

УДК 624.953:624.046.03

**ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ЭФФЕКТИВНОГО  
УПРАВЛЕНИЯ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ СТАЛЬНЫХ  
РЕЗЕРВУАРОВ, ЗАПРОЕКТИРОВАННЫХ ПО  
ТИПОВЫМ ПРОЕКТАМ**

*Е.А. Егоров, д.т.н., проф., А.А. Кустовский, асс., Ю.В. Федоряка, асс.  
Приднепровская государственная академия строительства и  
архитектуры, г. Днепрпетровск*

**Постановка проблемы.** Типовые проекты строительных конструкций зданий и сооружений являются продуктом советской школы проектирования, которая по праву считалась одной из ведущих в мире. Предназначенные для массового воспроизведения типовые проекты должны были очень скрупулезно учитывать все основные особенности эксплуатации и в то же время строго соответствовать действующим нормативным документам по расчету и проектированию строительных конструкций. Во многих случаях указанные требования оказывались противоречивыми и тогда проектировщики, интуитивно чувствуя слабые места в конструктивных элементах, вводили туда те или иные дополнительные запасы. Все это происходило хаотично и, в итоге, многие важные особенности эксплуатации в целом ряде случаев учитывались явно недостаточно. Сейчас это приводит к тому, что «старение» основных конструктивных элементов многих зданий и сооружений, возведенных по типовым проектам, происходит неравномерно. Техническое состояние таких объектов в целом становится крайне неоднородным и неустойчивым. Это заставляет прибегать к сложным, трудоемким и часто дорогостоящим операциям по технической диагностике и ремонтно-восстановительным работам. В этих условиях очень актуальной становится задача эффективного планирования всех этих мероприятий.

**Содержание исследований.** В данной статье указанные выше проблемы рассматриваются применительно к стальным резервуарам, используемым для хранения нефти и нефтепродуктов. Лаборатория надежности резервуарных конструкций (ЛАНАРК) ПГАСА имеет обширный банк данных по технической документации и результатам натурных обследований более чем 1100 резервуаров, объемом от 100 до 20000 м<sup>3</sup>. Анализ этих данных говорит о том, что интенсивность «старения» таких функционально важных конструктивных элементов как днище, уторная зона, верхние пояса и сварные соединения цилиндрического корпуса, настил и конструкции несущего каркаса кровли является весьма различной и это приводит к тому, что рассматриваемые сооружения на протяжении своего жизненного цикла подвергаются одному, двум и более капитальным ремонтам.

ЛАНАРК, оперируя накопленной статистикой, разработал общий оптимизационный алгоритм определения сроков проведения работ по диагностике (контролю) технического состояния и соответственно сроков и объемов ремонтно-восстановительных работ [1]. Алгоритм построен на основе математической модели следующего вида:

$$C_0^* + \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=1}^k c_{\zeta k} \cdot x_{\zeta k} \cdot \exp[-r^* \cdot (\tau_k - \tau_0)] + \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=1}^m s_{jk} \cdot y_{jk} \cdot \exp[-r^* \cdot (\tau_k - \tau_0)] + \int_{\tau_0}^T \omega^* \cdot [1 - P(\tau)] \cdot \exp(-r^* \cdot \tau) d\tau \rightarrow \min, \quad (1)$$

$$P(\tau)_i \geq P_i^*, \quad \tau \in [\tau_0, T^*]; \quad \sum_{j=1}^k x_{ij} = 1, \quad i = \overline{0, N-1};$$

$$\sum_{j=1}^m y_{ij} \in [0, m], \quad i = \overline{0, N-1};$$

где  $C_0^*$  – стоимость работ, которые необходимо выполнить при капитальном ремонте резервуара во время  $\tau^*$ ;

$P(\tau)_i$  – вероятность безотказной работы резервуара по  $i$ -му нормативному признаку на этапе дальнейшей эксплуатации в интервале  $[\tau^*, \Delta T]$ ;

$P_i^*$  – заданное значение вероятности безотказной работы резервуара по  $i$ -му нормативному признаку;

$\tau^*$  – время, соответствующее началу применения рассматриваемой методики;

$\tau_k$  – время соответствующее  $k$ -му временному интервалу в пределах интервала дальнейшей эксплуатации  $[\tau^*, \Delta T]$ ;

$\tau$  – текущее значение времени в интервале  $[\tau^*, \Delta T]$ ;

$x_{\zeta k}$  – обозначение  $\zeta$ -го вида диагностики, проводимого в контрольной точке  $k$  временного интервала  $[\tau^*, \Delta T]$ ;

$y_{jk}$  – обозначение  $j$ -го конструктивного элемента, подлежащего ремонту в контрольной точке  $k$  временного интервала  $[\tau^*, \Delta T]$ ;

$c_{\zeta k}, s_{jk}$  – стоимости соответственно  $\zeta$ -го вида диагностики и ремонта  $j$ -го конструктивного элемента в контрольной точке  $k$  временного интервала  $[\tau^*, \Delta T]$ ;

$m$  – количество рассматриваемых возможных вариантов диагностики в контрольной точке  $i$  временного интервала  $[\tau^*, \Delta T]$ ;

$n$  – количество конструктивных элементов резервуара в структурной схеме надежности;

$N$  – количество контрольных точек  $i$  во временном интервале  $[\tau^*, \Delta T]$ ;

$\omega^*$  - величина убытков, которая в данном случае определяется только убытками, которые несет заказчик от простоев резервуара в периоды проведения ревизий технического состояния (традиционное для нефтяных резервуаров определение  $\omega^*$  по гипотетическим потерям нефтепродукта, во-первых, не имеет какого-либо приемлемого обоснования, во-вторых, в данном случае, применяется концепция определения отказа по нормативным признакам, которая практически исключает какие-либо реальные потери нефтепродукта и это требование представляется вполне логичным);

$r^*$  - параметр дисконтирования разновременных денежных затрат, вычисляемый по формуле  $r^* = \ln(1 + r_0)$ , где  $r_0$  - банковская ставка.

Модель (1) является моделью управления надежностью резервуаров на протяжении всего их жизненного цикла.

Следует отметить, что главными особенностями применения (1) являются в данном случае прямой учет типичных для резервуаров дефектов (изготовления и монтажа) и скорости развития различного вида повреждений (физический износ в процессе эксплуатации), а также расчетная оценка их влияния на функциональные свойства (прочность, устойчивость, герметичность). По результатам обследований к типичным относятся дефекты геометрической формы, дефекты сварных швов, а также минусовые допуски на прокат, а к типичным повреждениям – коррозия, усталостные явления и осадки. Более полные сведения, в том числе количественные характеристики о типичных дефектах и повреждениях приведены в [2-4].

Оценка влияния дефектов и повреждений на прочность, устойчивость и герметичность конструктивных элементов резервуаров требует наличия соответствующих расчетных моделей и методов. Многие расчетные методы при этом оказываются нетрадиционными для инженерной практики как по чисто математической реализации, так и по своей идеологии.

В ЛАНАРК проводится широкий круг работ и исследований по разработке расчетных методов с учетом дефектов и повреждений. Многие из них уже применяются в расчетных оценках [5-8]. В настоящее время решаются задачи оценки влияния на прочность трещиновидных дефектов [9-11], устойчивость резервуаров при действии ветра [12-14], влияние на напряженно-деформированное состояние неравномерных осадок и др.

Влияние трещиновидных дефектов исследуется с применением абсолютных (по фактически имеющимся параметрам дефектов) и относительных оценок. В первом случае производится компьютерное моделирование напряженно-деформированного состояния в окрестностях поверхностного или внутреннего трещиновидного дефекта. Опасность таких дефектов определяется на основе двухпараметрических оценок [9]. Во втором случае оценка строится на основе концепции (идеологии) начальной дефектности. В конструкцию условно вводится фиктивный (статистически возможный) дефект и с учетом усталостного подрастания определяется относительное (по отношению к исходному состоянию) его влияние на прочность [7].

В задачах устойчивости ветровая нагрузка учитывается с ее действительным (а не эквивалентным, как в СНиПе [15]), законом распределения. Проводится линейный и нелинейный анализ поведения резервуаров под действием ветра, рассматриваются различные варианты закрепления цилиндрической стенки резервуара, а также случаи совместного воздействия ветра и вакуума. Полученные результаты показывают, что решение с учетом действительного распределения ветровой нагрузки позволяет в этих случаях уточнить оценку устойчивости на 10-15%.

Все указанные выше задачи решаются с применением универсальных программных комплексов «Лира», «Cosmos», «Ansys», построенных на основе МКЭ.

Наличие большого объема результатов натурных обследований позволяет применять в решениях элементы теории вероятности и статистического анализа. В итоге появляется возможность определять значения  $P(\tau)_i$ , см. (1), по всем основным нормативным признакам.

Нужно отметить, что на базе (1) можно ставить и задачу оптимального проектирования новых резервуаров с заранее задаваемой продолжительностью жизненного цикла и уровнем надежности.

Проведенные исследования показали, что в конкретно возникающих ситуациях (степень поврежденности каждого отдельного конструктивного элемента, потребность в емкости, финансовое состояние заказчика), целесообразными могут оказаться самые различные варианты по срокам и объемам проведения ремонтных работ. Применение оптимизационного алгоритма на основе (1) позволяет достичь сокращения эксплуатационных затрат на 20-25%.

**Выводы.** Применение в практике эксплуатации оптимизационной системы на основе модели (1) с ее расчетным обеспечением позволяет надежно контролировать и управлять техническим состоянием стальных резервуаров при минимально возможном уровне затрат на протяжении всего жизненного цикла указанных сооружений.

#### ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Егоров Е.А., Семенец С.С. Оптимизация нефтяных резервуаров по критерию минимума полных ожидаемых затрат//Строительство, материаловедение, машиностроение.-Днепропетровськ: ПДАБтаА, 2002. - Вип. 18.-С. 74-81.
2. Егоров Е.А. Некоторые результаты и проблемы технического диагностирования стальных резервуаров для хранения нефтепродуктов// Теоретичні основи будівництва.-Дніпропетровськ: ПДАБтаА, 1999.-С. 77-82.
3. Егоров Е.А. Физический износ и пути улучшения технико-экономических показателей нефтяных резервуаров//Сб. научн. трудов Донбасской государственной академии строительства и архитектуры «Новые направления развития металлоконструкций». Донецк-Макеевка, 1997.-Т.1.- С. 84-89.

4. Егоров Е.А. Исследования и методы расчетной оценки прочности, устойчивости и остаточного ресурса стальных резервуаров, находящихся в эксплуатации.-Дніпропетровськ: Навчальна книга, 2002. – 95с.
5. Егоров Е.А. Учет начальных прогибов в инженерных расчетах стальных резервуаров// Придніпровський науковий вісник. Сер. Машинобудування та технічні науки.-Дніпропетровськ: Наука і освіта, 1997.-№37 (48).-С. 16-26.
6. Егоров Е.А. Определение безопасного уровня нагружения стальных резервуаров с учетом хрупкого разрушения// Металлостроительство-96: Сб. научн. тр. Донбасской государственной академии строительства и архитектуры.-Донецк-Макеевка: ДонГАСиА, 1996.-Т1.-С. 36-38.
7. Егоров Е.А. Решение задач хрупкой прочности строительных металлоконструкций методом сравнительных оценок// Металеві конструкції.- Макіївка: Донбаська ДАБтаА, 1998.-Том1.-№1.-С. 41-46.
8. Егоров Е.А. Особенности расчетных оценок несущей способности стальных резервуаров в технической диагностике// Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури.- Дніпропетровськ: ПДАБтаА, 2003.- №10,11.-С. 69-72.
9. Егоров Е.А., Кустовский А.А. Оценка и прогнозирование трещиностойкости стальных резервуаров // Theoretical Foundations of Civil Engineering. – 2001. - № IX. – с. 49-54.
10. Кустовский А.А. Анализ результатов дефектоскопии сварных соединений нефтяного стального резервуара объемом 50 000 м3 // Сб. научн. тр. ПГАСА “Диагностика в строительстве”. – 2002. - Вып. 18. – с. 68-74.
11. Егоров Е.А., Исмагулов Б.Г., Ковтун-Горбачева Т.А., Кустовский А.А. Проблемы и результаты технического диагностирования стальных резервуаров для хранения нефтепродуктов // Сб. научн. трудов ПГАСА “Новейшие технологии диагностирования, ремонта и восстановления объектов строительства”. – 2003 - Вып. 25. – с. 85-89.
12. Е. Егоров, Ю. Федоряка Линейный и нелинейный анализ устойчивости стальных вертикальных цилиндрических резервуаров // Theoretical Foundations of Civil Engineering. – 2006. - № XIV. – с. 557-562.
13. Федоряка Ю.В. Оценка устойчивости стальных вертикальных цилиндрических резервуаров при действии ветровой нагрузки // Сб. научн. тр. ПГАСА “Новейшие технологии диагностирования, ремонта и восстановления объектов строительства”. – 2003 - Вып. 25. – с. 71-76.
14. Федоряка Ю.В. Решение линейной задачи устойчивости стальных резервуаров при ветровой нагрузке // Сб. научн. тр. «Строительство, материаловедение, машиностроение», сер. «Инновационные технологии диагностики, ремонта и восстановления объектов строительства и транспорта». – 2006. - Вып. 35. – с. 25-30.
15. СНиП 2.01.07-85 Нагрузки и воздействия / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1987. – 36 с.

УДК 69.003: 681.5.015

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

*Н.М. Еришова, д.т.н., проф.*

*Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры,  
Днепропетровск*

**Проблема.** Строительная продукция еще не в полной мере соответствует потребности народного хозяйства и населения по качеству, ассортименту и срокам выхода на рынок, поэтому предприятия должны иметь специальную группу для осуществления инновационной деятельности путем разработки и внедрения новых изделий и технологий. На этапе создания инновационной группы (ИГ) следует определить влияние ее деятельности на производственную мощность предприятия.

**Цель работы.** Разработать математическую модель предприятия, отражающую деятельность ИГ, и путем моделирования определить влияние деятельности ИГ на производственную мощность предприятия.

Простейшая модель мощности предприятия имеет вид [1]:

$$\frac{dmy}{dt} + \beta y = v, \quad y(t_0) = y_0; \quad (1)$$

где  $y$  - производственная мощность предприятия;  $v$  - поток основных фондов;  $\beta$  - коэффициент выбытия или старения основных фондов;  $m$  - мгновенная фондоемкость основных фондов по выпуску данной продукции.

Фондоемкость аналогична массе материальной точки, т.е. она характеризует инертность предприятия к увеличению производственной мощности. Фондоемкость изменяется при каком-либо изменении: в структуре предприятия, использования оборудования, площадей, технологии производства или выпускаемого изделия. При улучшении технологии, раскрытии внутренних ресурсов, применении достижений научно-технического прогресса фондоемкость предприятия должна убывать. Чем меньше фондоемкость, тем выше уровень производства. Производная

фондоемкости  $\frac{dm}{dt}$  характеризует темп улучшения развития предприятия в

смысле развития технического уровня, оснащения. Условие положительного развития предприятия – производственная фондоемкости по времени должна быть отрицательной.

Следовательно, влияние деятельности ИГ на производственную мощность предприятия можно отражать в математических моделях переменной фондоемкостью.

Уравнение мощности можно записать в виде:

$$\frac{dmy}{dt} + \alpha my = v, \quad (2)$$