

УДК 624.076.2

Предупреждение аварийных ситуаций в условиях исчерпания ресурса металлических конструкций

¹Шимановский А.В., д.т.н., ²Колесниченко С.В., к.т.н.

¹ОАО «УкрНИИпроектстальконструкция им. В.Н. Шимановского», Украина

²Донбасский центр технологической безопасности

ОАО «УкрНИИпроектстальконструкция им. В.Н. Шимановского», Украина

Анотація. Попередження аварійних ситуацій запропоновано виконувати в рамках програми забезпечення надійності та системи управління безпекою. На основі ризику-аналізу здійснюється призначення залишкового ресурсу експлуатації об'єктів із урахуванням комплексної оцінки параметрів технічного стану реальних та гіпотетичних дефектів та пошкоджень конструкцій.

Аннотация. Предотвращение аварийных ситуаций предлагается осуществлять в рамках программы обеспечения надежности и системы управления безопасностью. На основе риск-анализа осуществляется назначение остаточного ресурса эксплуатации объектов с учетом комплексной оценки параметров технического состояния реальных и гипотетических дефектов и поврежденных конструкций.

Abstract. Prevention of failure situation is being suggested in the frame of dependability maintenance program and management safety system. On the basis of risk-analysis residual life prediction should be done taking in the consideration a complex assessment of technical state parameters for structures' real and hypothetic defects and damages.

Ключові слова: ризик-аналіз, надійність, безпека, ресурс.

Описание проблемы. Важное значение проблема безопасной эксплуатации конструкций зданий и сооружений приобретает не только в связи с исчерпанием проектного ресурса конструкций, но и возможным технологическим перевооружением, необходимостью использования современных сырьевых материалов и энергетических источников.

В Украине имеется значительный фонд производственных зданий и сооружений, стоимость которого доходит до 60 % основных фондов народного хозяйства Украины. Сохранение и поддержание этого фонда в рабочем состоянии, возможном для использования в течение всего проектного, а часто и назначенного за проектного срока эксплуатации, являются важной экономической задачей.

Определение влияния процессов старения, износа и других деградиционных процессов с учетом вероятности аварийного разрушения стальных конструкций является одной из главных межотраслевых проблем безопасности. По ряду объективных и субъективных причин в последнее время количество аварий приобрело лавинообразный характер. С 1991 года и до

сегодняшнего дня на предприятиях горнодобывающей, металлургической, машиностроительной отраслей и в строительстве произошли тысячи аварий, большое количество которых сопровождалось человеческими жертвами. Значительная часть аварий обусловлена процессом физического старения конструкций [1, 2, 3].

К сожалению, несмотря на достаточное количество действующих нормативных документов, регламентирующих условия эксплуатации строительных конструкций, надлежащего внимания их содержанию и надзору, а, следовательно, и безаварийной работе, со стороны владельца объекта уделяется мало. Решение проблемы безопасности может быть только на основе процессного подхода, который заключается в создании организационно-технических средств, основанных, прежде всего, на стремлении руководства предприятия системно реализовывать принципы безаварийной эксплуатации. Надежность и безопасность объекта должна быть рассчитана на всех стадиях его жизненного цикла и соответствующих этим стадиям этапам видов работ.

Нерешенные ранее части общей проблемы, которые отражены в исследовании. Предупреждение аварийных ситуаций является комплексной задачей, состоящей из выполнения работ по следующим направлениям:

- решение организационных проблем, связанных с систематизацией работ по обследованию и паспортизации зданий и сооружений;
- разработка программы обеспечения надежности – ПОН, и расчет показателей надежности, оптимизация и нормирование показателей надежности;
- разработка системы управления безопасностью – СУБ, определение показателей и критериев безопасности;
- расчет остаточного ресурса конструкций в условиях их длительной эксплуатации;
- оценка риска дальнейшей безаварийной работы;
- подготовка и переподготовка специалистов, занятых обслуживанием, содержанием и надзором за строительными объектами.

Нерешенной задачей с позиции управления безопасностью является отсутствие сформированных комплексных показателей, определяющих реальное состояние условий безаварийной эксплуатации конструкций при назначенном остаточном ресурсе.

Анализ исследований и публикаций. Начало работ по системному анализу проблемы безопасной эксплуатации зданий и сооружений в условиях истощения их проектного ресурса было положено Постановлением КМУ № 409 [8] и закреплено последующими нормативными документами [4, 9 – 12]. Серьезными исследованиями можно считать работы [2, 13 – 15],

направленные на практическое внедрение результатов безаварийной и надежной работы конструкций с использованием аппарата риск-анализа при построении прогнозных моделей продления остаточного ресурса.

Целью данной работы является определение в общем виде показателей безопасности эксплуатирующихся конструкций в условиях исчерпания их проектного ресурса для обеспечения дальнейшей безаварийной эксплуатации.

Основной задачей функционирования СУБ является обеспечение такой эксплуатации зданий и сооружений, которая позволила бы минимизировать риск возникновения аварии вследствие появления и чрезмерного развития дефектов и повреждений, ошибок персонала для постоянного периодического декларирования безопасности и продления срока эксплуатации конструкций зданий и сооружений [4]. В рамках СУБ осуществляется постоянное решение задач риск-анализа, возможного только при наличии соответствующих регистрационных систем, содержащих полную информацию о текущем состоянии объекта.

Нормирование показателей надежности, входящих в состав ПОН, определяющих безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость конструкции, должно осуществляться на стадии проектирования, однако для конструкций, находящихся в условиях длительной эксплуатации, должно осуществляться в процессе выполнения работ по обследованию при оценке их технического состояния. При реализации ПОН необходимо привлечение необходимых ресурсов предприятия для обслуживания строительных стальных конструкций по фактическому состоянию.

С позиции регулярного надзора за состоянием стальных конструкций сложившаяся схема их эксплуатации представлена блок-схемой (рис. 1).

По результатам обследования конструкций должна быть сформирована база обнаруженных дефектов и повреждений, на её основе получены качественные и количественные показатели дальнейшей эксплуатационной пригодности объекта (параметры технического состояния – ПТС), выполнены необходимые перерасчеты и определена возможность продления ресурса.

Безопасность любого эксплуатирующегося объекта зависит от следующих показателей (источников опасности), которые могут быть отнесены к одной из групп:

- показатели природного воздействия – группа «А»;
- показатели технологии и производства – группа «Т»;
- показатели конструктивные – группа «К»;
- показатели организационно-технические – группа «О»;

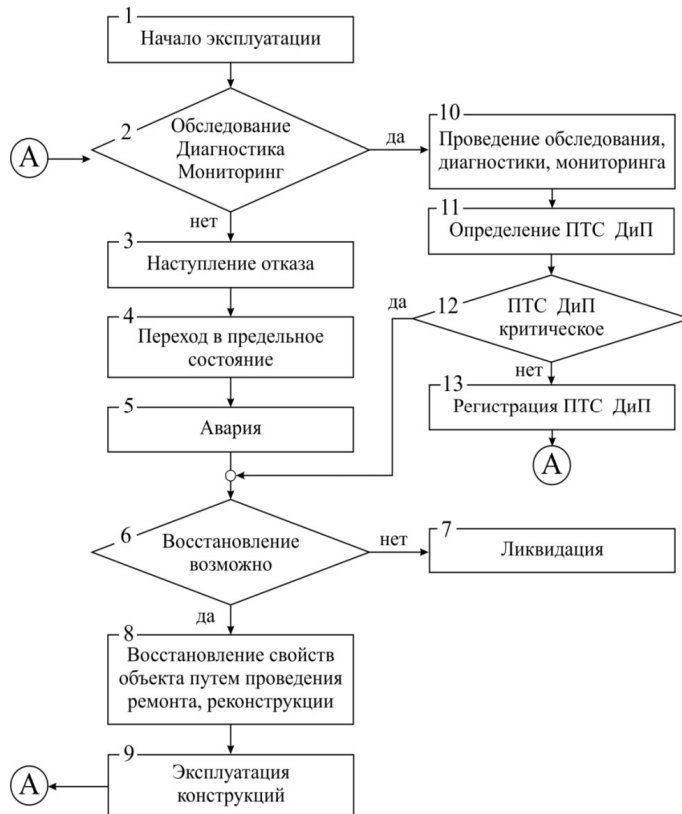


Рис. 1. Схема эксплуатации стальных конструкций производственных зданий и сооружений

Показатели группы «А» и «К» представляют опасность с позиции контролируемого или неконтролируемого высвобождения энергии – Е – кинетической, взрывной, тепловой, световой, электрической, электромагнитной, накопленной в объекте или воздействующей на объект на различных стадиях жизненного цикла.

Показатели группы «Т» представляют опасность с позиции контролируемого или неконтролируемого выброса веществ (энергии) – W– радиационно-, химически- и биологически-, тепло-, электроопасных.

В перечень показателей безопасности эксплуатирующихся конструкций зданий и сооружений от природных причин (группа «А») входят показатели, которые зависят от:

— сейсмических воздействий (очаговые землетрясения, волны землетрясений, волны от взрывов);

- метеорологических воздействий (ураганы, грозы, ветровые воздействия от изменения застройки, изменения микроклимата);
- геомеханических факторов (провалы, осадки, крены и т.п.).

Показатели технологические (группа «Т») определяются:

- учетом влияния технологического процесса на состояние конструкций;
- учетом влияния инженерных систем и коммуникаций на состояние конструкций.

Показатели группы «О» представляют опасность с позиции отсутствия, разрушения необходимых или возникновения опасных (вредных) потоков информации I в управляющих, контролирующих, оповещающих системах объекта.

Для оценки уровня безопасности эксплуатирующихся стальных конструкций особое внимание должно быть уделено показателям групп «К» и «О», так как только для них возможен количественный расчет критериев и предельных значений на основе результатов работ по обследованию и данных надзора и содержания за весь срок службы здания (сооружения).

Организационно-технические показатели (группа «О») безопасности зависят от наличия служб, ответственных за регламентные работы, определенные нормативными документами. Как правило, показатели связаны с регулярным выполнением процедур, направленных на безопасность технологического процесса и поддержание состояния строительных конструкций здания (сооружения) в условиях выполнения требований действующих норм.

Исходя из опыта работ по обследованию, диагностики и мониторинга, можно выделить следующий перечень показателей группы «О», определяющиеся наличием или отсутствием:

1. Архитектурно-технического паспорта. В свою очередь, в данном паспорте должны быть представлены результаты:
 - 1.1. геомеханических изысканий;
 - 1.2. исходной проектно-конструкторской документации на строительные конструкции и инженерные сети (новое строительство и работы по реконструкции);
 - 1.3. сертификатов на использованные материалы (новое строительство и работы по реконструкции);
 - 1.4. актов на скрытые работы (новое строительство и/или работы по реконструкции).
2. Паспорта технического состояния объекта.
3. Правил эксплуатации конструкций или стандарта (технического регламента) технологической безопасности.

4. Службы (лиц), ответственной за надзор, содержание и техническую эксплуатацию.
5. Системы обучения, подготовки и переподготовки персонала.
6. Систем мониторинга и диагностики (в том числе автоматизированных) технического состояния конструкций:
 - 6.1. проведением регулярных осмотров;
 - 6.2. проведением регулярных обследований;
 - 6.3. систем учета (электронных баз данных) технического состояния конструкций и объектов.
7. Систем аварийного пожаротушения или контроля возникновения пожара.
8. Доступа (системы конструкций обслуживания) к узлам и конструкциям.
9. Регулярного выполнения ремонтных работ.

В данный перечень могут быть включены и другие показатели в зависимости от специфики эксплуатации конструкций.

После формирования перечня показателей группы «О» (в отличие от показателей группы «К»), возникает проблема корректной оценки безопасности в связи с тем, что практически для всех показателей невозможно определить критические, предельные и рабочие значения. По каждому из показателей возможно дать ответ «существует» или «отсутствует». Для количественной оценки показателей организационно-технической безопасности (ОТБ) предлагается использовать расчет по индексу безопасности Элмери, который применяется для анализа безопасности труда [5]:

$$ОТБ = \frac{\text{пункты "существует"}}{\text{пункты "существует" + пункты "отсутствует"}} \times 100\%. \quad (1)$$

Перечень показателей конструктивной безопасности (группа «К») определяют:

- дефекты конструкций;
- повреждения конструкций.

При этом, под дефектами и повреждениями понимают все возможные нарушения состояния конструкций при сравнении с действующими нормами: недостатки проекта, изготовления, повреждения при транспортировке, монтаже и эксплуатации. Оценка показателей группы «К» возможно выполнить по ДБН 362-92 с использованием требований СНиП II-23-81* и других норм расчета специальных конструкций (галереи, мосты, мачты, башни и т.п.).

Отдельной проблемой, характерной для стальных конструкций, может стать определение критических размеров дефектов и повреждений (ДиП),

при которых возможно разрушение всей конструкции (глобальное разрушение) или ее локальное разрушение. В качестве исходной информации в качестве детерминированных показателей можно использовать параметры критических значений ДиП, приведенные в ДБН 362-92. В процессе обследования конструкций зданий и сооружений основной задачей является выявление ДиП с разработкой мероприятий по их устранению. Несмотря на использование неразрушающих методов контроля, всегда существует вероятность необнаружения скрытых ДиП, к которым относятся коррозионные дефекты, трещины, непровары в сварных швах и основном металле подкрановых балок и листовых конструкциях резервуаров, бункеров, силосов, трубопроводов, большепролетных покрытий. Количество этих ДиП, их распределение по толщине металла и местонахождение неизвестны. При реализации СУБ в рамках риск-анализа прогнозирование существования невыявленных дефектов определяется по информации об обнаруженных ДиП.

Алгоритмизация и разработка дискретных показателей безопасности позволила создать электронные регистрационные системы сбора и обработки информации – базы данных (БД), разработать стандарты предприятия. Внедрение БД позволяет осуществлять постоянный контроль развития обнаруженных повреждений, выполнять количественный расчет остаточного ресурса конструкций при наличии допускаемых повреждений [6].

Конечной задачей обеспечения безаварийной эксплуатации конструкций является назначение их остаточного ресурса. При этом рассматривается несколько групп типовых ситуаций, характеризующихся взаимосвязью и наличием информации между прямыми и косвенными параметрами системы, результатами периодических измерений параметров, а также результатами натурального эксперимента. В зависимости от этого возможно использование соответствующих видов распределений при прогнозировании интервальной или точечной оценки ресурса. С учетом стоимости работ по техническому обслуживанию и ремонтам определяются коэффициенты готовности и пригодности конструкции к эксплуатации. В зависимости от информации об объекте, остаточный ресурс которого прогнозируется, рассматриваются три группы типовых ситуаций.

Первая группа типовых ситуаций характеризуется наличием следующей информации:

- известны вид функции F , определяющий связь между прямыми и косвенными параметрами системы, все коэффициенты и дисперсии этих коэффициентов;
- имеются результаты периодических измерений каждого косвенного параметра.

Вторая группа типовых ситуаций характеризуется следующей информацией:

- вид функции F известен, коэффициенты неизвестны;
- имеются результаты периодических измерений косвенных параметров, а также результаты эксперимента, в процессе которого производится одновременное измерение прямых и косвенных ПТС.

Третья группа типовых ситуаций характеризуется следующей информацией:

- функция F монотонна и непрерывна (общий вид неизвестен);
- имеются результаты эксперимента.

Используется DM-распределение, прогнозируется интервальная или точечная оценка ресурса [7].

Для эксплуатирующихся стальных конструкций показателями надежности, рассчитываемыми в рамках ПОН, являются показатели долговечности (ресурс) и комплексный показатель – коэффициент готовности

$$K_G(t) = \frac{T_0(t)}{[T_0(t) + T_B(t)]}, \quad (2)$$

где $T_0(t)$ – средняя наработка объекта между отказами; $T_B(t)$ – среднее время восстановления.

Пригодность конструкции к содержанию может быть определена как

$$S = \frac{K_G}{C_{\text{ТОиР}} / T_{\text{КЛ}}}, \quad (3)$$

где $C_{\text{ТОиР}}$ – стоимость работ по техническому обслуживанию и ремонтам; $T_{\text{КЛ}}$ – расчетное календарное время эксплуатации.

Оценку риска дальнейшей безопасной эксплуатации стальных конструкций при назначенном остаточном ресурсе предлагается выполнять как ряд логических шагов, позволяющих обеспечить систематическое рассмотрение факторов опасности. Основными факторами опасности предлагается считать вероятность разрушения конструкции при наличии как выявленных повреждений (реальный риск), так и невыявленных повреждений, развивающихся спонтанно и хаотически, не в соответствии с расчетными прогнозными моделями (гипотетический риск).

Основой для оценки рисков R является функционал F , связывающий вероятность P возникновения неблагоприятного события и математическое ожидание ущерба U от этого неблагоприятного события:

$$R = F_R \{U, P\} = \sum_i [F_{R_i}(U_i, P_i)] = \int C(U)P(U)dU = \int C(P)U(P)dP, \quad (4)$$

где i – виды неблагоприятных событий; C – весовые функции, учитывающие взаимовлияние рисков.

В общем случае, для качественного и количественного анализа рисков по выражению (4) на базе исследований сложных динамических нелинейных опасных процессов (возникновения повреждений, отказов, разрушений и аварий) осуществляется построение физических и математических моделей анализируемых объектов, создающих угрозы как по отдельным видам безопасности (локальные риски), так и комплексной безопасности по соответствующим сочетаниям и видам безопасности (глобальный риск).

В этих моделях и сценариях возникновения и развития неблагоприятных событий используются как заданные, так и расчетные и постулированные опасные процессы, развивающиеся во времени t . При таком подходе используются временные шкалы рисков $R(t)$.

Условие безопасности может быть записано в виде:

$$\{R, R_{F,t}\} \leq \{[R], [R_{F,t}]\}, \quad (5)$$

где $R_{F,t}$ – значения рисков для заданной точки F и времени t .

Вероятность того, что через T лет обнаруженный дефект приобретет критические значение с возможным разрушением конструкции имеет вид:

$$I_{\text{кр,в}}(T, z) = \int_{d_{\text{кр}}}^{\infty} \varphi(T, z) dz. \quad (6)$$

Для гипотетических ДиП удельная вероятность разрушения конструкции рассчитывается как:

$$I_{\text{кр,н}}(T, z) = \frac{1 - \left(1 - I_{\text{кр}1}(T_1 t_{\text{кр}1})\right) k_1(t_1) \dots \left(1 - I_{\text{кр}l}(T_l t_{\text{кр}l})\right) k_l(t_l)}{z}, \quad (7)$$

где k – поправочный весовой коэффициент отдельного ДиП; z – критические размеры ДиП; t – толщина металла; $1 \dots l$ – общее количество гипотетических ДиП.

Основываясь на (4), риск разрушения всей конструкции определяется как:

$$F_R(T, z) = U(Z) \left(\sum_1^n I_{кр,в}(T, z) + I_{кр,н}(T, z) \right). \quad (8)$$

В случае, если возможны локальные разрушения конструкций, риск их возникновения определяется как:

$$F_R^{LOC}(T, z) = U(Z_{LOC}) \left(I_{кр,в}(T+1, t_{кр}) - I_{кр,н}(T, t_{кр}) \right), \quad (9)$$

где n – общее количество критических обнаруженных ДиП; $U(Z)$ – ущерб от разрушения, рассчитанный по экономическим критериям.

В зависимости от возможных экономических потерь от реальных и гипотетических рисков разработана методика регистрационной оценки риска, по 10-балльной шкале классифицированы группы ответственности зданий по технологической безопасности.

Система управления рисками осуществляется через механизм риск – менеджмента, основанного на переоценке риска после выполнения ремонтных работ и регулярных работ по обследованию для уточнения реальных нагрузок, соответствия расчетных схем, характеристик материала, напряженно-деформированного состояния, коррозионных потерь, усталостных разрушений.

Выводы

Проблема безопасной эксплуатации строительных стальных конструкций зданий и сооружений может быть решена только проведением комплексных мероприятий. Предотвращение аварийных ситуаций основывается на программе обеспечения надежности и системы управления безопасностью. Назначение остаточного ресурса эксплуатации объектов осуществляется на основе риск-анализа и возможно только при комплексной оценке параметров технического состояния с учетом реальных и гипотетических дефектов и повреждений конструкций.

Литература

- [1] Шимановський О.В. Аналіз технічного стану та проблем експлуатації будівельних металевих конструкцій в Україні./ О.В. Шимановський, В.М. Гордєєв, М.О. Микитаренко та ін.// Будівельні конструкції. – 2001 р. – № 3, С. 18 – 24.
- [2] Шимановский А.В. Техническая диагностика и предупреждение аварийных ситуаций конструкций зданий и сооружений./ Шимановский А.В., Гордеев В.Н., Королев В.П., Оглобля А.И., Рухович И.Р., Филатов Ю.В. – К.: Изд-во «Сталь», 2008 – 463 с.
- [3] Шимановский О.В. Концептуальні основи системи технічного регулювання надійності й безпечності будівельних конструкцій / О.В. Шимановський,

- В.П. Корольов // Промислове будівництво та інженерні споруди. – 2008. – № 1. – С. 3 – 9.
- [4] Методика определения рисков и их приемлемых уровней для декларирования безопасности объектов повышенной опасности. Министерство труда и социальной политики. Приказ № 637 от 04.12.2002.
- [5] Федорец А.Г. Методические основы количественного оценивания производственных рисков. Энергобезопасность в документах и фактах, № 2, 2008.
- [6] Шимановский А.В. Методологические основы создания информационных систем учета действительного состояния эксплуатирующихся строительных конструкций / Шимановский А.В., Колесниченко С.В. Збір. наук. пр. УкрНДІпроектстальконструкція ім. В.М. Шимановського. / Відп. ред. О.В. Шимановський. – К. Вид-во «Сталь», 2008, вип. 1 – С. 68 – 74.
- [7] ДСТУ 2862-94 Надежность техники. Методы расчета показателей надежности. Общие требования.
- [8] Постанова КМУ № 409 від 5 травня 1997 р. «Щодо забезпечення надійної та безпечної експлуатації будівель, споруд та інженерних мереж».
- [9] Постанова КМУ № 1313 від 22 серпня 2000 р. «Про затвердження програми запобігання та реагування на надзвичайні ситуації техногенного і природного характеру на 2000-2005 роки».
- [10] Розпорядження КМУ № 351-р від 11 червня 2003 р. «Про схвалення Концепції Державної програми забезпечення технологічної безпеки в основних галузях економіки».
- [11] Постанова КМУ № 1331 від 8 жовтня 2004 р. «Про затвердження Державної науково-технічної програми "Ресурс"».
- [12] Положення про моніторинг потенційно небезпечних об'єктів. Наказ МНС України від 06.11.2003. № 425.
- [13] Булгаков С.Н. Снижение рисков в строительстве при чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера. / Булгаков С.Н., Тамразян А.Г., Рахман И.А., Степанов А.Ю. / М.: МАКС пресс, 2004. – 304 с.
- [14] Ориняк І.В. Методики проведення ризик-аналізу магістральних трубопроводів з метою декларування їх безпеки та подовження терміну експлуатації. / Ориняк І.В., Бородій М.В., Батура А.С., Агеєв С.М. // Зб. наук. ст. «Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин». Цільова комплексна програма НАН України. Наук. керівник Б.Є. Патон. С. 22 – 28.
- [15] Сборщиков С.Б. Техничко-економические основы эксплуатации, реконструкции и реновации зданий. / С.Б. Сборщиков. Ю.Н. Доможилов, П.В. Монастырев, Н.С. Никитина, Вейкко Кауппила, Юха-Антти Кайвонен, Теуро Аро. Учебное пособие. – Москва: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2007. – 192 с.

Надійшла до редколегії 16.06.2010 р.