

Насонова Світлана Сергіївна

*кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри вищої математики
Український державний хіміко-технологічний університет*

Насонова Светлана Сергеевна

*кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры высшей математики
Украинский государственный химико-технологический университет*

Nasonova Svitlana

*Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor of the Higher Mathematics Department
Ukrainian State University of Chemical Technology*

Рижков Едуард Володимирович

*кандидат юридичних наук, доцент,
завідувач кафедри економічної та інформаційної безпеки
Дніпропетровський державний університет внутрішніх справ*

Рыжков Эдуард Владимирович

*кандидат юридических наук, доцент,
заведующий кафедрой экономической и информационной безопасности
Днепропетровский государственный университет внутренних дел*

Ryzhkov Eduard

*Candidate of Law, Associate Professor,
Head of the Economic and Information Security Department
Dnipropetrovsk State University of Internal Affairs*

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОТОТИПУ СКЛАДНОЇ ТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ ЗА ЕКОНОМІЧНИМИ КРИТЕРІЯМИ

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОТОТИПА СЛОЖНОЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПО ЭКОНОМИЧЕСКИМ КРИТЕРИЯМ

COMPUTER MODELING OF A PROTOTYPE OF A COMPLEX TECHNICAL SYSTEM BY ECONOMIC CRITERIA

Анотація. В статті пропонується метод комп'ютерного моделювання прототипу нафтового резервуару за критерієм повних очікуваних затрат з урахуванням надійності.

Ключові слова: комп'ютерне моделювання, складна система, повні очікувані затрати, надійність.

Аннотация. В статье предлагается метод компьютерного моделирования прототипа нефтяного резервуара по критерию полных ожидаемых затрат с учетом надежности.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, сложная система, полные ожидаемые затраты, надежность.

Summary. The article proposes a method of computer modeling of a prototype of an oil reservoir according to the criterion of total expected costs, taking into account reliability.

Key words: computer modeling, complex system, total expected costs, reliability.

Складними технічними системами зазвичай називають системи, поведінку яких досить складно моделювати через складні залежності між їх складовими та через складну взаємодію із навколишнім середовищем [1; 2].

В даній статті в якості складної технічної системи розглядаються сталеві резервуари наземного типу для зберігання нафти і нафтопродуктів (РВС). Фізико-механічні процеси, які відбуваються в конструкціях РВС під час експлуатації, досить складні та мають випадкову природу. Швидкість протікання цих процесів багато в чому залежить від ступеня деградації сталевих резервуарів, а також виду та рівня напружено-деформованого стану його конструкції [3; 4].

Слід зазначити, що порушення цілісності, а тим більше частковий або повний руйнування РВС призводять до значних матеріальних збитків, які пов'язані з втратою нафтопродукту та забрудненням навколишнього середовища. Тому питання забезпечення надійності нафтових резервуарів з урахуванням економічних чинників, є досить актуальними [5; 6].

В статті пропонується модель оптимального проектування РВС за критерієм повних очікуваних затрат з урахуванням надійності. Результатом проведених чисельних експериментів за даною моделлю є значення товщин основних конструктивних елементів прототипу нафтового резервуару об'ємом 5000 м³ в залежності від заданого рівня надійності.

Мета статті — розробка метода комп'ютерного моделювання прототипу нафтового резервуару за критерієм повних очікуваних затрат з урахуванням надійності.

Резервуар умовно можна розділити на чотири послідовно з'єднаних підсистем [7] (див. рис. 1).

Розглянемо наступну задачу оптимального проектування. Маємо прототип нафтового резервуару, визначений з точністю до значень товщини основних конструктивних елементів: днища, настилу покрівлі, поясів циліндричної стінки і вузла сполучення стінки з днищем. Задані строк служби T і необхідний рівень надійності резервуара P^* . Потрібно знайти такі значення товщини конструктивних елементів резервуара, які протягом часу T з ймовірністю не менш ніж P^* забезпечують його нормальну роботу (в умовах і режимах, передбачених діючою системою технічного обслуговування і ремонтів) при мінімально можливому значенні повних очікуваних затрат.

Повні очікувані затрати складаються з проектно-ї вартості резервуара, що приблизно дорівнює потрійній вартості металопрокату, необхідного для побудови резервуара та витрат на його технічне обслуговування під час експлуатації C_z . Відповідно до [7] C_z можна обчислити за формулою:

$$C_z = \int_0^T \lambda [1 - P(t)] dt,$$

де λ — середнє значення гіпотетичних збитків, з якими пов'язана відмова резервуару, яка визначається виходячи з априорного аналізу наслідків (економічних, екологічних та ін.) аварій РВС; $P(t)$ — ймовірність безвідмовної роботи резервуару.

Отримаємо наступну оптимізаційну модель:

$$3C_0 \left[2\pi r \frac{L}{n} \rho \sum_{i=1}^{nx} x_i + \pi r^2 (x_{n+1} + x_{n+2}) \right] + \int_0^T \lambda [1 - P(t)] dt \rightarrow \min \tag{1}$$

$$P_1(x_1, x_2, \dots, x_n, t) \geq P^* \tag{2}$$

$$P_2(x_1, x_2, \dots, x_n, t) \geq P^* \tag{3}$$

$$P_3(x_1, t) \geq P^* \tag{4}$$

$$P_4(x_{n+1}, t) \geq P^* \tag{5}$$

$$P_5(x_{n+2}, t) \geq P^* \tag{6}$$

$$\delta^- \leq x_i \leq \delta^+, \quad i = \overline{1, n+2} \tag{7}$$

$$t \in [0, T] \tag{8}$$

де x_1, x_2, \dots, x_n — проектні значення товщини поясів циліндричної стінки; x_{n+1}, x_{n+2} — проектні значення товщини, відповідно, днища і настилу покрівлі; δ^-, δ^+ — відповідно, нижня і верхня границі зміни проектно-ї товщини конструктивних елементів, що визначаються сортаментом листової сталі; r, L — відповідно, радіус і висота резервуару; ρ — питома вага сталевих прокатів; P_1, P_2 — ймовірності ненастання граничного стану циліндричної стінки за умовами, відповідно, міцності та стійкості; P_3 — ймовірність ненастання граничного стану вузла сполучення стінки з днищем; P_4, P_5 — ймовірності ненастання граничного стану, відповідно, днища та покрівлі; P^* — необхідний рівень надійності.



Рис. 1. Структурна схема надійності РВС:
1 — днище, 2 — покрівля, 3 — циліндрична стінка, 4 — уторний вузол

Таблиця 1

Залежність проектної товщини конструктивних елементів резервуару від необхідного рівня надійності

Рівень надійності P^*	Товщина днища, мм	Товщина поясів циліндричної стінки, мм						Товщина покрівлі, мм
		пояс 1	пояс 2	пояс 3	пояс 4	пояси 5, 6	пояси 7–10	
0.95	6	9	7	7	6	5	4	4
0.96	6	9	8	7	6	5	4	4
0.97	6	10	8	7	6	5	4	4
0.98	6	10	8	7	6	5	4	4
0.99	7	10	9	7	6	5	4	4
0.999	7	11	9	7	6	5	4	4

Відзначимо, що ймовірності P_1, P_2, P_3, P_4, P_5 визначаються відповідно до методики, викладеної в роботах [8; 9].

Проектні рішення, отримані за моделлю (1)–(8) є ефективними з економічної точки зору, та забезпечують необхідний рівень надійності нафтового резервуару протягом заданого терміну експлуатації.

Для чисельної реалізації моделі (1)–(8) був розроблений «жадібний» алгоритм, що складається з $n + 2$ етапів, на кожному з яких визначається оптимальне значення проектної товщини відповідного конструктивного елемента.

Розрахунки проводилися стосовно проекту резервуару об'ємом 5000 м³ при наступних вихідних даних: висота резервуару — 1490 см; радіус резервуару — 1046 см; кількість поясів — 10; розрахунковий опір сталі — 230 МПа; термін експлуатації — 40 років. Висота затоки приймалася рівною 1420 см, щільність нафтопродукту, що зберігається — 0.0009 кг/см³, надлишковий тиск в газовому просторі — 2.0 кПа, вакуум — 0.25 кПа; кількість циклів навантаження в рік — 60. Значення товщини конструктивних елементів варіювалися від 1 мм до 12 мм.

Величина незворотного корозійного зносу конструктивних елементів резервуару при заданому напрацюванні t визначалася за спрощеною формулою [10]:

$$\Delta(t) = v_s t,$$

де v_s — середня швидкість поверхневої корозії конструктивного елемента, яка розглядалася як випадкова величина, розподілена за нормальним законом.

В таблиці 1 наведені оптимальні значення проектних товщин конструктивних елементів РВС-5000 в залежності від заданої величини P^* при проектному терміні експлуатації $T = 40$ років.

Дані, наведені в табл. 1, показують, що збільшення необхідного рівня надійності P^* призводить, в першу чергу, до збільшення проектних значень товщини днища і перших двох поясів корпусу резервуара.

Висновки. Запропонована оптимізаційна модель (1)–(8) дозволяє управляти надійністю проекту нафтового резервуару за критерієм мінімуму повних очікуваних затрат. Ця модель може бути ефективним математичним інструментом для комп'ютерного моделювання прототипів нафтових резервуарів.

Література

1. Каштанов В. А. Теория надежности сложных систем: учебное пособие / В. А. Каштанов, А. И. Медведев. М.: Физматлит, 2010. 606 с.
2. Капур К. Надежность и проектирование систем / К. Капур, Л. Ламберсон; пер. с англ. Коваленко Е. Г., под ред. Ушакова И. А. М.: Мир, 1980. 604 с.
3. Правила технічної експлуатації резервуарів та інструкції по їх ремонту: [змінені розділи та пункти розділів] / ДПІ УкрДНПРОнафтотранс. [Чинні від 03.07. 1999]. Київ.: Укрнафтопродукт, 1997. 297 с.
4. Резервуари вертикальні сталеві для зберігання нафти і нафтопродуктів з тиском насичених парів не вище 93.3 кПа: ВБН 2.2–58.2–94 / Держ. ком. України по нафти і газу. [Чинні від 01.10.1994]. Київ: Держкомнафтогаз, 1994. 98 с.
5. Гайсин Э. Ш. Современное состояние проблемы обеспечения надежности резервуаров для нефти и нефтепродуктов / Э. Ш. Гайсин, М. Ш. Гайсин // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. М: ОБРАКАДЕМНАУКА, 2016. № 2. С. 31–40.
6. Гайсин Э. Ш. Оценка надежности резервуаров вертикальных стальных по критерию вероятности безаварийной работы / Э. Ш. Гайсин, Ю. А. Фролов // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. М: ОБРАКАДЕМНАУКА, 2014. № 4. С. 11–15.

7. Управление эксплуатационной надежностью нефтяных резервуаров / С.Н. Семенец, С.С. Насонова, Ю.Е. Власенко, Л.Ю. Кривенкова // Строительство гос, материаловедение, машиностроение: сб. науч. тр. / Приднeпр. акад. стр-ва и архитектуры. Днепр, 2018. Вып. 106. С. 122–128. (Компьютерные системы и информационные технологии в образовании, науке и управлении).

8. Семенец С. Н. Расчетные модели надежности нефтяных резервуаров / С. Н. Семенец, С. С. Насонова, Ю. Е. Власенко, Л. Ю. Кривенкова // Вісник ПДАБА. Дніпропетровськ: ПДАБА, 2018. № 1. С. 60–67.

9. Семенец С. Н. Управление проектной надежностью нефтяных резервуаров / С. Н. Семенец, С. С. Насонова, В. И. Олевский, Д. Л. Волчок / Сопротивление материалов и теория сооружений. 2019. Вып. 103. С. 165–176.

10. Егоров Е. А. Исследование и методы расчетной оценки прочности, устойчивости и остаточного ресурса стальных резервуаров, находящихся в эксплуатации: монография / Е. А. Егоров. Днепропетровск: ПГАСА, 1996. 99 с.