

С.М. БЕЛЯЕВ

старший преподаватель кафедры строительства

Самарский государственный архитектурно-строительный университет, филиал в г. Белебее Республики Башкортостан

**РАСЧЕТ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ЗДАНИЙ
С УЧЕТОМ ЗАПАСА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ****CALCULATION OF THE RESIDUAL RESOURCE OF BUILDINGS TAKING INTO ACCOUNT THE STOCK
OF BEARING ABILITY OF STRUCTURES**

Представлен метод определения остаточного ресурса зданий с учетом запаса несущей способности конструкций и площади поражения при возможной аварии. Данный метод основан на широко известном методе определения остаточного ресурса здания по физическому износу конструкций. Анализируются недостатки этого распространенного метода и предлагаются пути их устранения.

Ключевые слова: износ здания, постоянная износа, несущая способность, срок службы, остаточный ресурс.

Оценка остаточного ресурса здания (сооружения) является в настоящее время не только одной из актуальных задач, но и одной из самых сложных. Многообразие методов и подходов ее решения, наряду с присущими недостатками и достоинствами тех или иных приемов, не позволяет принять какой-либо метод в качестве универсального.

Сложность определения ресурса здания (сооружения) кроется в формулировках самих терминов. Так, согласно источнику [1]:

Ресурс – суммарная наработка, при достижении которой эксплуатация объекта должна быть прекращена независимо от его технического состояния.

В том же источнике [1] термин «остаточный ресурс» трактуется следующим образом:

Остаточный ресурс – суммарная наработка объекта от момента контроля его технического состояния до перехода в предельное состояние.

Таким образом, термин «ресурс» не привязан к техническому состоянию, в то время как «остаточный ресурс» зависит исключительно от него.

На практике часто приходится иметь дело как с объектами, находящимися в аварийном состоянии, но не проработавшими нормативного срока, так и с эксплуатируемыми сверх нормативного срока, находящимися во вполне удовлетворительном состоянии. Эти факты ставят под вопрос справедливость оперирования понятиями «ресурс» и «остаточный

The method of definition of a residual resource of buildings taking into account a stock of bearing ability of structures and the defeat area at possible accident is presented in work. This method is based on the widely known method of definition of a residual resource of the building on physical wear of structures. Disadvantages of this widespread method are analyzed and ways of their elimination are offered in this article.

Keywords: Wear of the building, constant wear, bearing ability, assigned lifetime, residual life.

ресурс» при оценке надежности и безопасности объектов эксплуатации.

Для зданий (сооружений) основным требованием безопасной эксплуатации является несущая способность конструктивных элементов – способность воспринимать действующие нагрузки и воздействия в течение всего срока службы. Если конструкция или здание (сооружение) в целом прекратило воспринимать и передавать действующие на него нагрузки, то наступило событие, называемое отказом.

Отказ — событие, заключающееся в нарушении работоспособности, прекращении выполнения конструкцией заданных функций, определяемых соответствующими допусками.

Понятие безопасности здания (сооружения) в целом как сложной системы значительно шире, чем для его составляющих элементов, способных находиться лишь в двух состояниях (рабочем и не рабочем).

Отказы конструкций подразделяются по различным признакам:

- в зависимости от причин возникновения - на внутренние отказы, вызванные дефектами конструкций, и отказы, вызванные внешними причинами (превышение допустимых нагрузок, изменение рабочей схемы и т.д.);

- в зависимости от срока эксплуатации - на преждевременные и износосовые;

- в зависимости от последствий - на незначительные, значительные и критические;
- в зависимости от характера - на частичные и полные;
- в зависимости от скорости появления - на последовательные постепенные и внезапные.

Постепенные отказы конструкций вызваны прежде всего старением материалов и их усталостью. Именно постепенные отказы могут быть наиболее точно спрогнозированы ввиду легкости систематизации и большого исторического опыта наблюдения.

Внезапные отказы преимущественно зависят от случайных факторов, учет которых чрезвычайно сложен. На первый взгляд, задача прогноза может быть решена рассмотрением коэффициентов надежности, принимаемых на стадии проектирования конструкций.

Однако, согласно источнику [1]:

Надежность – свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания и транспортировки.

Оценка надежности строительных конструкций и здания (сооружения) в целом производится на основе обследования накопленных повреждений и имеющихся дефектов согласно положениям [2].

По результатам обследования устанавливается степень пригодности зданий (сооружений), а также их остаточный ресурс – время (в годах), до наступления такого технического состояния, при котором дальнейшая эксплуатация объекта невозможна без капитального ремонта, усиления либо замены несущих конструкций.

Аспектами определения остаточного ресурса зданий (сооружений) в общем виде являются:

- физический износ;
- статическая (в ряде случаев динамическая) прочность материалов с учетом дефектов и повреждений;
- усталость материалов.

Остаточный ресурс здания может определяться по тому или иному аспекту в зависимости от исходных материалов, полученных на этапе обследования. Для обеспечения заданной точности расчета остаточного ресурса в ряде случаев могут потребоваться дополнительные испытания конструкций статической либо динамической нагрузкой.

Задача определения остаточного ресурса здания (сооружения) может решаться с различными

допусками, а значит и с различной степенью точности и сложности.

Высшая точность реализуется с применением всех возможностей теории вероятностей с учетом временных характеристик рассеянных величин. Точность средней степени может быть получена, если характеристики представлены средними значениями и стандартными отклонениями. Удовлетворительная точность получается при детерминированных расчетах, когда анализ не дает точных формул, а позволяет выявить лишь эмпирическую зависимость.

Именно последний подход благодаря относительно малой трудоемкости при решении конкретных задач нашел наибольшее распространение. Однако зависимость убывающих конструктивных характеристик во времени должна быть достаточно обоснована и относительно универсальна для большинства зданий (сооружений).

В настоящее время наиболее широко распространено представление об убывании запаса несущей способности по экспоненциальному закону [3].

За начало координат принимается год ввода объекта в эксплуатацию либо год, когда осуществлялся капитальный ремонт. В этой точке несущая способность конструкций имеет максимальное значение.

Для построения экспоненциальной функции снижения несущей способности конструкций определяется постоянная износа, зависящая от технического состояния объекта на момент обследования.

Ниже представлена основанная на данной зависимости методика определения остаточного ресурса здания.

Общая оценка поврежденности здания (сооружения) определяется по формуле

$$\varepsilon = (\varepsilon_1 \cdot \alpha_1 + \varepsilon_2 \cdot \alpha_2 + \dots + \varepsilon_i \cdot \alpha_i) / (\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_i), \quad (1)$$

где $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_i$ – максимальные нарушения (дефекты и повреждения) в конструкциях здания (сооружения); $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_i$ – коэффициенты значимости соответствующих конструкций.

Коэффициент значимости α характеризуется ущербом, который может быть получен при полном отказе конструкции. Например, постоянное замачивание кладки стен приводит к ухудшению такого параметра эксплуатационных качеств, как сопротивление теплопередаче, однако оно не влияет на устойчивость и прочность здания (сооружения), но снижает его долговечность. Коэффициенты значимости отдельных конструкций определяются ведущим экспертом с учетом конкретных условий, взаимозави-

симости элементов с рассмотрением гипотетически возможных зон разрушения в здании.

Относительная оценка поврежденности показывает долю поврежденности здания (сооружения) по сравнению с только что введенным в эксплуатацию объектом либо со зданием (сооружением) после капитального ремонта. Она может быть определена по формуле

$$\zeta = 1 - \varepsilon. \quad (2)$$

Постоянная износа, подчиняющаяся экспоненциальному закону, определяется по формуле

$$\lambda = - \ln \zeta / t, \quad (3)$$

где t – срок службы в годах с момента строительства либо проведения капитального ремонта до обследования конструкций здания (сооружения).

Ресурс здания в годах с момента строительства или капитального ремонта, в соответствии с принятым экспоненциальным законом снижения несущей способности конструкций, может быть найден по формуле

$$T = - \ln y / \lambda, \quad (4)$$

где y – величина, характеризующая относительную надежность конструкции по отношению к нормативной надежности.

Рассмотрим подробнее величину y , характеризующую относительную надежность конструкции по отношению к нормативной. В настоящее время единственной нормируемой характеристикой надежности при оценке прочности являются коэффициенты надежности по материалам γ_m , нагрузкам γ_f а также по назначению здания (сооружения) γ_n .

Для практических расчетов данного направления принимается $\gamma_f = 1,2$; $\gamma_n = 1$; $\gamma_m = 1,24$ – для стальных и железобетонных конструкций, разрушающихся по арматуре; $\gamma_m = 1,67$ – для железобетонных конструкций, разрушающихся по бетону.

Полный коэффициент надежности для стальных и железобетонных конструкций, разрушающихся по арматуре, равен 1,5; для железобетонных конструкций – 2.

Среднее значение полного коэффициента надежности составит $(1,5 + 2) / 2 = 1,75$.

В момент разрушения здания (сооружения) его фактическая надежность будет составлять единицу. Относительная надежность может быть найдена по формуле

$$y = 1 / 1,75 = 0,6. \quad (5)$$

Преобразованная формула (4), с учетом полученного коэффициента относительной надежности:

$$T = 0,6 / \lambda. \quad (6)$$

Данный метод чрезвычайно прост и универсален, в связи с чем широко распространен при оценке остаточного ресурса зданий (сооружений). Недостаток методики состоит в «осреднении» коэффициентов надежности при определении коэффициента относительной надежности.

Кроме этого, коэффициенты надежности отражают только виды нагрузок, материалов и ответственность зданий (сооружений), но упускаются из поля зрения другие немаловажные факторы: конструктивные особенности здания, степень ответственности каждой конструкции и т.д.

Вместе с тем, допускать работу здания (сооружения) в период, когда материалы конструкций исчерпали запас прочности и коэффициент относительной надежности близок к единице, крайне опасно. Любое воздействие (статическое, динамическое), находящееся за пределами нормативных значений пусть даже в короткий временной интервал, вызовет необратимые деформации, передающиеся от конструкции к конструкции, что при неблагоприятном сочетании условий и обстоятельств может вызвать аварию.

Известно, что с введением в строительство унификации и типизации конструкций, изделий и деталей при проектировании зданий (сооружений) заносится значительный резерв несущей способности. Это обусловлено наличием типовых конструкций, арматурной стали стандартных диаметров, стандартного металлопроката и т.д. В результате этого на практике запас несущей способности конструкций относительно фактически действующих нагрузок получается значительным.

В данной работе предлагается отказаться от коэффициента относительной надежности конструкций y и ввести вместо него коэффициент относительного запаса несущей способности w . Формула (4) в этом случае примет следующий вид:

$$T = - \ln w / \lambda. \quad (7)$$

Коэффициент относительного запаса несущей способности для здания (сооружения) в целом является приведенным. Естественно, в расчет берутся только несущие конструкции:

$$w = (\sum \Delta N_i \cdot A_{vi} + \sum \Delta M_i \cdot A_{gi} + \sum \Delta Q_i \cdot A_{gi}) / (\sum A_{vi} + 2 \cdot \sum A_{gi}), \quad (8)$$

где ΔN_i – запас несущей способности i -го вертикального элемента (колонна, столб, стойка и т.д.) на действие вертикальной силы; A_{vi} – площадь обрушения, которую вызовет авария i -го вертикального элемента; ΔM_i – запас несущей способности на действие изгибающего момента i -го горизонтального элемента (ригели, фермы, плиты и т.д.); ΔQ_i – запас несущей способности на действие перерезывающей силы i -го горизонтального элемента (ригеля, фермы, плиты и т.д.); A_{gi} – площадь обрушения, которую вызовет авария i -го горизонтального элемента.

Запасы несущей способности на действие изгибающего момента и перерезывающей силы определяются при проведении поверочных расчетов конструкций на действующие нагрузки:

$$\Delta N_i = N_{pi} - N_{ui} \quad (9)$$

$$\Delta M_i = M_{pi} - M_{ui} \quad (10)$$

$$\Delta Q_i = Q_{pi} - Q_{ui} \quad (11)$$

где N_{pi} – проектная несущая способность вертикального элемента на действие вертикальной силы; N_{ui} – продольное усилие, приложенное к вертикальному элементу; M_{pi} – проектная несущая способность горизонтального элемента на действие момента; M_{ui} – изгибающий момент, действующий в сечении горизонтального элемента; Q_{pi} – проектная несущая способность горизонтального элемента на действие перерезывающей силы; Q_{ui} – перерезывающая сила, действующая у опор горизонтального элемента.

Если необходимо определить величину остаточного ресурса здания с момента обследования, то в формулы (9), (10), (11) вместо величин проектной несущей способности конструкций N_{pi} , M_{pi} , Q_{pi} следует подставлять значения фактической несущей способности конструкций N_{fi} , M_{fi} , Q_{fi} , рассчитанные по результатам обследования технического состояния с учетом всех нарушений (дефектов и повреждений).

При определении площадей обрушения вертикальных и горизонтальных i -х элементов A_{vi} , A_{gi} необходимо учитывать взаимосвязь и взаимопираивание несущих конструкций. Так, например площадь обрушения плиты покрытия (перекрытия) равна площади проекции плиты на горизонтальную плоскость. Площадь обрушения ригеля, прогона, фермы и прочего равна площади проекции на горизонтальную плоскость всех опираемых на данный элемент плит и т.д.

Дальнейший анализ разрабатываемой методики определения ресурса зданий (сооружений)

приводит к необходимости учитывать характер разрушения конструкций (хрупкое либо пластическое разрушение).

Так, например, разрушение изгибаемого элемента под действием перерезывающей силы происходит быстро и без заметных деформаций, а под действием изгибающего момента медленно, с прогибом, свидетельствующим о необходимости принятия соответствующих мер. Очевидно, этот факт необходимо отразить введением в формулу (8) коэффициентов, занижающих запас несущей способности конструкций на действие перерезывающей силы.

Предлагаемая в статье методика находится на стадии анализа и разработки. Сложность и актуальность задачи определения ресурса здания (сооружения) заставляет искать все новые и новые пути решения, удовлетворяющие как запросам точности, так и универсальности методики.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1990.
- СП 13-102-2003. Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений [Текст]. – М.: Госстрой России, ГУП ЦПП, 2003.
- Рекомендации по оценке надежности строительных конструкций и сооружений по внешним признакам [Текст]/ ЦНИИПромзданий. – М., 2001.

© Беляев С.М., 2013