» не вводился. Расчетные зависимости проверки сечений не содержат переменной времени. Инженер при проектировании опирается лишь на свой собственный опыт и интуицию, а практические рекомендации, которые позволили бы заложить требуемый и четко определенный ресурс сооружения в проект, отсутствуют.

В этих условиях, для безаварийной эксплуатации, продления срока службы, стратегического планирования ремонтов или реконструкции сооружений, возрастает необходимость в новых научных подходах к оценке и прогнозу технического состояния мостов, обоснованию сроков службы и определению уровня надежности сооружений.

Нормирование надёжности сооружений в отечественных и европейских документах

При проектировании условие надежности конструкции определяется путём выполнения так называемого «предельного неравенства»:

$$E \leq R = F \cdot A \quad , \quad (1)$$

где

E – усилия или напряжения в элементах сооружения;

R – несущая способность элемента;

F – прочность материала;

A – геометрическая характеристика сечения элемента.

Количественной оценкой надежности сооружения стала вероятность выполнения (либо невыполнения) «предельного неравенства»:

$$p_f = P(R - E \leq 0) \quad . \quad (2)$$

В общем виде модель надежности имеет вид:

$$p_f = P(G(R, E) \leq 0) \quad , \quad (3)$$

где

p_f – вероятность достижения предельного состояния;

$G(.)$ – функция предельного состояния.

Фундаментальное понятие «характеристика безопасности», а также вероятность безотказной работы конструкции впервые были введены и определены А.Р. Ржаницыным в 1952 г. [9]. Он предложил представлять запас прочности в виде разности двух случайных величин: воздействия S и его несущей способности R :

$$Z = (R - S) \quad , \quad (4)$$

а вероятность безотказной работы:

$$P(t = n) = \int_0^{\infty} p_n(Z) dZ \quad , \quad (5)$$

где

p_n – плотность распределения запаса прочности.

Тогда среднее значение случайной величины Z можно представить в виде:

$$\mu_Z = \mu_R - \mu_S \quad ; \quad (6)$$

а его дисперсию:

$$D_Z = D_R + D_S = \sigma_R^2 + \sigma_S^2 \quad , \quad (7)$$

где

μ_R, μ_S, σ_R и σ_S – средние значения и среднеквадратические отклонения (стандарты) величин R и S соответственно.

При нормальном (Гауссовом) распределении воздействия S и несущей способности R характеристика безопасности примет вид:

$$\beta = \frac{\mu_R - \mu_S}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}} \quad . \quad (8)$$

Если запас прочности Z распределен по нормальному закону, то вероятность отказа можно записать с помощью функции Лапласа:

$$p_f = P(R - S \leq 0) = P(Z \leq 0) = \Phi\left(-\frac{\mu_Z}{\sigma_Z}\right) = \Phi(-\beta) \quad , \quad (9)$$

где

$\Phi(x)$ – функция Лапласа, стандартная функция нормального распределения, для которой среднее значение равно 0, дисперсия равна 1.

Графическая интерпретация запаса прочности Z и его связь с характеристикой безопасности β приведена на **рис. 2**.

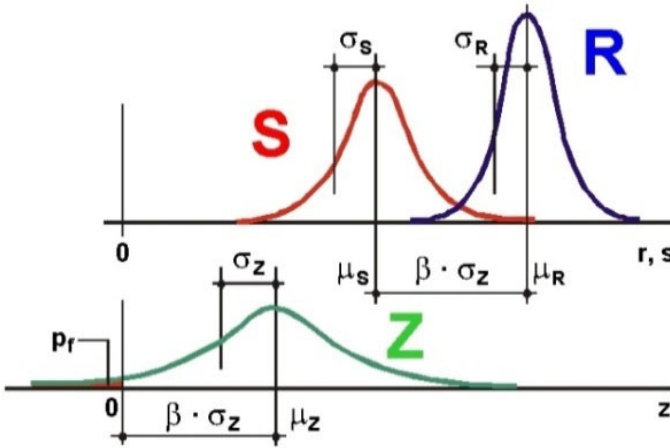


Рис. 2. Запас прочности Z

Параметр β , математически связанный с вероятностью отказа, оказался удобным инструментом для анализа надежности и использовался для расчета коэффициентов надежности строительных норм по проектированию транспортных сооружений Советского Союза. Позже этот подход в западной литературе будет назван «метод второго момента» (second-moment method) и станет фундаментом проектирования конструкций заданной надежности.

Нужно отметить, что понятие «характеристика безопасности» называется в европейской и западной литературе как «индекс надежности» (*reliability index*). Здесь и далее мы будем применять то название, которое было дано впервые автором – А.Р. Ржаницыным.

Общий алгоритм оценки технического состояния мостовых сооружений приведен в отечественном документе [10], где по результатам оценки технического состояния по отдельным показателям (безопасность, грузоподъемность, долговечность, ремонтпригодность) назначается общая балльная оценка технического состояния. Соответствие общей балльной оценки технического состояния мостового сооружения по видам технического состояния приведено в **табл. 1**.

Таблица 1

Соответствие балльной оценки технического состояния мостового сооружения видам технического состояния

| <i>Балльная оценка</i> | <i>Техническое состояние</i> | <i>Вид технического состояния</i> | | |
|------------------------|---|-----------------------------------|-----------------------------|--|
| <i>5</i> | Отличное | Исправное | Работоспособное | |
| <i>4</i> | Хорошее | | | |
| <i>3</i> | Удовлетворительное | Неисправное | Ограниченно работоспособное | |
| <i>2</i> | Неудовлетворительное | | | |
| <i>1</i> | Непригодное для нормальной эксплуатации (предаварийное) | | Неработоспособное | |
| <i>0</i> | Аварийное | Предельное | | |

При этом в данном документе отсутствуют пороговые уровни надёжности для каждого технического состояния.

Данные значения содержатся в зарубежном нормативном документе [11], где оценка технического состояния пролетных строений мостов осуществляется путем идентификации их эксплуатационного состояния. Принимается, что в течение жизненного цикла мост в целом или его конструктивный элемент последовательно пребывает в одном из пяти эксплуатационных состояний, каждое из которых может быть качественно и количественно описано согласно классификационным таблицам. Каждому эксплуатационному состоянию соответствуют определенный уровень износа элемента, верхний уровень надежности и регламентируемые эксплуатационные или ремонтные мероприятия (табл. 2).

Таблица 2

Классификация эксплуатационных состояний элементов моста

| Эксплуатационное состояние | Название эксплуатационного состояния | Обобщенная характеристика состояния | Износ элемента, % | Верхний уровень надежности по первой группе предельных состояний | | Эксплуатационные мероприятия |
|----------------------------|--------------------------------------|--|-------------------|--|-------------------------------|--|
| | | | | Надежность | Характ. безопасности, β | |
| <i>Состояние 1</i> | Исправное | Элемент соответствует всем требованиям проекта и действующих норм эксплуатации | 0-3 | 0,999844 | 3,80 | – |
| <i>Состояние 2</i> | Ограниченно исправное | Элемент частично не соответствует требованиям проекта, однако не нарушаются требования ни первой, ни второй групп предельных состояний | 3-8 | 0,998363 | 2,95 | Текущие ремонты без ограничения движения |

| <i>Эксплуатационное состояние</i> | <i>Название эксплуатационного состояния</i> | <i>Обобщенная характеристика состояния</i> | <i>Износ элемента, %</i> | <i>Верхний уровень надежности по первой группе предельных состояний</i> | | <i>Эксплуатационные мероприятия</i> |
|-----------------------------------|---|---|--------------------------|---|---|--|
| | | | | <i>Надежность</i> | <i>Характ. безопасности, β</i> | |
| <i>Состояние 3</i> | Работоспособное | Элемент частично не соответствует требованиям проекта, однако не нарушаются требования первой группы предельных состояний. Возможно частичное нарушение требований второй группы предельных состояний, если это не ограничивает нормального функционирования сооружения | 8-27 | 0,992461 | 2,43 | Текущие ремонты с возможным ограничением скорости движения |
| <i>Состояние 4</i> | Ограниченно работоспособное | Возможно частичное нарушение требований первой группы предельных состояний. Нарушаются требования | 27-42 | 0,979771 | 2,05 | Капитальный ремонт с ограничением скорости движения и |

| <i>Эксплуатационное состояние</i> | <i>Название эксплуатационного состояния</i> | <i>Обобщенная характеристика состояния</i> | <i>Износ элемента, %</i> | <i>Верхний уровень надежности по первой группе предельных состояний</i> | | <i>Эксплуатационные мероприятия</i> |
|-----------------------------------|---|---|--------------------------|---|---|---|
| | | | | <i>Надежность</i> | <i>Характ. безопасности, β</i> | |
| | | второй группы предельных состояний. Сооружение эксплуатируется в ограниченном режиме и требует специального контроля над состоянием его элементов | | | | грузоподъемности транспорта |
| <i>Состояние 5</i> | Неработоспособное | Элемент не удовлетворяет требованиям первой группы предельных состояний, что указывает на необходимость прекращения эксплуатации сооружения | 42-65 | 0,958351 | 1,74 | Реконструкция или закрытие сооружения для движения транспорта |

В европейских стандартах критерием дифференциации минимального уровня надёжности и риска при проектировании сооружения является понятие класса последствий (*consequence Class – CC*). Классы последствий описываются потерей человеческих жизней, экономическими и социальными потерями, ущербом, нанесенным окружающей среде, вызванным возможным разрушением сооружения.

Таблица 3

*Классы последствий отказа строительных объектов
в соответствии с [12]*

| <i>Класс последствий</i> | <i>Описание</i> |
|--------------------------|--|
| <i>CC3</i> | Значительные последствия – потери человеческой жизни, либо экономические, социальные или ущерб для окружающей среды являются очень большими |
| <i>CC2</i> | Средние последствия – потери человеческой жизни, экономические, социальные или ущерб для окружающей среды являются значительными |
| <i>CC1</i> | Незначительные последствия – потери человеческой жизни и экономические, социальные последствия или последствия для окружающей среды являются малыми или не принимаемыми в расчёт |

Каждому классу последствий (CC) соответствует класс надёжности сооружений RC (Reliability Classes). Количественным показателем надёжности выступает характеристика безопасности (индекс надёжности) по несущей способности зданий и сооружений, β .

Классификация надёжности в соответствии с [12]

| <i>Классы надёжности</i> | <i>Последствия отказа</i> | <i>β для учётного периода</i> | | <i>Примеры сооружений</i> |
|--------------------------|---------------------------|--|---------------|-----------------------------|
| | | <i>1 год</i> | <i>50 лет</i> | |
| RC3 – высокий | Большие | 5.2 | 4.3 | Мосты, общественные здания |
| RC2 – нормальный | Средние | 4.7 | 3.8 | Резиденции, офисы |
| RC1 – низкий | Малые | 4.2 | 3.3 | Сельскохозяйственные здания |

Назначение и прогнозирование сроков службы элементов мостов тесно связаны с аппаратом теории надёжности и предельных состояний, где во главу угла, как отмечено выше, поставлено условие выполнения предельного неравенства ($G = R - E$), а также вероятность его выполнения ($P_f = P(R - E \leq 0)$).

Индикаторами надёжности элемента служат два взаимосвязанных показателя: характеристика безопасности по Ржаницыну β (индекс надёжности) и вероятность отказа p_f . Их взаимосвязь выражается следующим образом:

$$p_f = \Phi(-\beta) \quad (10)$$

Графическая интерпретация характеристики безопасности в системе обобщенных переменных E , R и их плотностей распределения p_R , p_E представлена ниже (рис. 3).

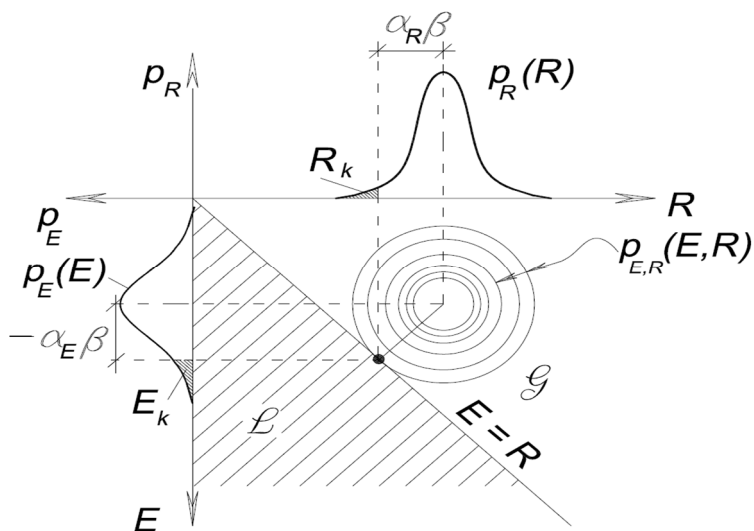


Рис. 3. Функция предельного неравенства и характеристика безопасности β в системе обобщенных переменных E, R

В плоскости безразмерных переменных E/σ_E и R/σ_R графическая схема характеристики безопасности представлена ниже (**рис. 4**).

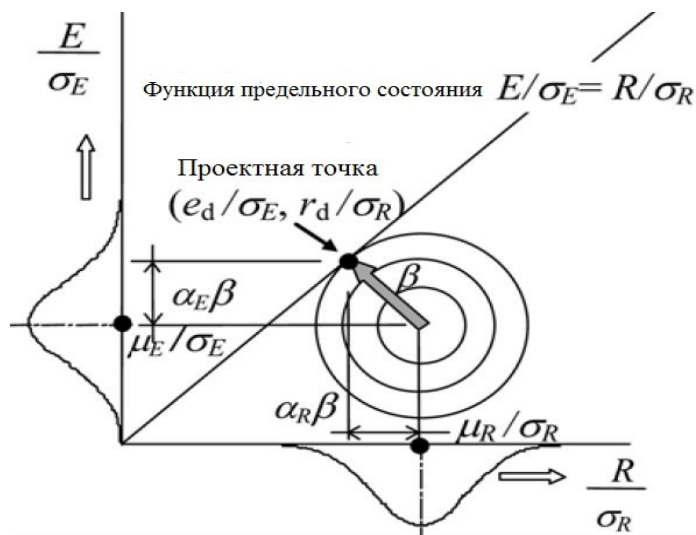


Рис. 4. Функция предельного неравенства и характеристика безопасности β в плоскости безразмерных переменных E/σ_E и R/σ_R

Величину характеристики безопасности также можно найти, используя коэффициенты вариации обобщенного воздействия E и обобщенного сопротивления R , по формуле:

$$\beta = \frac{\left(\frac{\mu_R}{\mu_E} - 1\right)}{\sqrt{V_E^2 + \left(\frac{\mu_R}{\mu_E}\right)^2 V_R^2}}, \quad (11)$$

где

μ_R, V_R – математическое ожидание и коэффициент вариации обобщенного сопротивления;

μ_E, V_E – математическое ожидание и коэффициент вариации обобщенного воздействия.

Рекомендуемые базовые значения β назначаются в зависимости от степени последствий аварии сооружения и относительной стоимости мер предосторожности, в соответствии с [13], в различных нормативных документах приведены на **рис. 5**.

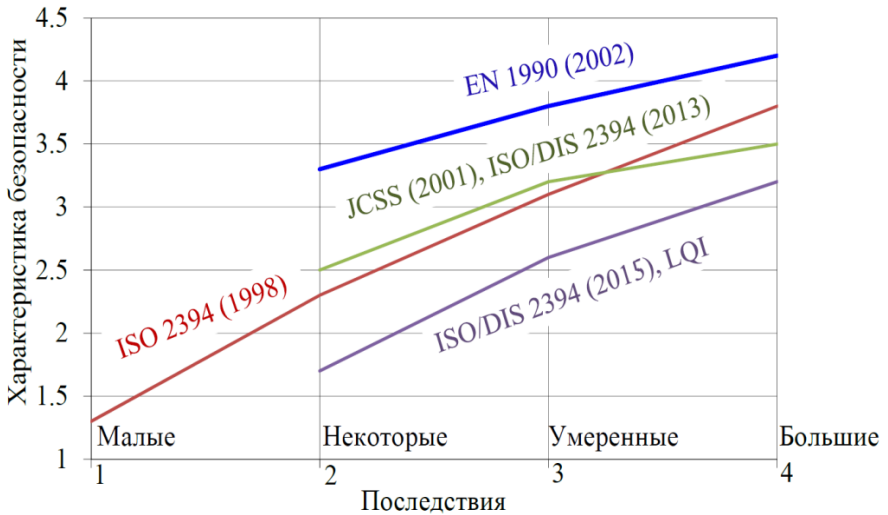


Рис. 5. Вариации характеристики безопасности в разных нормативных документах для учётного периода 50 лет

Необходимо подчеркнуть, что под учётным периодом (*reference period*) понимается выбранный период времени, который используется в качестве основы для определения статистических параметров случайных величин (временной нагрузки, например). Физический смысл отчётного периода показан ниже (рис. 6). Можно отметить, что при учётном периоде в 1 год средняя величина и стандарт временной нагрузки будут ниже, чем за 20 лет, а значит и характеристика безопасности будет выше для 1 года, чем при учётном периоде в 20 или 50 лет при *одинаковом* уровне надёжности.

Необходимо понимать, что понятие учётного периода фундаментально отличается от понятия проектного срока службы. Однако зачастую инженерами и учёными эта разница не принимается к сведению [13].

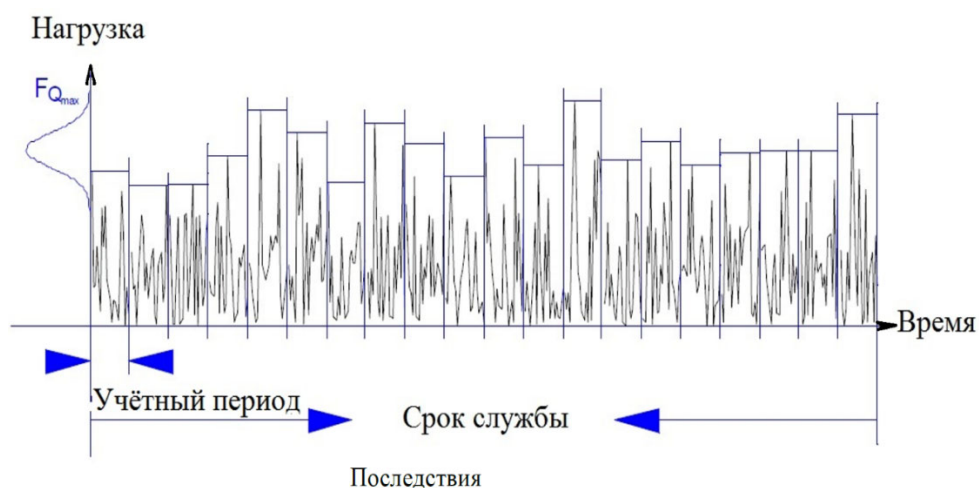


Рис. 6. Взаимосвязь между понятиями учётного периода и срока службы

Характеристика безопасности для учётного периода в n лет может быть определена по формуле:

$$\Phi(\beta_n) = [\Phi(\beta_1)]^n, \quad (12)$$

где

$\Phi(x)$ – функция Лапласа – стандартная функция нормального распределения, для которой среднее равно 0, дисперсия равна 1;

β_1 – характеристика безопасности для учётного периода в 1 год;

β_n – характеристика безопасности для учётного периода в n лет.

Физический смысл зависимости (12) представлен ниже (рис. 7).

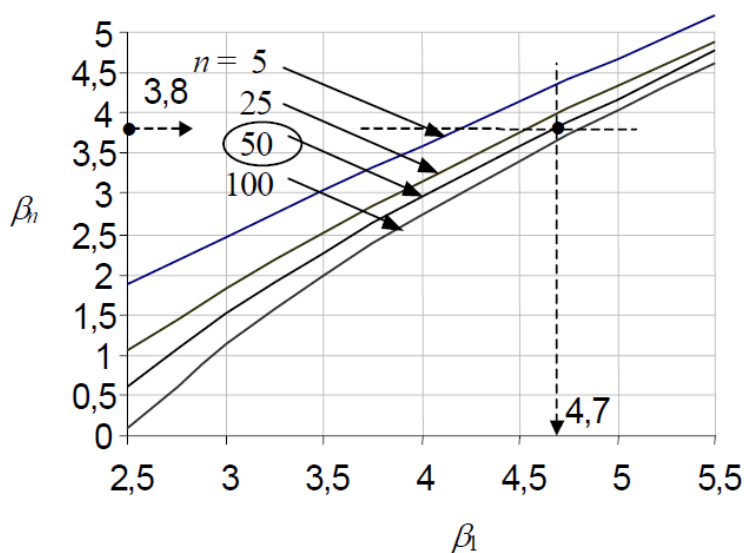


Рис. 7. Зависимость β_n от β_1 при $n = 5; 25; 50; 100$

В функции вероятности отказа зависимость (12) может быть записана следующим образом:

$$P_n = 1 - (1 - P_1)^n, \quad (13)$$

где

P_n – вероятность отказа, соответствующая учётному периоду в n лет;

P_1 – вероятность отказа для учётного периода в 1 год.

Выше приведены базовые значения характеристики безопасности, которые должны быть выдержаны при проектировании сооружений, в том числе и мостов. Однако в процессе эксплуатации в элементах мостов накапливаются повреждения, снижается несущая способность, что приводит к снижению характеристики безопасности, а значит и надёжности сооружения. При этом необходимо понимать следующее: какой уровень надёжности является критическим, какая минимальная величина характеристики безопасности является допустимой перед окончанием срока службы. В нормативном документе [11] (табл. 2) приводятся 5 эксплуа-

тационных состояний, в которых находятся мосты в течение своего жизненного цикла, а также минимальный уровень надёжности, который соответствует каждому из эксплуатационных состояний. Неработоспособному состоянию, при котором эксплуатация сооружения больше невозможна, соответствует верхний уровень надёжности на уровне 0,958351 с характеристикой безопасности 1,74.

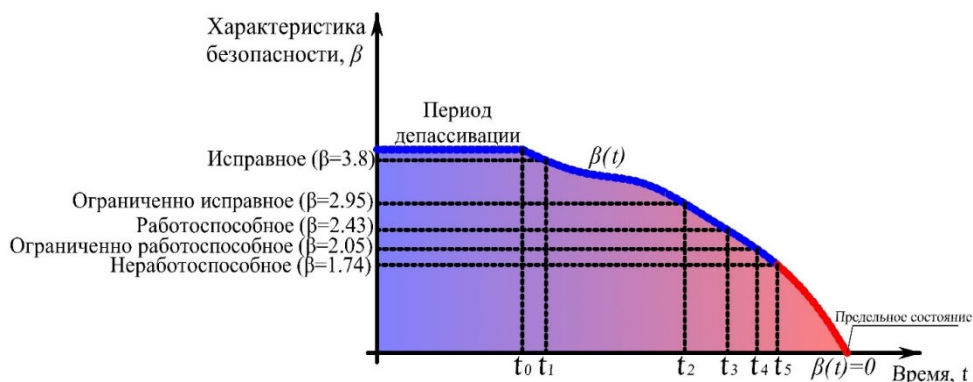


Рис. 8. Характеристика безопасности в зависимости от времени t

Прогнозирование и обоснование нормативного и расчетного сроков службы

С деградацией мостов связывают постепенную потерю нормируемых качеств, снижение технического состояния сооружений. Под факторами деградации подразумеваются те, что приводят к изменению со временем физико-механических характеристик элементов мостов, необратимому накоплению различного рода повреждений (снижению прочности бетона, уменьшению поперечных сечений стальных элементов (в том числе и арматурных стержней), образованию силовых и коррозионных трещин и т.д.). Нужно отметить, что эти факторы, как и в целом начальные прочностные свойства и геометрические характеристики элементов транспортных сооружений обладают статистическим разбросом и носят стохастический случайный характер. Долговечность мостов, количественно выраженная в сроке службы, напрямую зависит от этих факторов и характера их воздействия, который является случайным, тем самым формируя срок службы как случайную величину, обладающей определенным разбросом возможных значений.

Как отмечено выше, при проектировании мостовых конструкций требования по сроку службы должны устанавливаться заказчиком, а срок службы называется заданным расчетным (*target service life*, t_g).

Коэффициент надёжности срока службы является отношением математического ожидания срока службы к расчетному сроку службы [14]:

$$\gamma_t = \frac{\mu_T}{t_g}, \quad (14)$$

где

γ_t – коэффициент надёжности срока службы;

μ_T – математическое ожидание срока службы, лет;

t_g – расчетный срок службы с заданной обеспеченностью, лет.

Величина коэффициента надёжности срока службы зависит от назначенной максимально допустимой вероятности отказа, чем меньше допустимая вероятность отказа, тем больше коэффициент надёжности срока службы. Кроме того, следует отметить влияние типа распределения срока службы на значение коэффициента надёжности.

При условии, что математическое ожидание срока службы (средний срок службы) μ_T соответствует нормативному сроку службы t_d , уравнение (14) преобразуется в следующее:

$$t_g = \frac{t_d}{\gamma_t}, \quad (15)$$

где

t_d – нормативный срок службы.

В научном исследовании [15] коэффициент надёжности срока службы определяется как коэффициент надёжности свойств материалов ввиду того, что деградация стали и бетона во времени снижает несущую способность элемента, поэтому изменение эксплуатационных характеристик элемента необходимо в первую очередь оценивать на уровне материалов (бетона и арматурной стали):

$$\gamma_t = \frac{R_d}{R_k}, \quad (16)$$

где

R_k – характеристическое значение обобщенной переменной сопротивления R ;

R_d – ее расчетное значение обобщенной переменной сопротивления R .

Характеристические нормативные значения R_k определяются с обеспеченностью 0,95 при нормальном и логнормальном законах распределения по формулам:

$$R_k = \mu_R (1 - 1,645 \cdot V_R) \text{ (нормальный закон) ;} \quad (17)$$

$$R_k = \mu_R \cdot e^{-1,645 V_R} \text{ (логнормальный закон) ,} \quad (18)$$

где

μ_R – математическое ожидание обобщенной переменной сопротивления;

V_R – коэффициент вариации материала;

1,645 – характеристика безопасности, соответствующая обеспеченности 0,95.

Расчётные значения R_d определяются в разных нормативных документах с разной обеспеченностью, при этом характеристика безопасности варьируется от 3,0 до 4,3 (рис. 5, табл. 4). В общем виде расчётные значения R_d при нормальном и логнормальном законах распределения определяются по формулам:

$$R_d = \mu_R (1 - a_R \cdot \beta_a \cdot V_R) \text{ (нормальный закон) ;} \quad (19)$$

$$R_d = \mu_R \cdot e^{-a_R \cdot \beta_a \cdot V_R} \text{ (логнормальный закон) ,} \quad (20)$$

где

μ_R – математическое ожидание обобщенной переменной сопротивления;

V_R – коэффициент вариации материала;

β_a – характеристика безопасности, соответствующая расчётному значению;

a_R – коэффициент чувствительности, направляющие косинусы диаграммы (рис. 3, 4).

В соответствии с [12, 16] α_R и α_E могут быть приняты как 0,8 и – 0,7 соответственно.

Таким образом, коэффициенты надёжности срока службы при нормальном и логнормальном законах распределения примут вид:

$$\gamma_t = \frac{1 - 1,645 \cdot V_R}{1 - 0,8 \cdot \beta_a \cdot V_R} \quad (\text{нормальный закон}) ; \quad (21)$$

$$\gamma_t = \frac{\mu_R \cdot e^{-1,645 V_R}}{\mu_R \cdot e^{-a_R \cdot \beta_a \cdot V_R}} = e^{(0,8 \beta_a V_R - 1,645 V_R)} \quad (\text{логнормальный закон}) . \quad (22)$$

В документе [17] коэффициент надежности срока службы принят согласно определению, изложенному выше. Следует отметить, что коэффициент надежности срока службы является отношением нормативного срока службы t_d к расчетному сроку службы t_g . Графическая интерпретация нормативного и расчетного сроков службы, а также коэффициента надежности срока службы приведена ниже.

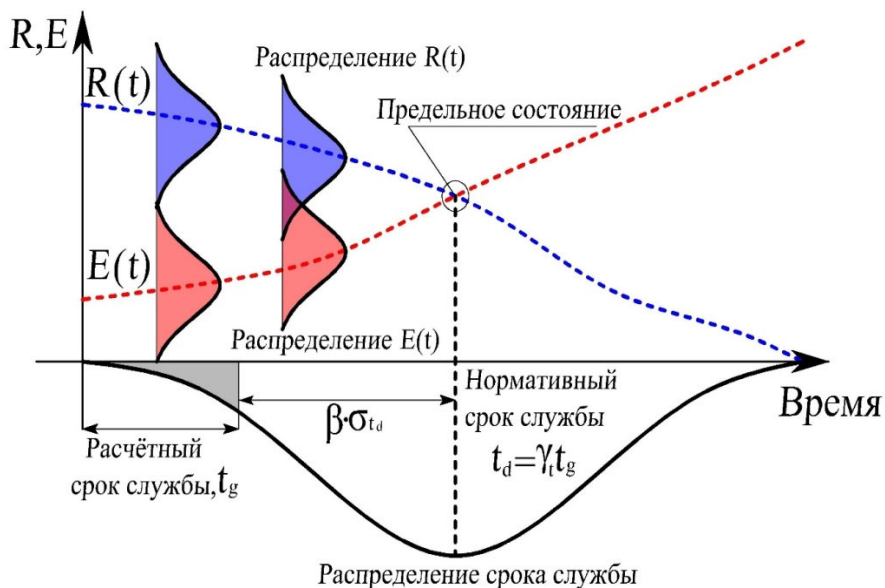


Рис. 9. Физический смысл коэффициента надежности срока службы

Таким образом, коэффициент надежности срока службы при нормальном распределении будет равен:

$$\gamma_t = 1 + \beta_{td} \cdot V_{td} , \quad (23)$$

где

β_{td} – характеристика безопасности срока службы (устанавливается заказчиком);

V_{td} – коэффициент вариации срока службы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Нормами проектирования мостов директивно регламентируется их срок службы на уровне 70 – 100 лет. С точки зрения инженеров, при выполнении всех требований норм проектирования мостов, применении системы коэффициентов надёжности к материалам и нагрузкам такой срок службы будет выдержан. Неравенства предельных состояний позволяют обеспечить начальную надёжность конструкции, однако не содержат переменной времени. В распоряжении инженеров не имеются механизмы для анализа и оценки надёжности конструкции во времени, определения сроков службы элементов, которые обязательно должны быть обоснованы и отражены в проекте. Надёжность транспортных сооружений в отечественных нормативных документах количественно не нормируется. Таким образом, неизвестно, какой должна быть начальная надёжность сооружения в зависимости от класса последствий (класса ответственности). Учитывая вышеизложенное, в нормы проектирования необходимо включить аппарат управления безопасностью мостов на основе дифференциации их надёжности, в зависимости от классов последствий. В качестве факторов и параметров управления надёжностью целесообразно разработать и обосновать: минимальный проектный уровень надёжности, выраженный количественно в значениях характеристики безопасности; процедуру контроля надёжности элементов в процессе проектирования; рекомендации, направленные на снижение человеческих ошибок при проектировании и строительстве; механизмы расчета и прогнозирования сроков службы элементов мостов в зависимости от особенностей конструкции и условий эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 27751-2014. Надежность строительных конструкций и оснований. – М.: Стандартинформ, 2015. – 15 с.
2. ГОСТ Р 54257-2010 Надежность строительных конструкций и оснований. – М.: Стандартинформ, 2011. – 14 с.
3. СП 259.1325800.2016. Мосты в условиях плотной городской застройки. Правила проектирования. Издание официальное. – М.: Стандартинформ, 2016. – 44 с.
4. Изменение № 1 к СП 35.13330.2011. Мосты и трубы [Текст] / Актуализованная редакция СНиП 2.05.03-84. – М.: Стандартинформ, 2017. – 40 с.
5. Межнякова А.В. Вероятностный расчет железобетонных элементов конструкций с учетом воздействия хлоридсодержащих сред: ...дис. канд. тех. наук: 05.23.01 / Межнякова Анна Владимировна. – Саратов, 2011. – 350 с.
6. Матвеев В.К. Современные методы обследования автодорожных мостов, опыт Т.К.М. / В.К. Матвеев, В.К. Блохин, О.В. Крутиков // Сборник трудов МИИТа «К 100-летию института». – М., 1998. – С. 141-163.
7. Давиденко О.О. Оцінка технічного стану і прогнозування залишкового ресурсу автодорожніх мостів / О. О. Давиденко // Автошляховик України. – 2014. – № 1 (237). – С. 29-34.
8. Концепция улучшения состояния мостовых сооружений на федеральной сети автомобильных дорог России [Текст]: Распоряжение Министерства транспорта Российской Федерации (на период 2002-2010 гг.) ИС-1146-р. – М.: ГП «Информавтдор», 2003. – 89 с.
9. Ржаницын А.Р. Применение статистических методов в расчетах сооружений на прочность и безопасность / А.Р. Ржаницын // Строительная промышленность. – М., 1952. – № 6. – 157 с.
10. ОДМ 218.3.014-2011. Методика оценки технического состояния искусственных сооружений. – М.: Федеральное дорожное агентство (Росавтодор), 2012. – 91 с.
11. ДСТУ-НБ В.2.3-23: 2009. Настава з оцінювання і прогнозування технічного стану автодорожніх мостів [Текст]. – На заміну ВБН В.3.1-218-174-2002; чинний від 2010-03-01. – К. : Мінрегіонбуд України, 2009. – 49 с.
12. EN 1990:2002 Eurocode – Basis of structural design. European Committee for Standardization. – Brussels: 2003. – 119 pp.

13. Holicky Milan. *Target reliability levels in present standards* / M. Holicky, J. Markova, M. Sykora // *Civil Engineering Series. Technical University of Ostrava*. – 2014. – № 2, Vol. 14. – 8 pp.
14. *Probabilistic model code* / *The Joint Committee on Structural Safety*. – Zurich: JCSS, 2001. – p. 138.
15. Бородай Д.И. *Прогноз долговечности проектируемых железобетонных мостов: ...дис. канд. тех. наук: 05.23.01* / Бородай Денис Игоревич. – Макеевка, 2013. – 7 с.
16. ISO 2394:1998 *General principles on reliability for structures* / Geneva: *International Organization for Standardization*. – 1998. – P. 73.
17. Sarja A. *Durability design of concrete structures – Committee report 130-CSL* / A. Sarja, E. Vesicary // *Materials and structures*. – 2000. – Pp. 261-271.

L I T E R A T U R A

1. GOST 27751-2014. *Nadezhnost' stroitel'nyh konstrukcij i osnovanij*. – M.: Standartinform, 2015. – 15 s.
2. GOST R 54257-2010 *Nadezhnost' stroitel'nyh konstrukcij i osnovanij*. – M.: Standartinform, 2011. – 14 s.
3. SP 259.1325800.2016. *Mosty v usloviyah plotnoj gorodskoj za-strojki. Pravila proektirovaniya. Izdanie oficial'noe*. – M.: Standartinform, 2016. – 44 s.
4. *Izmenenie № 1 k SP 35.13330.2011. Mosty i truby [Tekst] / Aktualizovannaya redakciya SNiP 2.05.03-84*. – M.: Standartinform, 2017. – 40 s.
5. Mezhenyakova A.V. *Veroyatnostnyj raschet zhelezobetonnyh elementov konstrukcij s uchetom vozdeystviya hlorigidsoedynenijskih sred: ...dis. kand. tekhn. nauk: 05.23.01* / Mezhenyakova Anna Vladimirovna. – Saratov, 2011. – 350 s.
6. Matveev V.K. *Sovremennye metody obsledovaniya avtodorozhnyh mostov, opyt T.K.M.* / V.K. Matveev, V.K. Blohin, O.V. Krutikov // *Sbornik trudov MIITA «K 100-letiyu instituta»*. – M., 1998. – S. 141-163.
7. Davidenko O.O. *Ocinka tekhnichnogo stanu i prognozuvannya zalishkovogo resursu avtodorozhnyh mostiv* / O. O. Davidenko // *Avtoshlyahovik Ukraïni*. – 2014. – № 1 (237). – S. 29-34.

8. *Koncepciya uluchsheniya sostoyaniya mostovyh sooruzhenij na federal'noj seti avtomobil'nyh dorog Rossii [Tekst]: Rasporyazhenie Ministerstva transporta Rossijskoj Federacii (na period 2002-2010 gg.) IS-1146-r.* – M.: GP «Informavtodor», 2003. – 89 s.
9. *Rzhanicyн A.R. Primenenie statisticheskikh metodov v rasche-tah sooruzhenij na prochnost' i bezopasnost' / A.R. Rzhanicyн // Stroitel'naya promyshlennost'.* – M., 1952. – № 6. – 157 c.
10. *ODM 218.3.014-2011. Metodika ocenki tekhnicheskogo sostoyaniya iskusstvennyh sooruzhenij.* – M.: Federal'noe dorozhnoe agentstvo (Rosavtodor), 2012. – 91 s.
11. *DSTU-N B V.2.3-23: 2009. Nastanova z ocinyuvannya i prognozuvannya tekhnichnogo stanu avtodorozhnih mostiv [Tekst].* – Ha zamini VBN V.3.1-218-174-2002; chinnij vid 2010-03-01. – K.: Minregionbud Ukraїni, 2009. – 49 s.
12. *EN 1990:2002 Eurocode – Basis of structural design. European Committee for Standardization.* – Brussels: 2003. – 119 pp.
13. *Holicky Milan. Target reliability levels in present standards / M. Holicky, J. Markova, M. Sykora // Civil Engineering Series. Technical University of Ostrava.* – 2014. – № 2, Vol. 14. – 8 pp.
14. *Probabilistic model code / The Joint Committee on Structural Safety.* – Zurich: JCSS, 2001. – p. 138.
15. *Borodaj D.I. Prognoz dolgovechnosti proektiruemyh zhelezobetonnyh mostov: ...dis. kand. tekhn. nauk: 05.23.01 / Borodaj Denis Igorevich.* – Makeevka, 2013. – 7 s.
16. *ISO 2394:1998 General principles on reliability for structures / Geneva: International Organization for Standardization.* – 1998. – P. 73.
17. *Sarja A. Durability design of concrete structures – Committee report 130-CSL / A. Sarja, E. Vesicary // Materials and structures.* – 2000. – Pp. 261-271.

**JUSTIFICATION OF RELIABILITY AND SERVICE LIFE OF
DESIGNED BRIDGES**

*Ph. D. (Tech.), Associate Professor **D.A. Shestovitskiy**
(Emperor Alexander I St. Petersburg State
Transport University (PGUPS))
Contact information: irinas@stpr.ru*

The article outlines the problem concerning the purpose and justification of the service life of designed bridges, as well as the lack of standardization of constructions' reliability in domestic standards. When carrying out the directive assignment of service life at the level of 70-100 years, the regulatory documents lack mechanisms for calculating and justifying the service life for the particular structure, taking into account its operation conditions. The equations of limiting states do not contain a time variable, and the reliability coefficients to the design resistances and loads take into account their probabilistic spread, but not changes in these parameters over time. The review of the standardization of the reliability of constructions in domestic and European literature is done. A modern approach to forecasting and justifying the service life of bridges is considered.

Рецензент: канд. техн. наук Б.П. Кутько (ФАУ «РОСДОРНИИ»).

Статья поступила в редакцию: 18.03.2021 г.