

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО ДОРОГ,
МЕТРОПОЛИТЕНОВ, АЭРОДРОМОВ, МОСТОВ И
ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ**

УДК 627.33-192:658.2

Базанова Инна Амандыковна – к.т.н, доцент (Алматы, Каз АТК)

**ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ НАДЕЖНОСТЬ НЕСУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ
ЗАЩИТНЫХ СООРУЖЕНИЙ**

Как показывает анализ эксплуатации защитных сооружений, нормативные сроки их службы не соответствуют фактическим, так как не учитывают в полной мере интенсивность физического износа конструкций и особенности научно-технического прогресса в мировой практике. В связи с этим, значительные отклонения от нормативной периодичности наблюдаются также в фактических сроках капитального ремонта сооружений.

Достоверность перспективных планов строительства защитных сооружений может быть в значительной степени повышена при решении двух первостепенных задач:

1) определения морального и физического износа существующих объектов и расчета по пятилеткам баланса пригодных к эксплуатации, требующих капитального ремонта или реконструкции и вновь возводимых сооружений;

2) разработки и использования при проектировании расчетов защитных сооружений, учитывающих изменение надежности конструкций в течение срока их эксплуатации.

Первая задача - физический износ сооружений наступает в результате коррозии, гниения, механического разрушения, неудачных решений при проектировании и строительстве защитных объектов.

На основе морального и физического износа конструкций можно сделать вывод о необходимости тщательного изучения проблемы и учета отмеченных факторов при разработке перспективных планов строительства защитных сооружений.

Вторая задача состоит в развитии методов расчета строительных конструкций, позволяющих оптимизировать срок службы сооружений с учетом их морального и физического износа.

Известно, что проектирование защитных сооружений состоит из двух главных этапов: 1) определение размеров и сечений несущих элементов конструкций по расчетным формулам строительной механики, теории упругости и пластичности; 2) определение необходимых запасов или резервов прочности, которые обеспечили бы надежность сооружения в течение срока его службы. Первому этапу расчетов и проектирования конструкций посвящено большое количество исследований, разработок и нормативных документов.

Что же касается проблемы нормирования запасов прочности и долговечности сооружений, то до сих пор она не решена с учетом приведенных выше требований экономического и эксплуатационного характера. Автор видит возможность решения этой проблемы в использовании теории надежности, вероятностных и статистических методов. Такие методы позволяют с большей степенью достоверности, чем применяемые ныне, решать оптимизационные задачи, кроме того, абсолютное большинство параметров, входящих в расчетные формулы, являются случайными величинами и носят статистический характер. К этому следует добавить, что за последние 15-20 лет

вероятностные методы определения гарантии неразрушимости претерпели значительные изменения: повысилась их точность, универсальность и приемлемость для инженерных расчетов и исследований [1,2]. Так, успешно применяют в практических расчетах метод семиинвариантов, на основе которого составлена схема расчета оптимизации запасов прочности и долговечности строительных конструкций.

В настоящее время для расчетов защитных сооружений используют полувероятностный метод предельных состояний с нормативными коэффициентами безопасности [1]. Однако этот метод не позволяет оценить уровень надежности будущего сооружения и в полной мере учесть влияние изменчивости действующих на сооружение сил, изменчивости свойств строительных материалов и грунтов. Последнее очень важно для оценки и использования фактической несущей способности сооружения и его основания для создания надежной и экономичной конструкции.

Нормативная вероятность безотказной работы по каждому виду отказа устанавливается дифференцированно, в зависимости от степени экономической ответственности, определяемой по затратам, связанным с ликвидацией его последствий, а также восстановлением у сооружения способности удовлетворять первоначально заданным эксплуатационным требованиям. Нормативная вероятность безотказной работы элемента и соединений тем выше, чем выше степень их ответственности и, чем выше материальные затраты.

Нормативная надежность сооружений назначается с учетом нормативных надежностей элементов и соединений, а также последовательности соединения элементов между собой. Нормативные значения надежности устанавливаются на основе опыта проектирования сооружений с использованием методов ее теории, в том, числе оптимизации сооружений по надежности. В качестве ориентировочных - рекомендуется принять следующие значения [3].

Для бетонных и железобетонных элементов защитных сооружений по отказам, связанным с работой материала по первой и второй группам предельных состояний, соответственно,

$$[P_j]^I = 0,95 \div 0,99; [P_j]^{II} = 0,95$$

для элементов защитных сооружений по отказам, связанным с работой грунтов оснований по первой и второй группам предельных состояний, соответственно,

$$[P_j]^I = 0,96 \div 0,99; [P_j]^{II} = 0,90.$$

Многие защитные сооружения, изготовленные из металла или из железобетона, и за счет образования трещины конструкции, корродируются, что приводит к потере несущей способности.

Одним из наиболее важных вопросов в проблеме нормирования запасов прочности и долговечности сооружений является установление зависимости срока физического износа несущих элементов от их начальной вероятности неразрушимости. Эти расчеты должны учитывать изменение надежности от сечения элементов, поскольку в результате механического (лавина сель, оползень) или коррозионного износа первоначально установленные запасы тратятся с годами, в результате чего уменьшается сечение и, соответственно, надежность элемента.

В процессе эксплуатации защитных сооружений постоянно происходят необратимые случайные процессы изменения сечений элементов, приводящие конструкцию к разрушению (отказу). Всякий отказ – следствие накоплений этих необратимых изменений

свойств конструктивных элементов. Отказ наступает при критическом значении $S_{кр}$ - параметра, определяющего надежность конструктивного элемента. Иными словами, при достижении $S_{кр}$ состояние конструктивного элемента считается неудовлетворительным или происходит его разрушение. Так, при эксплуатации сооружений в каждом элементе из множества одинаковых элементов (например, свай, балки, анкерных тяг) процессы коррозии протекают различно.

Для выбранного наугад элемента процесс изменения его сечения можно рассматривать как случайную функцию времени. Реализациями этой случайной функции являются процессы изменения сечения каждого элемента с течением времени эксплуатации. Эти реализации, как правило, имеют так называемый начальный период интенсивной коррозии и износа элемента, к концу которого постепенно устанавливается постоянная скорость его износа.

Для приближенного исследования нестационарного случайного процесса изменения секущей прямой, при котором получается случайная функция времени, все реализации являются прямыми. Текущее значение сечения элемента

$$S_t = S_0 + vt, \quad (1)$$

где S_0 - начальное значение сечения элемента; v - скорость изменения сечения элемента за период.

В общем случае,

В общем случае, S_0 , S_t - случайные величины.

Многолетним опытом исследований и сопоставлением результатов экспериментов с теорией установлено, что обычно значение параметров элементов в любой фиксированный момент времени распределено по нормальному закону. Иначе говоря, можно считать, что случайные величины S_0 и v имеют нормальное распределение, кроме того, опытами установлено, что начальные сечения практически одинаковы для всех одинаковых элементов. Как следствие, все реализации линейной случайной функции проходят через неслучайную точку с координатами $S_0, 0$. Изображение множества реализаций случайной функции имеет вид веера (рисунок 1), поэтому линейные случайные функции, имеющие плюс, называются веерными. Следовательно, моделью нестационарного случайного процесса изменения сечения элементов может быть принята веерная случайная функция времени вида 1.

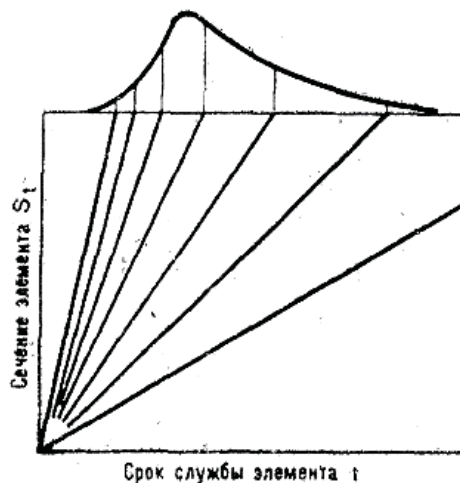


Рисунок 1. Схема реализации случайного процесса изменения сечения

Математическое ожидание веерной случайной функции составляет:

$$\bar{S}_t = S_0 + \bar{v}t \quad (2)$$

где \bar{v} - математическое ожидание скорости уменьшения элементов.

Известно, что корреляционная функция $K_S(t, t')$ при $t' = t$ обращается в дисперсию случайной функции S_t т.е.

$$K_S(t, t') = \sigma_v^2(t, t') \quad (3)$$

Следовательно,

$$\sigma_{S_t} = \sigma_v t \quad (4)$$

От прибавления неслучайного слагаемого S_0 корреляционная функция не меняется. Таким образом, используя веерную случайную функцию, удастся характеризовать нормально распределенный нестационарный случайный процесс изменения параметра малым числом постоянных числовых характеристик начальным значением параметра S_0 , средним значение v и средним квадратическим отклонением σ_v скорости изменения параметра.

Точки пересечения реализаций случайного процесса S_t изменения параметра с горизонталью $S_{кр} = const$ соответствует моментам времени отказов элементов.

Значения скорости уменьшения сечения элементов ограничены нижним b_1 и верхним b_2 пределами, поэтому необходимо рассматривать усеченное нормальное распределение $f(b)$ скорости изменения параметра при $b_1 \leq b \leq b_2$. Соответственно, функция:

$$f(b) = \frac{C}{\sigma_v \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(b - \bar{v})^2}{2\sigma_v^2}\right], \quad (5)$$

где C - нормирующий множитель, определяемым выражением:

$$C = \frac{1}{\Phi(r_2) - \Phi(r_1)} \quad (6)$$

$$r_1 = \frac{b_1 - \bar{v}}{\sigma_v}$$

$$r_2 = \frac{b_2 - \bar{v}}{\sigma_v}$$

Математическое ожидание \bar{v}_y и дисперсия σ_{vy}^2 усеченного нормального распределения имеет вид:

$$\bar{v}_y = \bar{v} - \sigma_{vy} K$$

$$\sigma_{vy}^2 = \sigma_v^2 \left\{ 1 - K^2 - \frac{C}{\sqrt{2\pi}} \left[r_2 \exp\left(-\frac{r_2^2}{2}\right) - r_1 \exp\left(-\frac{r_1^2}{2}\right) \right] \right\},$$

где $K = \frac{C}{\sqrt{2\pi}} \left[\exp\left(-\frac{r_2^2}{2}\right) - \exp\left(-\frac{r_1^2}{2}\right) \right]$.

При усеченном нормальном распределении скорости v изменения параметра случайная величина T , связанная с v зависимостью $T = (S_{кр} - S_0)/v$ имеет плотность распределения:

$$f(T) = \frac{S_{кр} - S_0}{\sigma_v t^2} \frac{C}{\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{S_{кр} - S_0}{\sigma_v t} - \frac{\bar{v}}{\sigma_v} \right)^2\right] \quad (7)$$

при $t_1 \leq t \leq t_2$, где $t_1 = (S_{кр} - S_0)/b_2$; $t_2 = (S_{кр} - S_0)/b_1$.

Обозначив относительный запас долговечности через $\beta = |S_{кр} - S_0|/\sigma_v$, относительную среднюю скорость изменения сечения через $\alpha = v/\sigma_v$, распределение (7) можно записать в виде:

$$f(T) = \frac{C\beta}{t^2 \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\beta}{t} - \alpha \right)^2\right]. \quad (8)$$

Параметр β имеет размерность времени, параметр α - безразмерен. Распределение (8) называется α - распределением.

Значение функции надежности $P(T_i)$ в момент времени t_i при α - распределении

$$P(T_i) = \frac{C\beta}{t^2 \sqrt{2\pi}} \int_{t_i}^{t_i} \frac{1}{T^2} \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\beta}{T} - \alpha \right)^2\right] \quad (9)$$

Сделаем подстановку

$$l = \beta/T - \alpha \quad (10)$$

После образованию получим

$$P(T_i) = \frac{\Phi(l_i) - \Phi(r_i)}{\Phi(r_2) - \Phi(r_i)}, \quad (11)$$

где $\Phi(l_i)$, $\Phi(r_i)$ - значения функции Гаусса.

Для $\alpha \geq 2$ можно считать

$$P(T_i) \approx \frac{1}{2} + \Phi(l_i) \quad (12)$$

Таким образом, для решения задачи необходимо определить математическое ожидание и дисперсию скорости уменьшения сечения конструктивных элементов защитных сооружений. Следует отметить некоторые особенности учета фактора времени в расчетах надежности различных конструктивных элементов защитных сооружений. Элементы конструкций могут работать по схемам совместных и независимых отказов, другими словами, с учетом и без учета резервирования.

Очевидно, в случае резервирования целесообразным является учет только математического ожидания интенсивности коррозии или износа элементов сооружения, поскольку фактор совместимости работы будет нивелировать напряжения и усилия в резервированных элементах. В связи с перераспределением усилий и деформаций между элементами системы, крайние значения α - распределения интенсивности износа не будут

оказывать существенного влияния на долговечность эксплуатируемого сооружения, а этом случае, если конструктивный элемент нерезервирован, его долговечность, а следовательно, и срок службы всей конструкции, должны определяться надежностью по α - распределению, т.е. с учетом краевых значений интенсивности коррозии или износа.

При проектировании сооружений на срок физического износа очевидной является возможность создания конструкции с такими запасами размеров и сечений несущих элементов, долговечность которых может значительно превосходить экономически целесообразные сроки службы. Поэтому задача оптимизации размеров конструкции с учетом физического износа заключается в определении таких размеров несущих элементов сооружений, срок службы которых не превосходил бы экономически целесообразный.

Выводы

В результате расчета конструкций по предлагаемой методике могут быть определены экономически целесообразный срок службы, размеры и сечения несущих элементов и сметная стоимость сооружения. Перечисленные показатели являются основой для разработки перспективных планов капитального строительства защитных сооружений. Сооружения, эксплуатационная надежность которых становится ниже нормативного или оптимального значения, должны быть реконструированы, усилены или заменены новыми. В КазАТК разработаны конструкции и методы расчета таких сооружений, существует многолетний опыт работ, направленных на реконструкцию и усиление защитных сооружений [5].

ЛИТЕРАТУРА

1. Ржаницин А.Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность М., Стройиздат, 1978, 339 с.
2. Байнатов Ж.Б., Кузютин А.Д. Вероятностные методы расчета надежности строительных и мостовых конструкций. Алматы, КазАТК, 2005, 227 с.
3. Костюков В.Д. Надежность морских причалов и их реконструкции. М., Транспорт, 1987, 223 с.
4. Екимов В.В. Вероятностные методы в строительной механике корабля Л., Судостроение, 1966, 326 с.
5. Байнатов Ж.Б., Тулебаев К.Р., Базанова И.А. Оценка надежности защитного сооружения методом риска // Ташкент, Проблемы информатики и энергетики, 2008, №5, с. 92-95.

УДК 624.21.012.35

Аканова Жазира Жанабаевна – соискатель (Алматы, КУПС)

АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ПРОЧНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ СОВМЕСТНОМ ДЕЙСТВИИ ПРОДОЛЬНЫХ И ПОПЕРЕЧНЫХ СИЛ

В процессе эксплуатации железобетонные стойки опор мостов, каркасов одноэтажных производственных зданий и других сооружений испытывают совместное воздействие вертикальных и горизонтальных сил. При действии таких нагрузок в стойках имеет место сжатие с изгибом.

В действующих нормативных документах СНиП 2.03.01-84* “Бетонные и железобетонные конструкции” [1] и СНиП 2.05.03-84* “Мосты и трубы” [2] отсутствуют рекомендации по расчету таких железобетонных элементов при продольно-поперечном