

УДК 624.04

к.т.н. Псюк В.В.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР),  
д.т.н. Голоднов А.И.  
(ОАО "УкрНИИпроектстальконструкция им. В. Н. Шимановского",  
г. Киев, Украина),  
асп. Никишина И. А., асп. Псюк М.Ю.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)

## ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И РАСЧЕТ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

*В статье приведена комплексная методика определения технического состояния и расчёта остаточного ресурса строительных конструкций. Предложенная методика позволяет выполнять расчет остаточного ресурса стальных конструкций с учетом наличия остаточного напряженного состояния и разрабатывать обоснованные рекомендации по усилению, замене или защите конструкций.*

**Ключевые слова:** *остаточное напряженное состояние, техническое состояние, остаточный ресурс, несущая способность, предельное состояние, контролируемые параметры.*

Постановка проблемы. Для строительных конструкций устанавливается единственная классификация (номенклатура) возможных технических состояний [1]. Количество видов технических состояний конструкций и элементов принято четыре: нормальное, удовлетворительное, непригодное для эксплуатации, аварийное. Каждому техническому состоянию присущие определённые характеристики дефектов и повреждений, влияющих на несущую способность или долговечность отдельных элементов и конструкций в целом.

Конструкции и элементы с самого начала своей эксплуатации на протяжении всего жизненного цикла в результате старения и деградации могут последовательно находиться в каждом из четырёх технических состояний. Установление вида технического состояния, в котором находится конструкция или элемент, остаётся главной задачей комплекса работ по обследованию и оценке технического состояния.

Элементы конструкции или сооружения могут оказаться в разных состояниях. В этом случае состояние всей конструкции или сооружения в целом принимается по худшему состоянию [1].

В соответствии с требованиями проектной и нормативной документации устанавливаются критерии (количественные и качественные показатели) оценки технического состояния конструкций и элементов. Эти критерии для каждой обследуемой конструкции устанавливаются специализированной организацией на основе проведенного анализа имеющейся технической и действующей нормативной документации.

Достоверность полученных результатов должна быть обеспечена применением нормируемых методов проведения исследований и определения контролируемых параметров, соответствующих приборов, оборудования и средств измерительной техники, занесённых в Государственный реестр и прошедших проверку в организациях, аккредитованных на выполнение данных видов работ.

При нормальных условиях эксплуатации на конструкции действуют силовые, деформационные и высокотемпературные влияния. Невзирая на то, что пожар является особым видом нагрузки, его возникновение возможно в любой промежуток времени эксплуатации конструкции.

В качестве критериев отказов и повреждений рассматриваются предельные величины параметров технического состояния (наличие или отсутствие трещин, ширина раскрытия трещин, прогибы, перемещение и тому подобное), которые обычно устанавливаются проектной или нормативной документацией.

На основе установленных признаков, с использованием прогнозируемого изменения их во времени, устанавливаются критерии исчерпания несущей способности конструкций с указанием последствий такого вида отказа, а также разрабатываются рекомендации относительно предотвращения исчерпания несущей способности конструкций.

Визуальное обследование технического состояния выполняется путём проведения технического осмотра конструкций. Технический осмотр, в сочетании с информацией, полученной от эксплуатирующей организации, позволяет установить:

- фактические схемы расположения элементов и соответствие их проекту;
- фактические нагрузки и влияния (включая особенные);
- дефекты и повреждения конструкций.

Визуальным методом выявляются видимые дефекты строительных конструкций, а также определяются очевидные и предсказуемые причины их возникновения. Окончательно причины появления дефектов уточняются после изучения технической документации, а также в ходе инструментального обследования.

Визуальное обследование включает оценку технического состояния конструкций по внешним признакам и отбор конструкций для инструментального обследования.

При визуальном обследовании выполняются следующие виды работ:

- обзор конструкций с целью проверки соответствия фактической и проектной конструктивных схем;
- определение состояния сварных швов, болтовых и заклёпочных соединений, узлов соединения элементов и конструкций;

- выявление некачественного выполнения работ при строительстве и ремонтах, которые приводят к снижению несущей способности конструкций;

- оценку фактических условий эксплуатации конструкций, выявления нарушений условий нормальной эксплуатации (действий технологических и атмосферных вод на конструкции, температурных влияний, превышающих проектные);

- определение участков с повреждениями и дефектами;

- осмотр внешней поверхности конструкций на наличие трещин, участков разрушений поверхностных слоёв, сварных швов, обнажения и коррозии арматурных стержней и закладных деталей (для железобетонных конструкций);

- осмотр внешней поверхности стен, перекрытий, фундаментов на наличие трещин, механических повреждений, отслоений облицовки от бетона и кладки;

- выбор конструкций, имеющих дефекты, и мест для дальнейшего отбора образцов кладки, стального проката, арматуры и бетона для инструментальных исследований (не менее трёх образцов на одну конструкцию).

Результаты визуального обследования обычно оформляются в виде актов обследования и ведомостей дефектов с описанием видов дефектов конструкций и мест их расположения. Расположения дефектов фиксируют на схемах и фотографиях.

При отсутствии или незначительных дефектах конструкций, параметры которых не превышают нормативных, на основе результатов анализа технической документации и визуального обследования может быть сделана окончательная оценка технического состояния конструкций. Оценка технического состояния строительных конструкций оформляется в виде «Отчёт о техническом состоянии строительных конструкций» соответствующего здания [2].

При наличии дефектов, после анализа технической документации и визуального

обследования, выполняется предварительная оценка технического состояния строительных конструкций, которая предоставляется в виде раздела «Выводы о техническом состоянии строительных конструкций». После этого разрабатывается программа инструментального обследования.

Инструментальное обследование проводится с целью сбора информации для детальной оценки технического состояния конструкций [2]. Специализированные организации имеют право выбора приборов и оборудования для проведения инструментального обследования в соответствии с требованиями действующих нормативных документов.

Основной задачей при проведении инструментальных обследований остаётся определение физико-механических характеристик материалов. Как правило, определение физико-механических характеристик материалов проводится избирательно на нескольких однотипных конструкциях, а также в дефектных зонах конструкций в местах, установленных в результате анализа данных визуального обследования.

Контролируемые параметры технического состояния арматуры и стальных элементов конструкций в эксплуатируемых конструкциях, определяются с помощью различных разрушающих и неразрушающих методов исследования строительных конструкций.

По результатам анализа технической документации, визуального и инструментального обследования выполняется предварительная оценка технического состояния конструкций, зданий и сооружений в целом и делается вывод о необходимости проведения математического моделирования напряженно-деформированного состояния (НДС) или упрощённых расчётов конструкций.

Прогноз изменения технического состояния при дальнейшей эксплуатации выполняется на основе анализа деградационных процессов и выявления соответствия фактических параметров технического

состояния требованиям проектной и нормативной документации.

Техническое состояние конструкций при отсутствии дефектов может считаться нормальным или удовлетворительным, если не выполняются [2-6]:

- условие отказа конструкций (условие достижения конструкцией предельных состояний первой группы)

$$F > F_u, \quad (1)$$

где  $F$ ,  $F_u$  – величины соответственно наиболее возможного за время эксплуатации усилия в элементе от расчётных нагрузок и наименьшей несущей способности;

- условие достижения конструкцией предельных состояний второй группы

$$f > f_u, \quad (2)$$

где  $f$ ,  $f_u$  – характерное перемещение конструкции (прогиб, угол поворота, крен и т. п.), которое определено соответственно в результате расчёта или обследования и предельное, установленное нормами.

В качестве параметров предельных состояний второй группы, достижение которых рассматривается как отказ-препятствие, рассматриваются чрезмерное или длительное раскрытие трещин в железобетонных конструкциях, а также достижение предельных величин прогибов.

Предельные состояния этой группы вызывают временное прекращение или частичное нарушение условий нормальной эксплуатации, но вместе с тем чёткая граница перехода в предельное состояние отсутствует.

Функции определения несущей способности принимаются по СНиП 2.03.01-84\* или по СНиП II-23-81\*. Допускается применять прямые ограничения следующего типа на изменение конструктивных, прочностных или других определяющих параметров

$$\delta_{\min} \leq \delta, \quad (3)$$

$$R_{\min} \leq R, \quad (4)$$

где  $\delta_{\min}$  – минимально допустимая величина параметра сечения железобетонного элемента (высота, ширина, площадь арматуры и т. п.);

$\delta$  – действительная величина параметра сечения;

$R_{\min}$  – минимально допустимое расчётное сопротивление материала (бетона, арматуры);

$R$  – действительное расчётное сопротивление материала.

Оценка технического состояния проводится сопоставлением контролируемых параметров, определённых в ходе выполнения обследований, с соответствующими проектными параметрами или определёнными в результате расчётов. Конструкции могут перейти в предельное состояние, при достижении предельных величин таких параметров как геометрические размеры (уменьшение в результате коррозионного износа арматуры и бетона); прочность бетона; принятое армирование не соответствует проекту; наличие разрушений или повреждений узлов соединений, закладных деталей и элементов креплений.

Минимально допустимые величины контролируемых параметров в формулах (3) и (4) устанавливают по результатам расчётов строительных конструкций известными методами строительной механики и сопротивления материалов для определения несущей способности и сравнения ее с максимальным действующим усилием [2, 7]

$$F_{cr}[x_1(t), x_2(t), \dots, x_m(t)] > F, \quad (5)$$

где  $F_{cr}[x_1(t), x_2(t), \dots, x_m(t)]$  – функция несущей способности;

$F$  – определяется по результатам упрощённых расчётов или математического моделирования НДС конструкций и здания в целом.

В качестве параметров  $x_1(t)$ ,  $x_2(t)$ , ...,  $x_m(t)$ , принимаются размеры поперечного сечения, прочность материалов, в т.ч. и как функции времени, деформации грунтового основания и т.д. Определение вели-

чины действующего усилия  $F$  для статически определённых конструкций не представляет сложностей с точки зрения строительной механики. Для статически неопределённых конструкций величина  $F$  определяется по результатам математического моделирования НДС, установленно-го по результатам обследования.

Переход неравенства (5) в уравнение свидетельствует об исчерпании несущей способности (ресурса) конструкции. Дальнейшая эксплуатация возможна после проведения работ по усилению, замене или ремонту элементов конструкций.

Расчёт остаточного ресурса выполняется в такой последовательности.

1. Выполняется обследование конструкций, устанавливаются контролируемые параметры: размеры поперечного сечения, характеристики прочности материалов, уточняются величина и характер нагрузок и воздействий.

2. Определяется несущая способность конструкции по данным проведённых обследований  $F_{cr}[x_1(t), x_2(t), \dots, x_m(t)]$ . По результатам расчёта устанавливаются максимальные усилия  $F$ . Выполняется сравнение

$$F_{cr} \geq F. \quad (6)$$

Если неравенство выполняется, несущая способность не исчерпана.

3. Определяют остаточный ресурс  $t_R$  с использованием допущения относительно линейной зависимости изменения контролируемых параметров от времени

$$t_R = \Delta t \cdot \frac{F_{cr} - F}{F_{pr} - F_{cr}}, \quad (7)$$

$$\Delta t = t_1 - t_0, \quad (8)$$

где  $t_0$  – дата начала эксплуатации конструкции (после изготовления, усиления или замены) или предыдущего обследования, год;

$t_1$  – дата выполнения обследования и установления изменений контролируемых параметров, год;

$F_{pr}$  – несущая способность элемента, которая определена по данным проекта.

Определение остаточного ресурса целесообразно выполнять по возможности на большей базе (8). Более точное решение относительно величины ресурса может быть получено при условии наличия результатов регулярных наблюдений и определения контролируемых параметров и технического состояния.

Если неравенство (6) не выполняется, элемент находится в состоянии, не пригодном для эксплуатации, или аварийном.

При наличии неравномерных осадок оснований, а также при высокотемпературных влияниях целесообразно выполнение математического моделирования по результатам проведённого обследования НДС конструкций и здания в целом.

Требования к несущей способности, деформативности, долговечности и надёжности стальных элементов и конструкций вызывают необходимость анализа их остаточного напряжённого состояния (ОНС) с учётом технологии изготовления и условий эксплуатации.

В качестве иллюстрации необходимости учёта ОНС при определении технического состояния и остаточного ресурса можно рассмотреть следующий пример. Колонна (сварной двутавр 50Ш1-С) расчётной длины в плоскости меньшей жёсткости 4,2 м была запроектирована под нагрузку  $F = 2000$  кН. В эксплуатации колонна находится с  $t_0 = 1990$  года. Первоначальное сечение: пояса –  $300 \times 16$  мм, стенки –  $450 \times 12$  мм, катет шва  $k_f = 8$  мм,  $i_y = 6,93$  см, площадь поперечного сечения  $A = 150$  см<sup>2</sup>, гибкость  $\lambda_y = 60$ . Расчётное сопротивление стали  $R_y = 240$  МПа. Вели-

чина остаточных напряжений (ОН) сжатия на кромках поясов  $\sigma_{res,com}^{(f)} = 49$  МПа.

За время эксплуатации колонна получила коррозионный износ поясов и стенки. По состоянию на  $t_1 = 2010$  год размеры поясов составили  $300 \times 14$  мм, стенки –  $450 \times 10$  мм,  $i_y = 6,87$  см, площадь поперечного сечения  $A = 129$  см<sup>2</sup>, гибкость  $\lambda_y = 60$ . Результаты расчёта остаточного ресурса с использованием различных методик определения коэффициента продольного изгиба приведены в таблице 1. Таким образом, при такой скорости коррозионного износа остаточный ресурс колонны, с учётом влияния ОНС, составляет 3,3 года. Без учёта влияния ОНС остаточный ресурс составляет 23,9 лет.

По результатам проведённых исследований сделаны следующие выводы.

1. Предложена комплексная методика определения технического состояния и расчёта остаточного ресурса конструкций. Методика не противоречит основным положениям действующих нормативных документов по вопросам обследований и паспортизации и дополняет их в части определения остаточного ресурса и учёта ОНС.

2. Предложенная методика позволяет выполнить расчёт остаточного ресурса стальных конструкций с учётом наличия ОНС. Установлено, что наличие неблагоприятного ОНС может привести к преждевременному отказу конструкций.

3. Предложенная методика позволяет сделать окончательные выводы о техническом состоянии и разработать обоснованные рекомендации относительно усиления, замены или защиты конструкций.

**СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА**

Таблица 1 – Расчёт остаточного ресурса колонны

Определяемые параметры	Определяемые параметры		
	по методике [5]	по методике [6]	по методике [7]
Площадь сечения, $A, \text{см}^2$	150	150	150
Коэффициент продольного изгиба, $\varphi$	0,805	0,73	0,694
Несущая способность по проектным данным, $F_{pr}, \text{кН}$	2900	2630	2500
Площадь сечения после 20 лет эксплуатации, $A, \text{см}^2$	129	129	129
Коэффициент продольного изгиба после 20 лет эксплуатации, $\varphi$	0,805	0,73	0,668
Несущая способность по данным обследования, $F_{cr}, \text{кН}$	2490	2260	2070
Остаточный ресурс, $t, \text{лет}$	23,9	14,1	3,3

**Бібліографічний список**

1. Нормативні документи з питань обстежень, паспортизації, безпечної та надійної експлуатації виробничих будівель і споруд. — К. : Держбуд України, 1999. — 152 с.
2. Голоднов А. И. Определение остаточного ресурса железобетонных конструкций в условиях действующих предприятий / А. И. Голоднов // Буд. Конструкції : Міжвідом. наук.-техн. зб. / НДІБК. — К. : НДІБК, 2005. — Вип. 62. — Т. 2. — С. 138–143.
3. Семиног М. М. Надійність експлуатації залізобетонних конструкцій після силових, деформаційних та високотемпературних впливів / М. М. Семиног, О. І. Голоднов // Буд. Конструкції : Міжвідом. наук.-техн. зб. «Науково-технічні проблеми сучасного залізобетону» НДІБК. — К. : НДІБК, 2011. — Вип. 74. — Книга 2. — С. 56–63.
4. Псюк В. В. Выравнивание сваркой деформированных элементов стальных конструкций / В. В. Псюк, А. И. Голоднов, Б. В. Иванов // Сборник научных трудов Донбасского государственного технического университета. — Алчевск : ДонГТУ, 2012. — Вып. 38. — С. 224–231.
5. СНиП II-23-81\*. Стальные конструкции. — [Действующий с 1990-07-01]. — М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1990. — 96 с.
6. ДБН В.2.3-14:2006. Споруди транспорту. Мости та труби. Правила проектування.— [Действующий с 2006-05-06]. — К. : Мінбуд України, 2006. — 359 с.
7. Голоднов А. И. Регулирование остаточных напряжений в сварных двутавровых колоннах и балках / А. И. Голоднов. — К. : Сталь, 2008. — 150 с.

**Рекомендована к печати д.т.н., проф. Института архитектуры, строительства и ЖКХ ЛГУ им. Даля Андрійчуком Н.Д., к.т.н., доц. ДонГТУ Бондарчуком В. В.**

Статья поступила в редакцию 09.11.15.

**к.т.н. Псюк В.В.** (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР), **д.т.н. Голоднов О.І.** (ВАТ "УкрНДІпроектстальконструкція ім. В.М. Шимановського", м. Київ, Україна), **асп. Нікішина І.О., асп. Псюк М.Ю.** (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)

#### **ОЦІНКА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ТА РОЗРАХУНОК ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ**

У статті наведена комплексна методика визначення технічного стану і розрахунку залишкового ресурсу будівельних конструкцій. Запропонована методика дозволяє виконувати розрахунок залишкового ресурсу сталевих конструкцій з урахуванням наявності залишкового

напруженого стану і розробляти обґрунтовані рекомендації щодо посилення, заміни або захисту конструкцій.

**Ключові слова:** залишковий напружений стан, технічний стан, залишковий ресурс, несуча здатність, граничний стан, контрольовані параметри.

**PhD in Engineering Psjuk V.V.** (DonSTU, Alchevsk, LPR), **Dr. Tech Sci. Golodnov A.I.** (ОАО "УкрНіпроектсталконструкція ім. В.Н. Шимановського", Київ, Україна), **PhD student Niki-shina I.A.**, **PhD student Psjuk M.Y.** (DonSTU, Alchevsk, LPR)

#### **STRUCTURAL ASSESMENT AND RESIDUAL LIFE CALCULATION OF ENGINEERING STRUCTURES**

*Complex methodology of determining the engineering condition and calculation of engineering structures' residual life were given in the article. The proposed methodology allow making residual life calculation of building structures considering the remanent stress condition and developing validated recommendations on steelworks reinforcement, replacement and protection.*

**Key words:** remanent stress condition, engineering condition, residual life, bearing strength, limit state, controlled parameters.