

*О.М. Ларін, д.т.н., професор, НУЦЗУ,
Є.М. Грінченко, к.т.н., доцент, докторант, НУЦЗУ,
Д.Л. Соколов, к.т.н., доцент, НУЦЗУ,
Р.М. Федоренко, заст. нач. НІРЧ, НУЦЗУ*

ВИЗНАЧЕННЯ ЙМОВІРНОСТІ ВТРАТИ ГЕРМЕТИЧНОСТІ ВЕРТИКАЛЬНОГО СТАЛЕВОГО РЕЗЕРВУАРУ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ТРИВАЛОСТІ ЙОГО ЕКСПЛУАТАЦІЇ (представлено д-ром техн. наук Басмановим О.Є.)

Розглядається задача визначення ймовірності втрати герметичності вертикального сталевих резервуару в залежності від терміну його експлуатації. Проведені розрахунки ймовірності безвідмовної роботи як окремих елементів так і резервуару в цілому. Визначена залежність ймовірності розгерметизації від утворення наскрізних корозійних пошкоджень у вертикальному сталевому резервуарі із вмістом нафтопродуктів від тривалості його експлуатації, яка наведена в табличному, аналітичному та графічному вигляді.

Ключові слова: резервуар, надійність, нафтопродукт, втрата герметичності, термін експлуатації.

Постановка проблеми. Переважні об'єкти нафти і нафтопродуктів зберігаються у вертикальних сталевих резервуарах з вмістом від 1000 до 100000 м³ продукту Скупчення легкозаймистих і горючих рідин на порівняно невеликій площі призводить до високого рівня техногенної небезпеки. У разі виникнення аварійної ситуації існує загроза завдання значної шкоди у вигляді забруднення довкілля, погіршення рівня життя, виникнення пожеж. Це в свою чергу призводить до значних матеріальних втрат.

Система управління техногенною безпекою об'єктів підвищеної небезпеки, до яких відносяться підприємства нафтопереробної промисловості з наявністю вертикальних сталевих резервуарів, потребує постійного удосконалення з урахуванням набутого світового та національного досвіду, у тому числі і оцінювання надійності їх складових елементів під час експлуатації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В процесі експлуатації вертикальні сталеві резервуари (РВС), що використовуються для зберігання нафти і нафтопродуктів, накопичують ті або інші пошкодження і поступово знижують свої технічні кондиції. Питання фізичного зносу елементів РВС найфундаментальніше розглядалися в роботах [1-3], питання підвищення надійності використовуваного парку РВС в роботах [4, 5], а розв'язок задачі надійності об'єктів підвищеної небезпеки з урахуванням умов експлуатації – в роботі [6]. Проте, управлінню надійністю резервуарів в експлуатації, що враховує можливі пош-

кодження, і дозволяє продовжувати терміни корисного використання, з погляду надійності, приділена недостатня увага.

Постановка завдання та його вирішення. Основним завданням статті є визначення ймовірності втрати герметичності РВС в залежності від тривалості його експлуатації. В будь-який момент часу резервуар може перебувати тільки в одному з двох можливих станів: працездатному і непрацездатному. Перехід з працездатного стану в непрацездатний розглядається як відмова, і ймовірність відмови або безвідмовності приймається в якості головного показника як проектної, так і експлуатаційної надійності.

Математична модель експлуатаційної надійності сталевих резервуарів та їх складових елементів розглянута та побудована в роботах [7-9].

Основна увага приділялася аналізу показників надійності резервуарів об'ємом від 1000 до 50000 м³. Розглядаються резервуари, виготовлені в період 1970-2000 р.р., що розраховуються на експлуатацію при надмірному тиску $P = 2.0$ КПа, вакуумі $q = 0.25$ КПа, сніговому навантаженні $P_{\text{сн}} \leq 1.0$ кН/м², вітровому тиску $0.85 \leq q_v \leq 1.0$ кН/м², і при розрахунковій щільності продукту $\gamma = 1,0$ т / м³.

Результати розрахунків по визначенню середнього часу безвідмовної роботи поясів циліндричної стінки резервуарів за умовою міцності, що виконувалися за розробленими авторами моделями [7-9], наведені в табл. 1. Отримані результати показують, що виготовлення і монтаж приводять до зниження проектної несучої здатності поясів циліндричної стінки. Це обумовлено початковими відхиленнями резервуара від горизонтальної площини, відхиленнями від правильного кола лінії спірання нижнього поясу на днище, негативними допусками на товщину прокату. Разом з тим середній ресурс нижніх поясів виявляється вище, ніж інших, з огляду на те, що при проектуванні в них закладається більш високий запас міцності ($\gamma_c = 0,7$ для нижніх поясів і $\gamma_c = 0,8$ – інших). Навіть у межах одного резервуара окремі пояси циліндричної стінки мають різну довговічність, що в кінцевому рахунку збільшує витрати на проведення можливих ремонтно-відновлювальних робіт.

Табл. 1. Середній час безвідмовної роботи поясів циліндричної стінки резервуарів різного об'єму (м³) за умовою міцності

№№ поясів	1000	3000	5000	10000	20000	50000
I	42	29	29	35	45	42
II	35	32	30	29	41	34
III			24	27	36	31

У процесі експлуатації несуча здатність поступово знижується, інтенсивність зниження становить 0,4-0,8% в рік, а сам процес зниження дуже близький лінійного.

Значення оцінки ймовірності $P(\tau)_{\sigma}^{ct}$ безвідмовності циліндричної стінки в цілому наведені в табл. 2. Спільний розгляд цих даних дозволяє зробити висновок, що, як і для окремих поясів, ймовірність безвідмовності за умовою міцності у всіх випадках залишається не нижче 0,90 при тривалості експлуатації резервуарів не більше 20 років. Із зростанням тривалості експлуатації інтенсивність зносу все більше зростає і після 30 років експлуатації $P(\tau)_{\sigma}^{ct} = 0,75-0,85$, а після 40 років – $P(\tau)_{\sigma}^{ct} = 0,50-0,70$.

Табл. 2. Значення ймовірності виконання умови міцності циліндричної стінки сталевих резервуарів

№ п/п	Об'єм резервуара, м ³	$P(\tau)_{\sigma 0}^{ct}$	$P(\tau)_{\sigma 0}^{ct*}$	$P(\tau)_{\sigma}^{ct}$			
				Тривалість експлуатації, років			
				10	20	30	40
1	1000	1	1	1	0,999	0,997	0,99
2	3000	1	1	0,98	0,94	0,90	0,74
3	5000	1	1	0,990	0,93	0,77	0,53
4	10000	1	1	0,998	0,98	0,88	0,68
5	20000	1	1	1	0,998	0,99	0,97
6	50000	1	1	0,995	0,96	0,82	0,57

Значення ймовірності $P(\tau)_{\sigma M}$ безвідмовності вузла сполучення стінки з днищем, наведені в табл. 3.

Табл. 3. Значення ймовірностей виконання умови міцності вузла сполучення стінки з днищем

№№ п/п	Об'єм резервуара, м ³	Тривалість експлуатації, років				
		0	10	20	30	40
1	1000	0,98	0,95	0,90	0,85	0,78
2	3000	0,82	0,70	0,55	0,43	0,35
3	5000	0,87	0,73	0,58	0,43	0,35
4	10000	0,92	0,85	0,73	0,58	0,46
5	20000	1,0	0,98	0,94	0,87	0,79
6	50000	1,0	1,0	0,96	0,88	0,77

Відповідно до загальної методології оцінки надійності днища та покрівлі зміни технічного стану цих елементів цілком визначаються швидкістю локальної корозії і узагальненого зносу. У всіх випадках приймався нормальний закон розподілу швидкості корозії і загального зносу. Результати обчислень вірогідності безвідмовності днища та пок-

рівлі за умовами локального і узагальненого зносу після τ років експлуатації резервуара наведені в табл. 4-7.

Табл. 4. Значення ймовірності працездатного стану днища при різній тривалості перебування резервуара в експлуатації

№№ з/п	Товщина днища, мм	Тривалість експлуатації, років			
		10	20	30	40
1	4	1,0	0,999	0,21	0,0
2	5	1,0	1,0	0,849	0,09
3	6	1,0	1,0	0,999	0,541

Табл. 5. Значення ймовірності збереження герметичності днища при розвитку місцевих корозійних пошкоджень

№№ з/п	Товщина днища, мм	Тривалість експлуатації, років				
		5	7,5	10	12,5	15
1	4	1,0	0,95	0,34	0,03	0
2	5	1,0	1,0	0,91	0,45	0,07
3	6	1,0	1,0	0,995	0,86	0,50

Табл. 6. Значення ймовірності працездатного стану днища при різній тривалості перебування резервуара в експлуатації

№№ з/п	Товщина днища, мм	Тривалість експлуатації, років			
		10	20	30	40
1	2,5	1,0	1,0	0,95	0,50
2	3,0	1,0	1,0	0,999	0,57
3	4,0	1,0	1,0	1,0	0,999

Табл. 7. Значення ймовірності збереження герметичності днища при розвитку місцевих корозійних пошкоджень

№№ з/п	Товщина днища, мм	Тривалість експлуатації, років				
		5	7,5	10	12,5	15
1	2,5	1,0	0,95	0,50	0,16	0,04
2	3,0	1,0	0,995	0,84	0,42	0,16
3	4,0	1,0	1,0	1,0	0,92	0,63

Найбільш узагальненим показником надійності резервуарів після того чи іншого терміну служби є загальна ймовірність безвідмовної роботи $P(\tau)$. Разом з тим, в силу цілого ряду особливостей, пов'язаних з наслідками можливих відмов цих споруд, не менш важливим показником слід вважати і загальну ймовірність не руйнування $P(\tau)_\sigma$ резервуара. Якщо $P(\tau)$ більшою мірою визначає ефективність функціонального стану, то $P(\tau)_\sigma$ визначає безпеку експлуатації. Значення $P(\tau)_\sigma$ наведені в табл. 8.

Табл. 8. Значення ймовірності неруйнування сталевих резервуарів

№№ з/п	Об'єм резервуарів, м ³	Тривалість експлуатації, років	$P(\tau)_\sigma$
1	1000	10	0,95
		20	0,90
		30	0,85
		40	0,77
2	3000	10	0,69
		20	0,52
		30	0,39
		40	0,26
3	5000	10	0,72
		20	0,54
		30	0,33
		40	0,19
4	10000	10	0,85
		20	0,72
		30	0,51
		40	0,31
5	20000	10	0,98
		20	0,94
		30	0,86
		40	0,77
6	50000	10	0,995
		20	0,92
		30	0,72
		40	0,44

Наведені результати показують, що, якщо виходити з 20 літньої експлуатації, то надійність резервуарів можна вважати в цілому задовільною.

Значення $P(\tau)$ наведені в табл. 9. Тут у всіх випадках чітко простежується різке зниження значень $P(\tau)$ після 20 років експлуатації.

Табл. 9. Ймовірності $P(\tau)$ безвідмовної роботи сталевих резервуарів

№№ з/п	Об'єм резервуару, м ³	К-сть років	Циліндрична стінка	Вузол сполучення	Днище	Покрівля	Разом
1	2	3	4	5	6	7	8
1	1000	10	1,0	0,95	1	1	0,95
		20	0,999	0,90	1	1	0,90
		30	0,997	0,85	0,21	0,95	0,17
		40	0,990	0,78	0	0,50	0
2	3000	10	0,98	0,70	1	1	0,69
		20	0,94	0,55	1	1	0,52
		30	0,90	0,43	0,21	0,95	0,07
		40	0,74	0,35	0	0,50	0

1	2	3	4	5	6	7	8
3	5000	10	0,99	0,73	1	1	0,72
		20	0,93	0,58	1	1	0,54
		30	0,77	0,43	0,85	0,95	0,27
		40	0,53	0,35	0,09	0,05	0,01
4	10000	10	0,998	0,85	1	1	0,85
		20	0,98	0,73	1	1	0,72
		30	0,88	0,58	0,85	0,95	0,41
		40	0,68	0,46	0,09	0,50	0,014
5	20000	10	1,0	0,98	1	1	0,98
		20	0,998	0,94	1	1	0,94
		30	0,99	0,87	0,85	0,95	0,70
		40	0,97	0,79	0,09	0,50	0,03
6	50000	10	0,995	1,0	1	1	0,995
		20	0,96	0,96	1	1	0,92
		30	0,82	0,88	0,85	0,95	0,58
		40	0,57	0,77	0,09	0,50	0,02

Чітко простежуються і головні причини цього зниження – це, на-самперед, порівняно низький технічний ресурс днища (особливо для резервуарів об'ємом 1000 м³, де товщина днища складає 4,0 мм), вузла сполучення стінки з днищем і, в якійсь мірі, покрівлі (товщина настилу покрівлі у всіх розглянутих випадках дорівнювала 2,5 мм).

Середній ресурс Р безвідмовної роботи розглянутих резервуарів (ймовірність = 0,5) становить від 20 до 35 років.

Подібний аналіз показників надійності може бути виконаний для резервуарів будь-якого обсягу з конкретними конструктивними параметрами, в тому числі і для кожного окремого резервуара.

Визначена залежність ймовірності розгерметизації від утворення наскрізних корозійних пошкоджень у вертикальному сталевому резервуарі із вмістом нафтопродуктів від тривалості його експлуатації, яка описується виразом

$$P(\tau) = \sum_{i=1}^4 a_i \tau^{i-1}, \quad (1)$$

де коефіцієнти a_i визначені для типорозмірів цих резервуарів у діапазоні від 1000 до 50000 м³. Значення коефіцієнтів a_i , що входять в залежність (1) для різних типорозмірів РВС наведені в табл. 10.

Табл. 10. Значення коефіцієнтів для визначення ймовірності втрати герметичності РВС від тривалості його експлуатації

	a_1	a_2	a_3	a_4
1000	0,5	0,3	1,1	3
3000	0,7	0,6	3,03	6
5000	7	5,3	10	9,5
10000	2,6	2	2	2,7
20000	0,5	0,5	7,5	5
50000	0,75	1,1	1,9	10

Графічно ця залежність приведена на рис. 1.

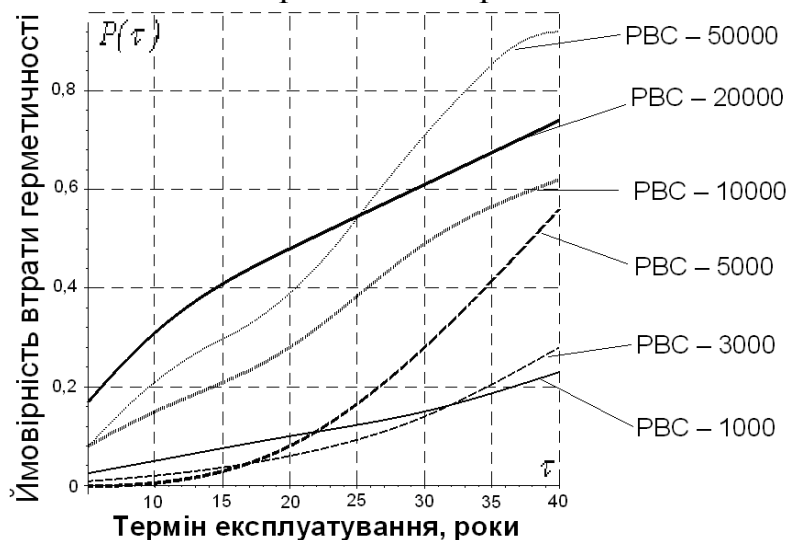


Рис. 1. Залежність ймовірності втрати герметичності РВС від тривалості його експлуатації

Аналіз залежності вказує на суттєве збільшення ймовірності втрати герметичності РВС при досягненні нормативного граничного терміну експлуатації, який в керівних документах визначений за 40 років. Так, для деяких типорозмірів РВС ймовірність втрати герметичності від дії корозій становить до 0,9. Тому при досягненні РВС цього терміну експлуатації необхідні негайні заходи щодо забезпечення герметичності.

Висновки. Виявлено залежність ймовірності виникнення наскрізних корозійних пошкоджень резервуару від тривалості його експлуатації, як для окремих елементів конструкції так і конструкції в цілому. Визначена залежність ймовірності розгерметизації від утворення наскрізних корозійних пошкоджень у вертикальному сталевому резервуарі із вмістом нафтопродуктів від тривалості його експлуатації, яка наведена в табличному, аналітичному та графічному вигляді. Отримані залежності нададуть змогу покращити систему техногенної безпеки об'єктів по збереженню нафтопродуктів із наявністю РВС.

ЛІТЕРАТУРА

1. Котельников В.С. Мониторинг технического состояния оборудования на опасных производственных объектах / В.С. Котельников, О.В. Покровская, Н.Н. Коновалов, В.П. Шевченко. – Контроль. Диагностика. – 2003. – №8. – С. 6-13.

2. Беляев Б.Ф. Коррозионная повреждаемость стальных цилиндрических резервуаров для хранения нефти / Б.Ф. Беляев, В.М. Горицкий, Р.Р. Кулахметьев, Г.Р. Шнейдеров. – Промышленное и гражданское строительство, 1998. – №5. – С. 33-36.

3. Егоров Е.А. Альтернативные оценки прочности, устойчивости и остаточного ресурса стальных нефтерезервуаров / Е.А. Егоров // Материалы международной научно-практической конференции «Захист

від корозії і моніторинг залишкового ресурсу промислових будівель, споруд та інженерних мереж”. – Донецьк, 2003. – С. 414-421.

4. Акимов В.А. Надежность технических систем и техногенный риск. / В.А. Акимов, В.Л. Лапин, В.М. Попов и др. – М.: ЗАО ФИД «Деловой экспресс», 2002. – 367 с.

5. Капур К. Надежность и проектирование систем / К. Капур, Л. Ламберсон. – М.: Мир, 1980. – 605 с.

6. Вопросы эксплуатационной надежности резервуаров на нефтеперерабатывающих заводах. – М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1991. – 67 с.

7. Федоренко Р.М. Визначення терміну безпечної експлуатації стінки вертикального резервуару для збереження нафтопродуктів в експлуатації / Соколов Д.Л., Федоренко Р.М., Грінченко Є.М. // Проблеми надзвичайних ситуацій. – Харків: НУЦЗУ, 2014. – Вип. 19. – С 38-48.

8. Ларин А.Н. Определение параметров надежности вертикального стального резервуара при оценке коллективного риска от пожара / Ларин А.Н., Гринченко Е.Н., Федоренко Р.Н. // Вестник Кокшетауского технического института Комитета по чрезвычайным ситуациям Министерства внутренних дел Республики Казахстан № 4(16). – К.: КТИ КЧС МВД РК, 2014. – С. 51-58.

9. Федоренко Р.М. Анализ надежности вертикального стального резервуара при оценке риска возникновения пожара / Р.М. Федоренко, Є.М. Грінченко // Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций: сб. ст. по материалам всерос. науч.-практ. конф. с междунар.уч., 18 апр. 2014 г. / ФГБОУ ВПО Воронежский институт ГПС МЧС России. – Воронеж, 2014. – С. 87-90.

А.Н. Ларин, Е.Н. Гринченко, Д.Л. Соколов, Р.Н. Федоренко

Определение вероятности потери герметичности вертикальных стальных резервуарах в зависимости от срока его эксплуатации

Рассматривается задача определения вероятности потери герметичности вертикального стального резервуара в зависимости от срока его эксплуатации. Проведенные расчеты вероятности безотказной работы, как отдельных элементов, так и резервуара в целом. Определена зависимость вероятности разгерметизации от образования сквозных коррозионных повреждений в вертикальном стальном резервуаре с содержанием нефтепродуктов от продолжительности его эксплуатации, которая приведена в табличном, аналитическом и графическом виде.

Ключевые слова: резервуар, надежность, нефтепродукт, потеря герметичности, срок эксплуатации.

A.N. Larin, Ye.N. Grinchenko, D.L. Sokolov, R.N. Fedorenko

Likelihood leak vertical steel tanks depending on the duration of its operation

The problem of determining the probability of loss of containment of vertical steel tank, depending on its useful life. The calculations of probability of failure-free operation, as individual elements, and the tank as a whole. Determine the dependence of the probability of depressurization of education through corrosion damage in vertical steel tanks with oil content of the duration of its operation, which is shown in the table, analytical and graphical form.

Keywords: tank, reliability, oil, leak, life.