

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 м³. 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 τ^* ;

$P(\tau)_i$ – 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;

τ^* – время, соответствующее началу применения рассматриваемой методики;

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

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

$x_{\zeta k}$ – обозначение ζ -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 ζ -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 $[\tau^*, \Delta T]$;

ω^* - 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 ω^* 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; β - 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:

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