

УДК 624.014:620

Принципы определения остаточного ресурса строительных конструкций в условиях их длительной эксплуатации

Колесниченко С.В., к.т.н.

Донбасский центр технологической безопасности ООО «Укринсталькон
им. В.Н. Шимановского», Украина

Анотація. Викладено вимоги до прогнозування залишкового ресурсу будівельних конструкцій будівель та споруд при зміні параметрів їх технічного стану під час експлуатації.

Аннотация. Излагаются требования к прогнозированию остаточного ресурса строительных конструкций зданий и сооружений при изменении параметров их технического состояния во время эксплуатации.

Summary. Demands to predicting of residual life for building structures during changing its technical conditions' parameters under service operation are described.

Ключевые слова: ресурс, остаточный ресурс, дефект, повреждение.

Состояние проблемы и задачи исследования.

Проектный срок эксплуатации конструкций называется ресурсом или проектным ресурсом. В вероятностном или детерминированном виде проектный ресурс заложен в современных нормах проектирования стальных конструкций [1, 2]. Как правило, для большинства производственных зданий и сооружений их проектный ресурс составляет 40–60 лет, для общественных зданий – 100 лет [1]. Проведенные исследования [3] показали, что реальный ресурс стальных конструкций, особенно в условиях агрессивных сред, составляет 20–25 лет, а реальный ресурс зданий составляет 40–50 лет. Учитывая, что большинство промышленных зданий и сооружений были построены в период с 1950 по 1983 год, их ресурс уже либо исчерпан, либо близок к исчерпанию.

8 октября 2004 года выходит постановление КМУ №1331 «Про затвердження Державної науково-технічної програми «Ресурс», в котором отмечается, что существует значительная изношенность конструкций и инженерных сетей, имеется тенденция ее к увеличению. Меры по научно обоснованному установлению новых сроков эксплуатации, определению остаточного ресурса эксплуатирующихся зданий и сооружений требуют системного подхода и должны решаться на национальном уровне.

Исследования по проблеме ресурса, проводимые в последнее время [4, 5], как правило, используют подходы, опирающиеся на изучение влияния

одного доминирующего параметра – чаще всего, коррозии или циклов нагружения на срок эксплуатации конструкции. Проблема исследования ресурса заключается в оценке влияния многих факторов на работу как отдельных элементов, так и на поведение всех частей, составляющих сложную систему – здание (сооружение).

В связи со значительным разбросом в оценке ресурса как всего здания, так и отдельных конструкций, составляющих его каркас, для точного прогнозирования мероприятий по ремонту и реконструкции необходимо знать срок, когда состояние конструкции будет близким к исчерпанию своей работоспособности.

Таким образом, в настоящее время актуальной является проблема обеспечения технологической безопасности предприятия – создания системы мер для сохранения нормальных условий его функционирования в условиях исчерпания строительными конструкциями своего нормативного ресурса. Одной из задач технологической безопасности является определение остаточного ресурса конструкций и расчет на этой основе остаточного ресурса эксплуатации здания (сооружения) в целом.

Основные определения. В соответствии с [6] остаточный ресурс является суммарной продолжительностью работы (наработкой) объекта от момента контроля его технического состояния до перехода в предельное состояние. В свою очередь, контроль технического состояния заключается в обнаружении в процессе диагностики конструкций (обследований, осмотров, мониторинга и т. п.) дефектов и повреждений - ДиП, расчета их значений и определения работоспособного состояния элемента и конструкции в целом. В случае, если ДиП или их сочетание нарушает работоспособное состояние всей конструкции, то такое событие называется отказом.

Причины возникновения отказов для стальных конструкций можно разделить на два вида: технологические и обусловленные человеческим фактором.

К технологическим относят отказы, обусловленные нарушением хода технологического процесса – эксплуатации – на общее состояние конструкций. Такими отказами являются: уменьшение поперечного сечения элемента из-за коррозии; усталостные разрушения (трещины) вследствие недопустимых параметров динамических (циклических или вибрационных) нагрузок; дополнительные перемещения из-за нагрузки в виде отложений пыли и технологических продуктов; появление механических повреждений и перемещений из-за локального перегрева, охлаждения, попадания агрессивных и абразивных технологических материалов и оборудования.

Отказы второго вида закладываются на стадиях проектирования, изготовления, транспортировки, монтажа и появляются также в процессе эксплуатации конструкций. Такими отказами можно считать: значительный уровень напряженного состояния в узлах из-за неправильно принятого конструктивного решения (проектирование); начальные искривления элементов (транспортировка и монтаж); изменения расчетных схем (монтаж, эксплуатация); дефекты соединений – непровары в сварных швах, зазоры в фланцах и т. п. (изготовление, монтаж); повреждения, вызванные превышением проектных нагрузок (эксплуатация). Такие отказы связаны с уровнем подготовки соответствующих специалистов, уровнем технологической дисциплины и культуры производства на конкретном предприятии.

Таким образом, отказы первого вида обусловлены накоплением и развитием повреждений (сочетаниями повреждений), а отказы второго вида – дефектами и повреждениями.

Большая часть отказов проявляется постепенно в изменении одного или нескольких параметров ДиП, поэтому их называют также параметрическими. Контролируемыми параметрами являются непосредственно измеряемые величины ДиП: глубина коррозии, величина перемещения, искривление элемента и т. д. Эти параметры, контроль которых позволяет прогнозировать моменты наступления отказов, по [7] будем называть параметрами технического состояния, или сокращенно – ПТС. Для большинства ДиП стальных конструкций их ПТС представлены в [8].

Если эксплуатация элемента или всей конструкции после наступления отказа невозможна или нецелесообразна, то такое состояние называют предельным состоянием (ПС). Целесообразность восстановления конструкции, имеющей ДиП, может быть обусловлена как технико-экономическими показателями, так и нарушениями установленных требований безопасности (экологии).

Признаки предельного состояния конструкции, установленные в нормативно-технической документации, называются критериями предельного состояния (КПС).

В итоге, с точки зрения расчета строительной конструкции как механической системы, все отказы сводятся к нарушениям механической работоспособности элементов или всей конструкции. Остаточный ресурс конструкции определяется как время перехода параметров ДиП из безопасных в опасные значения. Наиболее опасными для стальных конструкций являются отказы, вызванные коррозией, усталостным разрушением, нарушением целостности элементов и их соединений,

появлением недопустимых перемещений и зон с пластическими деформациями.

Прогнозирование остаточного ресурса. Остаточный ресурс конструкция может иметь не только до истечения проектного срока службы, но и после него. Это обусловлено действующими нормами и правилами расчета конструкций, при которых наступление ПС регламентируется при наиболее неблагоприятных режимах нагружения в заданных условиях эксплуатации, а также при минимальных уровнях механических характеристик конструкционных материалов, обеспечиваемых по государственным стандартам. Фактические режимы нагружения при соблюдении правил эксплуатации оказываются, как правило, меньшими, чем расчетные, что снижает интенсивность расходования заложенных запасов (по прочности, выносливости, коррозионной стойкости) и обеспечивает резерв по остаточному ресурсу.

Возможность прогнозирования величины остаточного ресурса обеспечивается при одновременном наличии следующих условий:

- известны параметры, определяющие техническое состояние конструкции (ПТС);
- известны критерии предельного состояния;
- имеется возможность периодического (или непрерывного) контроля значений ПТС.

По многим характерным деградационным процессам для эксплуатирующихся стальных конструкций (сплошной коррозии, перемещениям, износ) указанные условия выполняются. По другим видам повреждений (например, образование трещин, межкристаллитная коррозия) не все условия, необходимые для прогнозирования остаточного ресурса, могут выполняться, в таких случаях требуется проведение специальных исследований.

Прогнозирование остаточного ресурса системы – это может быть отдельный элемент, конструкция, здание (сооружение) – можно представить схемой, приведенной на рис. 1. Через определенные периоды эксплуатации $T_1, T_2, T_i...$ и т. д. измеряют величины параметров возникших повреждений и развития дефектов (коррозии, перемещений, стрелки искривления и т. п.) $Y_1, Y_2, Y_i...$ и т. д. и экстраполируют зависимость до предельно допустимой величины Y_n . Такой метод позволяет получить достаточно точные оценки остаточного ресурса, если известен вид зависимости, $Y(t)$ и при измерениях значений Y определяются действительно максимальные значения ДиП, т. е. осуществляется сплошной контроль всех элементов конструкции.

Вид зависимости $Y(t)$ установлен для некоторых ДиП. Так, например, для некоторых видов коррозии зависимость износа от времени линейная: $Y(t) = Y_0 + C \cdot t$, где Y_0 и C – постоянные величины для заданных условий. Для большинства ДиП определение $Y(t)$ является отдельной задачей.

Схема рис. 1 описывает ресурс невосстанавливаемой системы при постоянном развитии $Y(t)$. В данном случае $Y(t)$ является зависимостью изменения ПТС: либо доминирующего процесса деградации одного основного повреждения или дефекта, либо обобщающей функцией, установленной при анализе нескольких ДиП, приводящих к отказу всей системы. Данная схема отражает пассивное прогнозирование остаточного ресурса без учета изменения (улучшения) системы при регистрации параметров ДиП, являющихся причиной отказа.

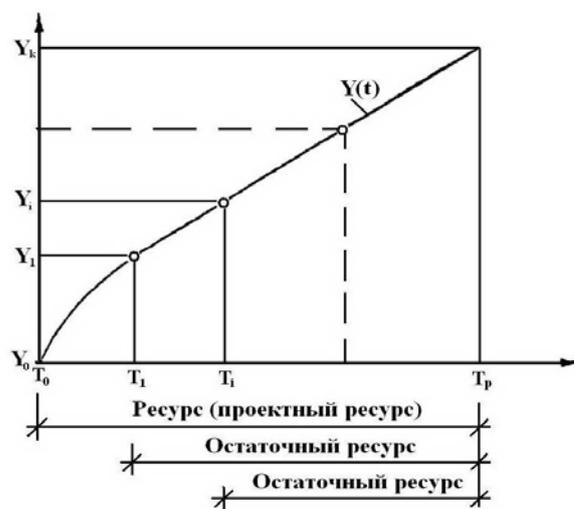


Рис. 1. Схема прогнозирования остаточного ресурса:

T_0 – начало эксплуатации системы; T_1 – время первого осмотра системы; T_i – время i -го осмотра системы; T_p – ресурс (проектный, расчетный); Y_0 – ПТС в момент начала эксплуатации системы; Y_1 – первичное измеренное значение ПТС; Y_i – i -тое измеренное значение ПТС; Y_k – предельное значение ПТС; $Y(t)$ – зависимость изменения ПТС отказа во времени

Каждая система состоит из отдельных подсистем: элементов и узлов в конструкции, отдельных конструкций, составляющих каркас здания. В соответствии с действующими правилами технической эксплуатации (ПТЭ) промышленных предприятий [9, 10] все эксплуатирующиеся конструкции зданий (сооружений) должны регулярно проходить

технический осмотр (освидетельствование, обследование). Осмотры осуществляются через интервалы Δt – назначенный ресурс (плановый период осмотров).

В результате осмотра конструкций выявляются ДиП и фиксируются их ПТС. Регистрация ДиП должна осуществляться в виде, позволяющем производить не только их накопление, но и предоставлять возможность анализа для построения $Y(t)$. Для реализации такого требования целесообразно использовать регистрационные методы, основанные на электронных базах данных [11].

При достижении ПТС отдельных ДиП установленных граничных значений осуществляется ремонт (усиление) элементов конструкции и ПТС возвращаются либо в проектное (начальное) значение, либо близкое к нему. Таким образом, стальные конструкции являются сложными восстанавливаемыми системами. Остаточный ресурс таких систем можно представить графиками, изображенными на рис. 2.

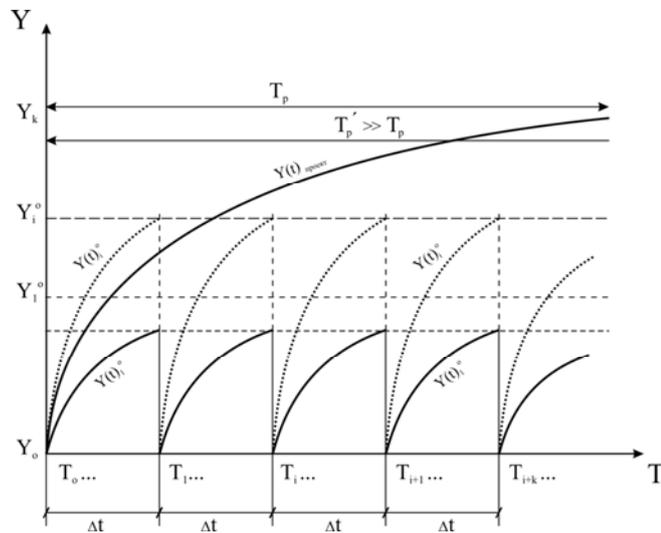


Рис.2. Остаточный ресурс восстанавливаемых стальных конструкций:

T_i – время i -го осмотра конструкции; T_p' – остаточный ресурс; Y_0 – ПТС в момент начала эксплуатации конструкции; Y_1^0 – предельное значение ПТС 1-го ДиП; Y_i^0 – предельное значение ПТС i -го ДиП; $Y(t_1)^0$ – зависимость изменения ПТС 1-го отказа; $Y(t_i)^0$ – зависимость изменения ПТС i -го отказа; Δt – назначенный ресурс (плановый период осмотров)

В зависимости от сроков эксплуатации конструкции, значений ее ПТС, требуемой достоверности прогноза и возможностей получения информации, применяют два подхода к прогнозированию остаточного ресурса: упрощенный, основанный на детерминистических оценках показателей, и уточненный, основанный на вероятностных оценках.

При первом – отклонения контролируемых параметров относят к погрешностям методов контроля, случайным помехам и при прогнозировании остаточного ресурса в расчетах учитывают с помощью коэффициентов запаса. При втором подходе колебания наблюдаемых параметров используют в качестве дополнительной информации, что позволяет повысить достоверность прогнозирования.

В обоих случаях основными проблемами является определение зависимостей $Y(t)$ или $Y(f_i)^0$, назначение планового периода осмотров Δt и назначение времени осмотров $T_0 \dots T_i$.

Реальная практика позволяет выделить два основных способа назначения T_i для новых объектов: по истечении гарантийного срока, определенного в архитектурно-техническом паспорте и до его ввода в эксплуатацию.

Что касается гарантийного срока, то здесь вся ответственность за нормальную эксплуатацию здания в первые годы его эксплуатации ложится на проектную и строительные организации. Как правило, зафиксированные в приемочных актах дефекты отражают только их качественную сторону и относятся к явно видимым. В основном, такие дефекты касаются отделочных работ, элементов наружного дизайна.

В связи с отсутствием времени при вводе объекта в эксплуатацию заниматься количественным анализом, перерасчетом систем (особенно при заменах марок стали, изменении первоначальных проектных решений и расчетных схем, дефектов конструкций, полученных во время транспортирования, монтажа, пусконаладочных работах) никто не будет. Проектировщики и строители в одинаковой степени не заинтересованы в выполнении таких работ: первым, возможно, придется признавать и исправлять свои ошибки, а вторым – в «авральном режиме» устранять выявленные дефекты как проекта, так и строительно-монтажных работ. Очевидно, что именно по этой причине, которую называют «приработкой», в первые годы и происходит значительное количество аварий. Наиболее эффективным способом решения может стать привлечение специализированной организации для выполнения работ по обследованию и определения причин возникновения дефектов или неудовлетворительного поведения объекта.

Сейчас возникла еще одна проблема, которая может увеличить число аварий на ранних стадиях эксплуатации. Новые фасадные системы и системы внутренней отделки (вентилируемые фасады «КНАУФ»), системы утепления и др.) полностью закрывают несущие конструкции, не позволяя проводить осмотр и выполнять оценку их технического состояния. Опыт обследования промышленных и гражданских зданий показывает, что провести обследование несущих конструкций в полном объеме после установки систем отделки невозможно. Вместе с тем, при проведении обследований ряда объектов, на отдельных участках конструкций, открытых для осмотра, были зафиксированы изменения типов и размеров поперечных сечений колонн и балок перекрытия, изменения марок сталей, неудовлетворительное состояние закладных деталей и узлов сопряжения, превышение значений перемещений по сравнению с нормативными.

Отдельно можно остановиться на зданиях и сооружениях с повышенным уровнем ответственности (особенно работающих при динамических нагрузках) и объектах, вводимых в эксплуатацию после реконструкции при изменении технологического режима. К таким объектам относятся здания и сооружения предприятий горно-металлургического комплекса, коксохимического производства.

Проведение обследований ряда новых зданий и сооружений на этапе пусконаладочных работ выявило весьма серьезные проблемы, которые должны были быть устранены до окончательного ввода объектов в эксплуатацию. Так, для транспортерных галерей был определен резонанс при работе конвейеров в определенных технологических режимах. Причем резонанс возникал не по причине разбалансировки работы оборудования, а был вызван неправильным выбором конструктивных схем, которые, в свою очередь, принимались без анализа результатов необходимых динамических расчетов на стадии проектирования галерей. При этом проектировщики отрицали свои просчеты. Установить причины ненормального поведения системы смогла только независимая организация после проведения обследования и динамических испытаний сооружений.

Что касается объектов, которые вводятся в эксплуатацию после проведения работ по реконструкции, то здесь сложилась следующая ситуация. По «Правилам...» [12] и по требованиям ДБН А.2.2-3-2004 для выполнения проектных работ необходимо провести предварительное обследование здания с оценкой его технического состояния. Такие работы, как правило, выполняются, но с одной немаловажной особенностью: производится оценка технического состояния существующего здания, без перерасчета его основных конструкций на новые нагрузки и воздействия, которые могут быть неизвестны полностью на стадии выполнения

обследования. В последующем в проекте реконструкции реальные нагрузки учитываются в перерасчетах при проверках существующих поперечных сечений, но при формировании окончательных результатов из поля зрения могут выпасть деградационные процессы в материале, влияние изменения отдельных конструктивных решений на поведение системы в целом, другие особенности. Все это также указывает на то, что после окончания строительных работ по реконструкции, перед вводом объекта в эксплуатацию, необходимо проведение его дополнительного обследования для сравнения полученных результатов с предыдущими и определения ПТС с учетом обнаруженных повреждений и дефектов.

Как видно, назначение T_1 – времени первого осмотра – является самостоятельной проблемой, требующей отдельного исследования. Традиционно первое обследование осуществляется после того, как здание уже достаточно значительное время, около 10 лет, находится в эксплуатации. Этот срок для новых зданий определяется окончанием гарантийных обязательств, представленных в архитектурно-техническом паспорте; для объектов, эксплуатирующихся значительное время – появлением первых видимых разрушений, необходимостью составления технического паспорта. Вместе с тем, значительное количество аварий, более 30%, происходит именно в эти первые 10 лет [3]. Вполне возможно, что для определенной группы зданий (сооружений) T_1 должно совпадать или быть близким к T_0 .

Выводы. Для прогнозирования остаточного ресурса эксплуатирующихся стальных конструкций необходимо установить зависимости изменений ПТС наиболее вероятных отказов, определить их обобщающую зависимость. На основании анализа зависимостей отказов устанавливаются сроки плановых периодов осмотров конструкций с целью выполнения ремонтных работ и продления остаточного ресурса. Назначение срока до первого обследования должно быть определено в гарантийных обязательствах архитектурно-технического паспорта или назначаться специализированной организацией до ввода объекта в эксплуатацию.

Литература

- [1] ДБН В.1.2-2:2006. Навантаження і впливи. Норми проектування.
- [2] СНиП II-23-81*. Стальные конструкции. Нормы проектирования.
- [3] Стан та залишковий ресурс фонду будівельних металевих конструкцій в Україні / [А. В. Перельмутер, В. М. Гордеев, Е. В. Горохов та ін.]. – К. : УІНСіЗР, 2002. – 92 с.

- [4] Югов А. М. Оценка надежности металлических конструкций на этапах жизненного цикла / А. М. Югов. – Макеевка : ДонГАСА, 2003. – 200 с.
- [5] Филатов Ю. В. Технологическая безопасность и продление ресурса стальных конструкций в коррозионных средах: дисс. канд. техн. наук / Ю. В. Филатов. – К., 2008. – 191 с.
- [6] ДСТУ 2860-94. Надійність техніки. Терміни та визначення.
- [7] РД 09-102-95. Методические указания по определению остаточного ресурса потенциально опасных объектов, поднадзорных Госгортехнадзору России : утв. Постановлением Госгортехнадзора России от 17.11.95 № 5.
- [8] ДБН 362-92. Оцінка технічного стану сталевих конструкцій виробничих будівель і споруд, що знаходяться в експлуатації.
- [9] Правила технической эксплуатации коксохимических предприятий : Утв. приказом Минпромполитики Украины 05.07.2002 № 305/ Гипрококс, УХИН, Укркокс. – Харьков, 2001. – 309 с.
- [10] Правила технической эксплуатации производственных зданий и сооружений предприятий горно-металлургического комплекса Украины : утв. приказом Минпромполитики Украины 12.11.2003. – 91 с.
- [11] Шимановский А. В. Методологические основы создания информационных систем учета действительного состояния эксплуатирующихся строительных конструкций / А. В. Шимановский, С.В. Колесниченко // Зб. наук. пр. Укр. наук.-дослід. і проект. інст.-ту сталев. констр. ім. В. М. Шимановського / відп. ред. О.В. Шимановський. – К. : Сталь, 2008. – Вип. 1. – С. 68–74.
- [12] Правила обстежень, оцінки технічного стану та паспортизації виробничих будівель та споруд. / Державний комітет будівництва, архітектури та житлової політики України, Держнаглядохоронпраці України. – К., 1997.