

**Г.М. Гладішев** к.т.н., доцент кафедри "Будівельні конструкції та мости" Національного університету "Львівська політехніка", м. Львів

**Д.Г. Гладішев** к.т.н., доцент кафедри "Архітектурне проектування та інженерія" Національного університету "Львівська політехніка", м. Львів

**І.З. Бутринський** к.т.н., доцент кафедри "Опору матеріалів та будівельної механіки" Національного університету "Львівська політехніка", м. Львів

**Н.П. Чуканова** завідувач відділу обстеження, комплексної діагностики та експериментального проектування будівель і споруд ДП "НДІБВ", м. Київ  
Orcid 0000-0003-1768-4579

## ВПЛИВ АГРЕСИВНОГО СЕРЕДОВИЩА НА ІНТЕРВАЛИ ПЕРІОДИЧНОСТІ ОБСТЕЖЕНЬ СПОРУД ДЛЯ ЗБІЛЬШЕННЯ ТЕРМІНІВ ЇХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

**Анотація.** У статті розглядається проблема визначення необхідної періодичності обстежень (часових інтервалів між обстеженнями) для забезпечення життєвого циклу експлуатації конструкцій промислових споруд виробництва аміачних добрив, які зазнають істотного впливу агресивного середовища.

Проаналізовано стан наукових досліджень та будівельних норм з проблеми визначення термінів експлуатації будівель і споруд підданих тривалій дії агресивного середовища та періодичності їх обстеження. Проблемність врахування багатьох взаємопов'язаних і взаємовпливаючих факторів агресивного впливу середовища, особливостей напруженого-деформованого стану та набутих дефектів конструктивних елементів внаслідок тривалої експлуатації зумовлюють складність розробки детерміністичних методик прогнозування термінів експлуатації, інтервалів між обстеженнями, і, відтак, достовірного прогнозування життєвого циклу конструкцій подібного типу.

Розроблено методіку прогнозування періодичності необхідних обстежень стану подібних конструкцій та міжремонтних періодів експлуатації. Розроблена методика базується на узагальненнях, здійснених авторами, на основі виконаного статистичного аналізу матеріалів обстежень несучих залізобетонних конструкцій башти аміачної селітри К.631Г ПрАТ "Азот" (м. Черкаси), проведених 7-а спеціалізованими організаціями на протязі 45-річної її експлуатації (в умовах агресивного впливу) та результатів обстежень конструкції башти, виконаних авторами у 2018-2019 роках.

Статистично обґрунтовано характеристичний інтервал періодичності обстежень (відповідно до 95% забезпечення). Пропонується нові терміни: середній та граничний інтервал періодичності обстежень із кількістю дефектів, відповідно, 50% та 95% , набутих конструктивними елементами.

На основі аналізу, проведеного для розглянутої споруди, із застосуванням розробленого підходу статистично обґрунтовано необхідні інтервали та періодичність обстежень. Розроблену методіку та отримані результати передбачається застосувати для розрахунку періодичності обстежень залізобетонних несучих конструкцій баштового типу підприємств з виробництва мінеральних добрив, та дозволить продовжити життєвий цикл споруд подібного типу в умовах дії агресивного середовища.

**Ключові слова:** споруди хімічних виробництв, агресивний вплив, корозійне руйнування залізобетонних конструкцій, життєвий цикл конструкцій, періоди планових обстежень, башта гранулювання, виробництво аміачної селітри.

### Вступ

На протязі 2018-2019 років авторами виконано обстеження залізобетонних несучих конструкцій башти гранулювання азотних добрив К.631Г цеху М-9 ПрАТ "АЗОТ" з метою розробки проекту відновлення несучих конструкцій та подальшого поновлення промислової експлуатації башти.

Проведено аналіз архівних матеріалів наданих ПрАТ "АЗОТ", з обстежень на протязі 45 років експлуатації у агресивних умовах, виконаних 7-ма спеціалізованими організаціями. Періоди між проведеними обстеженнями становлять башти, починаючи від її вводу в експлуатацію у 1972 році та за основний 45-річний період її експлуатації поступово скорочува-

лися. Основною причиною зниження довговічності будівель і споруд на підприємствах з виробництва мінеральних добрив є наявність агресивних середовищ.

Як виявилось, більшість будівельних матеріалів, які були використані у 70-ті роки 20 століття під час масового будівництва будівель та споруд хімічної промисловості, не здатні достатньо довго протидіяти впливу агресивних речовин, які є продуктами або сировиною технологічних процесів.

Проблема довговічності будівельних конструкцій технологічних споруд хімічних підприємств на даний час є однією з важливих техніко-економічних задач, які пов'язані з поновленням та продовженням їх експлуатаційної придатності.

**Аналіз останніх досліджень**

Після тривалої експлуатації та несвоєчасного виявлення впливу агресивного середовища на будівельні конструкції, цей вплив з часом проявляється у різному ступені корозійного руйнуванні матеріалів несучих конструкцій. Це спричиняє пониження чи втрату несучої здатності самих будівель і споруд, які з часу будівництва за існуючими в Україні та за кордоном нормативними документами [1, 2, 3, 4, 5, 6] практично вичерпали всі свої нормовані терміни експлуатації або наблизилися до них.

Так, за додатком В ДБН В.1.2-2-2006 [1] прийняті наступні приблизні терміни експлуатації будівель і споруд (табл. 1). Наведені терміни призначені тільки для оцінки надійності. Ступені впливу агресивного середовища в нормах [1] не враховані.

За розділом 5.3 ДБН В.1.2-14-2009 [2] визначені терміни експлуатації будівель і споруд. Терміни експлуатації " $T_{ef}$ ", будівель або споруд, які проектуються, а також залишковий термін експлуатації частин існуючих будівель і споруд, які зберігаються при реконструкції, переобладнанні або при капітальному ремонті, визначаються в завданні на проектування.

Якщо виконати вказані техніко-економічні розрахунки неможливо, встановлений термін експлуатації  $T_{ef}$  допускається визначати за даними таблиці 2 у [2]. Наведені терміни, як і у [1] призначені тільки для оцінки надійності.

Встановлений термін експлуатації визначається при проектуванні та узгоджується замовником на підставі техніко-економічних розрахунків з урахуванням умов та режиму експлуатації (при передбаченому технічному обслуговуванні, але без потреби в капітальному ремонті).

**Таблиця 1.** Приблизні терміни експлуатації будівель і споруд за [1]

<i>Найменування будівлі</i>	<i>Терміни експлуатації, роки</i>
<b>Виробничі і допоміжні:</b>	<b>60</b>
Складські	60
<b>Інженерні споруди:</b>	
Резервуари для хімічної промисловості	30
Башти і щогли	40
Димові труби	30

При визначенні встановленого терміну експлуатації слід прогнозувати швидкість змін тих технологічних процесів і виробництв, для організації і обслуговування яких створюється будівельний об'єкт.

На даний час, після тривалої експлуатації, будівлі і споруди потребують постійної уваги для подальшого збереження матеріально-технічної бази хімічного виробництва. Це пов'язано з тим, що в останні десятиріччя будівництво нових споруд різного призначення на промислових хімічних підприємствах України йде дуже повільно, а точніше сказати, практично зупинилося.

В наших умовах роль та значення існуючих будівель і споруд, у складі виробничих фондів, суттєво зростає, але їх технічний стан змінюється.

В цілому ряді старих виробництв, стан будівельних конструкцій будівель і споруд та їхнього інженерного обладнання технологій, залежать від рівня агресивності середовища.

У збереженні огорожуючих та несучих будівельних конструкцій будівель і споруд від корозійних впливів грають велику роль герметичність технологічного обладнання, дотримання в ньому стабільного температурно-вологісного режиму, антикорозійний захист поверхонь технологічного обладнання та самих будівельних конструкцій.

В межах стандарту СА-03-006-06 [7], в якому розроблені методичні вказівки з проведення технічного обслуговування, ремонту, обстеженню, аналізу ознак промислової безпеки виробничих будівель і споруд підприємств, які експлуатують вибухонебезпечні та хімічно небезпечні об'єкти, наведені фактичні данні, які є результатом аналізу та огляду великої кількості іноземних нормативно-технічних документів та джерел, а також нових власних наукових розробок авторів стандарту. В стандарті знайшли своє відображення розділи:

- нормативні терміни експлуатації виробничих будівель і споруд;
- терміни проведення планової експертизи промислової безпеки промислових труб.

В стандарті [7] наведені терміни експлуатації та експертизи промислової безпеки димових і вентиляційних промислових труб з таблицею характеристик основних дефектів і пошкоджень за РД 03-610-03 [8], а також вперше внесені в нормативний документ їх гранично допустимі значення.

У вказівках [8] в табличній формі представлені строки проведення експертизи промислової безпеки промислових труб (табл. 4).

**Таблиця 2.** Орієнтовний термін експлуатації виробничих будівель та інженерних споруд за [2]

<i>Найменування</i>	<i>Орієнтовне значення встановленого терміну експлуатації „<math>T_{ef}</math>”, років</i>	
<b>Будівлі:</b>		
Виробничі та допоміжні	60	
Складські	60	
<b>Інженерні споруди:</b>		
Резервуари для хімічної промисловості	30	
Башти і щогли, в залежності від призначення	20-40	
Димові труби	30	
	Середній 30	

Таблиця 3. Нормативні терміни експлуатації виробничих будівель та споруд за [7]

№ з/п	Характеристика будівлі	Терміни експлуатації, роки		
		Ступінь агресивності середовища		
		Слабке	Середнє	Дуже агресивне
1	Будівлі багатоповерхові (більше 2-х поверхів), за виключенням багатоповерхових будівель типу етажерок спеціального призначення <u>хімічних цехів</u> . Будівлі одноповерхові із залізобетонним та металевим каркасами, із станами з кам'яних матеріалів, крупних блоків та панелей, з площею підлоги більше 5 тис. м <sup>2</sup>	100	80	65
2	Будівлі двоповерхові всіх призначень, крім дерев'яних. Будівлі одноповерхові із залізобетонним та металевим каркасами, із станами з кам'яних матеріалів, крупних блоків та панелей, залізобетонними, металевими та іншими довговічними покриттями, з площею підлоги > 5 тис. м <sup>2</sup>	83 100%	70 84%	55 67%
3	<u>Будівлі багатоповерхові типу етажерок спеціального технологічного призначення хімічних цехів</u> . Будівлі одноповерхові без каркасні із стінами з кам'яних матеріалів, крупних блоків та панелей, із залізобетонними, металевими та цегляними колонами та стовпами, із залізобетонними, металевими, дерев'яними та іншими перекриттями та покриттями	<u>59</u> 100%	<u>50</u> 84%	<u>40</u> 67%
4	Випарні баштові градирні-охолоджувачі: - залізобетонної конструкції; - металевої конструкції з алюмінієвою чи азбестоцементною обшивкою	36 100%	30 84%	24 67%
5	Градирні залізобетонні	30 100%	25 84%	20 67%

Таблиця 4. Терміни проведення експертизи промислової безпеки промислових труб за [8]

Конструкції труб	Строк експлуатації, роки	Строк проведення першої експертизи після пуску труби в експлуатацію, роки	Строк проведення наступних експертиз для труб висотою 60м та більше, роки	Строк проведення наступних експертиз для труб висотою до 60м, роки
Металеві	20-30	1	5	10
Цегляні та армокам'яні	70-100	1	5	10
<u>Залізобетонні</u>	<u>50</u>	1	<u>5</u>	<u>10</u>
З газовідвідним стовбуром чи футерівкою з пластмас	15-20	1	5	10

Таблиця 5. Терміни експлуатації залізобетонних інженерних споруд та періодичність обстежень і ремонтів

Найменування залізобетонних інженерних споруд:	Орієнтовний термін експлуатації „Т <sub>еф</sub> ”, років, [2]	Терміни планових обстежень „Т <sub>б</sub> ”, років, [4]	Періодичність капітального ремонту, років, [9]
Башти в залежності від призначення	20 - 40	3 - 4	від 6 до 60 років, залежно від стану

**Мета та завдання дослідження**

Труднощі у визначенні періодичності капітального ремонту будівельних конструкцій виникають із-за того, що в наш час немає єдиної науково обґрунтованої методики визначення фіксованих та статистично обґрунтованих інтервалів періодів обстежень з врахуванням значного діапазону інтегральних ознак технічного стану, які необхідні для визначення кате-

горій технічного стану [4] споруд та їх елементів [10] за перевірочними розрахунками, після аналізу матеріалів отриманих при черговому обстеженні.

При цьому, терміни служби споруд, з різними конструктивними особливостями та ступенями агресивності технологічного середовища, в нормативній літературі розглядаються як приблизні значення, які практично не залежать від невизначеної

якості догляду за станом споруди у фіксованих умовах експлуатації упродовж її життєвого циклу.

В нормативних документах прийняті приблизні терміни експлуатації споруд (див. табл. 1, 2, 5), які призначені тільки для оцінки їх надійності. Як бачимо, в діючих нормативних документах, немає одноставної думки з цих питань.

При недопустимому зниженні експлуатаційної надійності споруд, яка підпадає за класифікацією [4] у перехідну від 3-ї до 4-ї категорії технічного стану, життєвий цикл споруд у більшості випадків завершується суттєвим їх підсиленням при капітальному ремонті або в процесі реконструкції під нові технології на відповідні до неї навантаження.

**Мета роботи** пов'язана з збереженням матеріально-технічної бази хімічного виробництва.

**Завданням дослідження** стало визначення фіксованих статистично обґрунтованих інтервалів періодичності обстежень споруд за їх станом в умовах їх експлуатації в середовищі з високою агресивністю.

**Результати дослідження**

Згідно норм [2], орієнтовний термін експлуатації споруд баштового типу, залежно від умов їх експлуатації, становить 20-40 років. Для збереження довговічності споруд норми [4], без обґрунтування, пропонують просто скорочувати терміни періодичності обстежень споруд залежно від умов їх експлуатації в середовищі з різною агресивністю.

Для визначення фіксованих статистично обґрунтованих інтервалів періодичності обстежень споруд за їх станом, в умовах їх експлуатації в середовищі з високою агресивністю, нами проведений аналіз матеріалів [11], наданих відділом головного будівельника ПрАТ "АЗОТ".

Ці матеріали охоплюють практично увесь життєвий цикл башти гранулювання аміачної



Рис.1. Вид на стовбур башти з північно-західної сторони

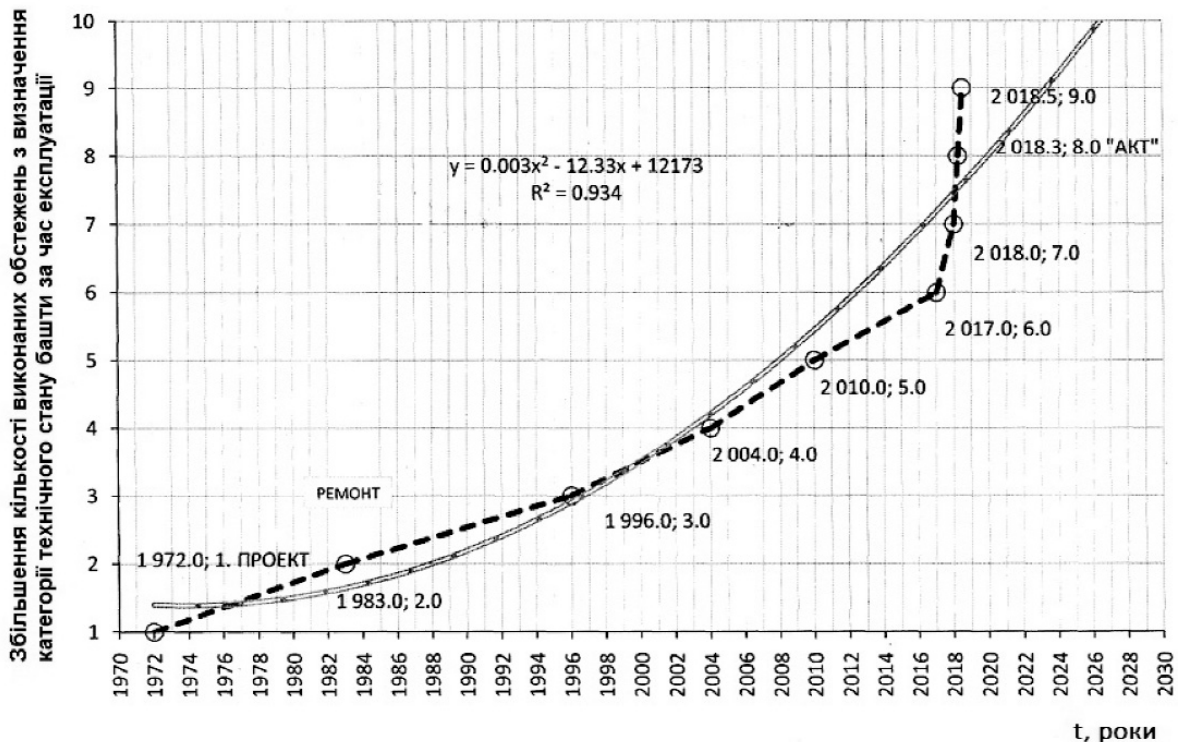


Рис. 2. Графік зміни кількості виконаних обстежень з визначення категорії технічного стану залізобетонного стовбура башти, за 45 річний термін її експлуатації

селітри к.631Г цеху М-9 (рис. 1) і пов'язані з інформацією від робочого проекту залізобетонної циліндричної оболонки стовбура башти до значного обсягу матеріалів її періодичних обстежень, які виконані за тривалий період експлуатації.

Моніторинг залізобетонного стовбура башти проводили на протязі всіх 45 років її основного життєвого циклу, починаючи від вводу башти в експлуатацію у 1972 році до її зупинки на початку 2018 року з паралельним виконанням періодичних обстежень та її реконструкцій.

За життєвий цикл цієї технологічної споруди, в межах загального моніторингу об'єкта, для забезпечення її експлуатаційної безпеки, в обстеженнях її залізобетонного стовбура приймали участь 7 спеціалізованих організацій. Перелік організацій та об'єм виконаного ними аналізу показників технічного стану залізобетонного стовбура башти наведений в роботі [10].

Періоди між проведеними обстеженнями башти, починаючи від її вводу в експлуатацію у 1972 році та за основний 45-річний період її експлуатації, відображені на графіку (рис. 2 [11, 12]).

Побудований графік за фактичними інтервалами між періодами обстежень залізобетонної циліндричної оболонки стовбура башти к.631Г показав, що на протязі 45 річної експлуатації, інтервали між періодами обстежень її стовбура поступово скорочували: 11, 13, 8, 6, 7 років.

З аналізу графіка (рис. 2) видно, що різке погіршення категорії технічного стану башти почалося у 2017 році. Їй почали приділяти більше уваги і це потребувало більш кардинальних дій.

За даними, отриманими від ПрАТ "АЗОТ" для башти к.631Г цеху М-9, спробуємо визначити статистично обґрунтований (з 95% забезпеченням) інтервал періодичності обстеження таких споруд.

Для цього проаналізуємо фактичні інтервали "Q<sub>i</sub>" (в роках) між періодами проведених обстежень. Ці обстеження башти к.631Г були виконані спеціалізованими організаціями, залученими керівництвом ПАТ "АЗОТ", за поданнями відділом головного будівельника, висновків за результатами аналізу періодичних візуальних оглядів технічного стану всієї башти та особливо залізобетонної циліндричної оболонки стовбура башти, яка найбільш підпадає під вплив агресивного середовища.

Інтервали (в роках) між періодично проведеними обстеженнями башти, починаючи від її вводу в експлуатацію у 1972 році та на протязі 45-річного періоду її експлуатації [12]: 1) 1983 рік -11 років; 2) 1996 р.- 13 років; 3) 2004 р. -8 років; 4) 2010 р. -6 років; 5) 2017 р.- 7 років; 6) 30.03.2018 р. - акт зупинки ремонтних робіт - 1 рік; 7) 24.09.2018 р. - 0,5 року. 8) 2018 р. (рис. 3). Тобто, фактичні значення інтервалів періодичності обстежень, в роках: 11, 13, 8, 6, 7.

Логічно припустити, що тривалість інтервалів між періодичними обстеженнями є випадковими величинами, і підкорюються нормальному закону розподілу. Для аналізу, прийняли основний найбільш контрольований 45 річний термін експлуатації башти.

В межах цього терміну шукаємо рівень характеристичного значення тривалості інтервалу періодів обстежень "Q<sub>t</sub>" у відповідності до коефіцієнту варіації мінливості тривалості фактичних інтервалів

"Q<sub>i</sub>" за фіксованою кількістю періодів (n) між обстеженнями.

Цей пошук виконуємо з метою визначення рекомендованого характеристичного значення фіксованого інтервалу періодичності обстежень "Q<sub>t</sub>" для подальшого його використання при організації виконання планових обстежень відповідних споруд.

Характеристичне значення фіксованого інтервалу періодичності обстежень "Q<sub>t</sub>" визначали у наступній послідовності:

Визначили середнє значення "Q<sub>m</sub>" інтервалів періодичності обстежень "Q<sub>t</sub>", за формулою (1):

$$Q_m = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{n} = 9 \text{ років} , \quad (1)$$

де: Q<sub>i</sub> – одиничні фактичні значення інтервалів періодичності обстежень, роки; n – загальна кількість періодів обстежень за контрольований період.

Середнє квадратичне відхилення "S<sub>m</sub>" вираховуємо за формулою (2):

$$S_m = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - Q_m)^2}{n-1}} = 2,92 \text{ роки} . \quad (2)$$

Серед законів розподілу неперервних випадкових величин найбільш розповсюдженим є нормальний закон розподілу. Випадкова величина розподілена по нормальному закону розподілу, якщо її щільність вірогідності має вигляд (3):

$$\varphi(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}} \quad (3)$$

Для розглянутого нами випадку, в формулі (3) слід прийняти:

$$\varphi(x) = \varphi(Q_i); a = Q_m; \sigma = S_m .$$

Щільність вірогідностей одиничних фактичних значень інтервалів періодичності обстежень башти визначена за формулою (3) та наведені в таблиці 6.

Коефіцієнт варіації "V<sub>m</sub>" зафіксованих інтервалів періодичності обстежень, у відсотках, вираховуємо за формулою (4):

$$V_m = \frac{S_m}{R_m} \cdot 100\% = 0,32 \cdot 100\% = 32\% , \quad (4)$$

Нижню границю, 95% гарантованого значення характеристичного інтервалу "Q<sub>t</sub>" періодичності обстежень розраховуємо за формулою (5):

Таблиця 6. Отримані значення щільність вірогідностей

n, к-сть періодів	Q <sub>i</sub> , роки	Q <sub>m</sub> , роки	φ(Q <sub>i</sub> )
1	6	9	0,080617
2	7	9	0,108085
3	8	9	0,128875
4	11	9	0,108085
5	13	9	0,053476

$$Q_r = Q_m \left( 1 - 1,64 \frac{V_m}{100} \right) = 4,22 \text{ роки.} \quad (5)$$

Верхню (попереджувальну) границю, 5% гарантованого, значення граничного інтервалу "Q<sub>u</sub>" періодичності обстежень, який свідчить про перевищення інтервалу між обстеженнями, розраховуємо за формулою (6):

$$Q_u = Q_m \left( 1 + 1,64 \frac{V_m}{100} \right) = 13,72 \text{ роки.} \quad (6)$$

Середню границю, 50% гарантованого, значення середнього інтервалу (Q<sub>m</sub>) періодичності обстежень, який свідчить про середнє перевищення інтервалу між обстеженнями, розраховуємо за формулою (1), Q<sub>m</sub> = 9 років:

Вихідні значення наведені на рис. 2 та рис. 3, а отримані розрахункові значення у табл. 7.

Отриманий характеристичний інтервал "Q<sub>r</sub>" періодів обстеження становить 4,22 роки.

Подібні значення терміни планових обстежень башт, за стандартом [4], залежно від призначення, прийняті 3-4 роки.

Терміни проведення експертизи промислової безпеки залізобетонних промислових труб (див. табл. 4 [6]) – 5 років.

Так як терміни між плановими обстеженнями в процесі експлуатації споруд в більшості випадків є кратними орієнтовним термінам експлуатації споруд (див. табл.: 1-5), то логічно прийняти інтервали періодів планових обстежень – Q<sub>t</sub> = 4 роки на наступний період експлуатації споруд подібного типу.

Ці значення терміну між плановими обстеженнями знаходяться в діапазоні відповідних орієнтовних термінів, які прийняті у нормативних документах [4, 6, 8, 9].

За даними виконаних обстежень, які розглянуті в роботі [11], побудований графік (рис. 4) змін категорій технічного стану залізобетонного стовбура башти за 45 річний період її експлуатації.

Аналіз графіка (рис. 4) показує, що на протязі 45 річної експлуатації башти, періоди між обстеження-

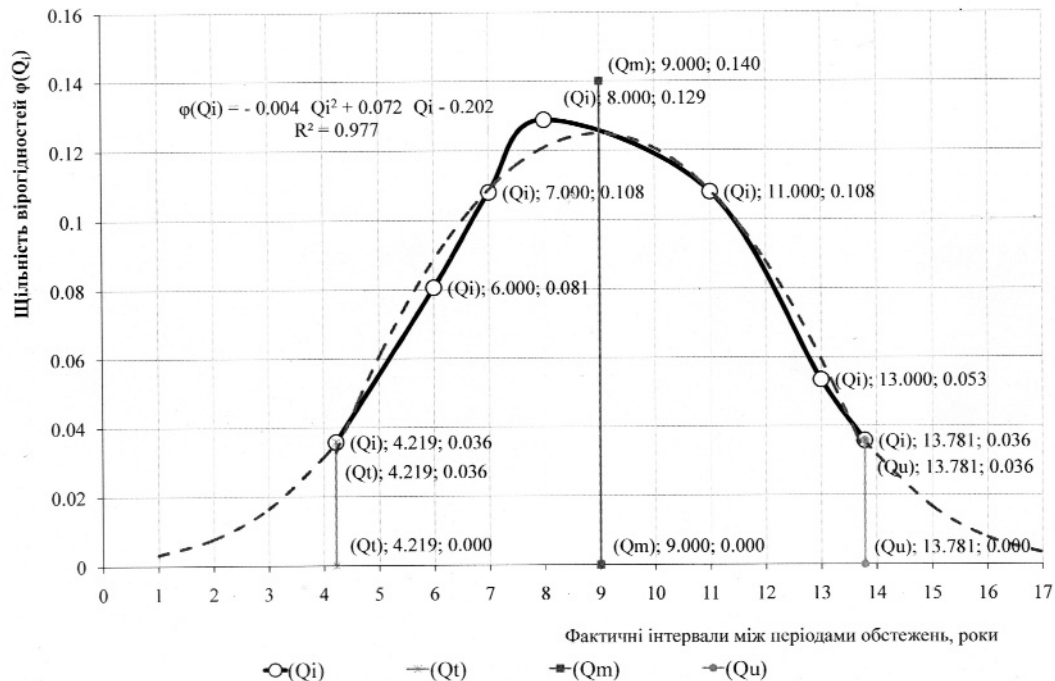


Рис. 3. Значення Q<sub>i</sub>, розподілене за щільністю вірогідностей φ(Q<sub>i</sub>), по нормальному закону розподілу

Таблиця 7. Вихідні та отримані значення

Умовне позначення	Значення	Назва позначення
n=	5	Кількість періодів між обстеженнями
Q <sub>m</sub> =	9	Середній інтервал періодичності обстеження
S=	2,92	Середнє квадратичне відхилення
Q <sub>max</sub> =	13,0	Максимальний інтервал періодичності обстеження
Q <sub>min</sub> =	6,0	Мінімальний інтервал періодичності обстеження
V=	0,32	Коефіцієнт варіації
Q <sub>r</sub> =	4.22≈4	Характеристичний інтервал періодичності обстеження
Q <sub>u</sub> =	13,72≈14	Граничний інтервал періодичності обстеження (попереджувальний, недопустимий)

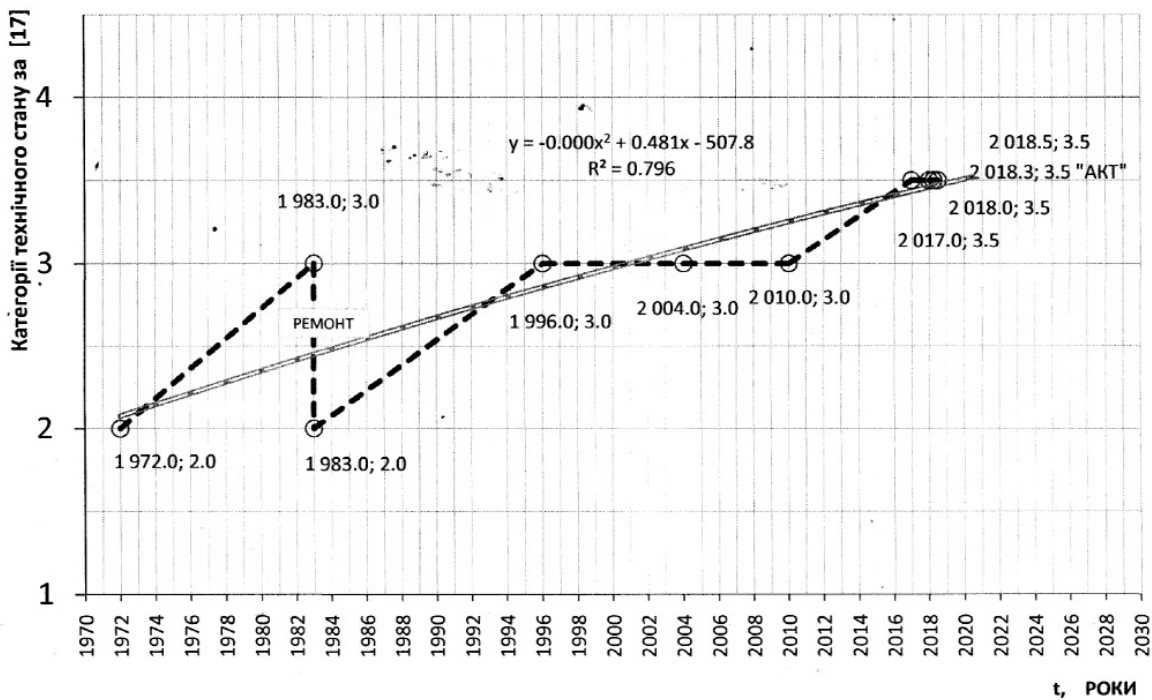


Рис. 4. Зміна категорії технічного стану залізобетонного стовбура башти за основний 45 річний період її експлуатації, за даними виконаних обстежень

ми її залізобетонного стовбура поступово скорочувалися: 11, 13, 8, 6, 7 років, до зупинки її експлуатації на початку 2018 року.

Вже після 11 років експлуатації башти, у 1983 році за матеріалами обстежень [11] було визначено, що частина залізобетонного стовбура башти знаходиться у 3-ї – незадовільній категорії технічного стану, не придатній до нормальної експлуатації. Виконавцями обстеження були розроблені раціональні технічні рішеннями з суттєвого підсилення та реконструкції нижньої частини стовбура башти, виконання яких забезпечило перехід залізобетонного стовбура башти до 2-ї категорії технічного стану.

Спеціалізовані організації, які приймали участь у спостереженнях за змінами показників параметрів стану споруди, з 1983 року, після наступних 13 років її експлуатації, стабільно фіксували 3-ю категорію технічного стану залізобетонного стовбура башти.

Для переходу від не стабільної 3-ї – незадовільної категорії технічного стану стовбура грануляційної башти до 2-ї задовільної не вистачало, окрім ретельних регулярних обстежень технічного стану башти, обґрунтованого технічного рішення з її підсилення та ремонту.

При підвищенні математичної щільності вірогідностей  $\varphi(Q_i)$ , відповідно від значення  $Q_i=4$ , роки, до значення  $Q_m=9$  років, рівень дефектності буде поступово зростати (рис. 3) до "незадовільного стану" споруди, який непридатний до нормальної експлуатації (категорія технічного стану конструкцій – "3").

При пониженні математичної щільності вірогідностей  $\varphi(Q_i)$  відповідно від значення  $Q_m=9$  років, до значення  $Q_u=14$  років, рівень дефектності буде різко зростати (рис. 3) до "граничного стану" споруди, який характеризується наявністю аварійних конструкцій (категорія технічного стану конструкцій - "4").

**Висновки**

1. Визначені: характеристичний " $Q_t$ " (з гаран-

тією 95%), середній " $Q_m$ " (з гарантією 50%) і граничний " $Q_u$ " (з гарантією 5%) – фіксовані інтервали періодичності обстежень за фактично відомими з практики термінами " $Q_i$ " періодичності обстежень технічного стану залізобетонної циліндричної оболонки стовбура башти.

2. Нижня границя ( $Q_t=4$  роки) – характеристичний інтервал періодичності обстежень характеризується наявністю малозначних дефектів і пошкоджень, що відповідає задовільному стану конструкцій (категорія технічного стану – "2"). Кількість дефектів, від попереднього характеристичного інтервалу періоду обстеження, не перевищує 5%. Слід врахувати фактичні властивості матеріалів, у нашому випадку бетону. За перевірочними розрахунками повинні задовольнятися вимоги діючих норм, які відносяться до граничного стану першої групи.

Вимоги норм по граничному стану другої групи можуть бути порушені, але забезпечують нормальний стан експлуатації (необхідний періодичний огляд для встановлення термінів ( $Q_t=4$  роки) і об'ємів ремонтних робіт, улаштування чи поновлення антикорозійного захисту).

3. Середня границя ( $Q_m=9$  років) – середній інтервал періодичності обстежень характеризується наявністю значних дефектів і пошкоджень, що відповідає стану конструкцій, який непридатний до нормальної експлуатації (категорія технічного стану - "3"). Кількість дефектів, від попереднього характеристичного інтервалу періоду обстеження до середнього інтервалу періоду обстеження, наближається до 50%. Порушуються вимоги діючих норм [9] по граничних станах першої та другої груп, але відсутня небезпека руйнування і безпека працюючих (є потреба у зниженні експлуатаційних навантажень, підсиленні, поновленні експлуатаційних властивостей конструкцій та заміні антикорозійного захисту). До завершення заходів з відновлення експлуатаційної

придатності (або до виведення з експлуатації) об'єкт повинен використовуватися з обмеженим режимом експлуатації).

4. Максимальна границя ( $Q_u = 14$  років) граничний інтервал періодичності обстежень характеризується наявністю аварійних конструкцій, що відповідає категорії технічного стану – "4". Кількість дефектів, від попереднього середнього інтервалу періоду обстеження до граничного інтервалу періоду обстеження, наближається до 95%.

Аварійний стан конструкцій характеризується наявністю в них критичних дефектів і пошкоджень, які роблять небезпечним перебування людей в районі конструкцій що підлягають обстеженню. Існують пошкодження: від корозії, інших видів фізичного зношення, які призводять до необхідності обмеження експлуатації об'єкта, зменшують його довговічність у порівнянні з встановленими нормативними термінами експлуатації або призводять до завершення експлуатації об'єкта. Експлуатація об'єкта може бути зупинена до відновлення його ек-

сплуатаційної придатності або ліквідації. Перехід через граничний стан відповідає одному з видів відмови.

5. Виходячи з запропонованого нами підходу, можна розглядати отримані інтервали періодичності обстежень, для контролю категорії технічного стану споруд даного типу, за принципом забезпечення необхідного рівня надійності споруди на даному інтервалі періодичності обстежень та впродовж всього терміну "Те" її експлуатації.

6. Рівень категорії технічного стану споруди та її складових елементів слід визначати після завершення чергового інтервалу періодичності обстеженнями та аналізу отриманих та оброблених необхідних ознак категорій технічного стану для виконання перевірок розрахунків конструкцій у яких виявлені найгірші ознаки для забезпечення їх надійності.

Рівень дефектності конструкцій споруди для планових обстежень слід визначати з врахуванням фактичних умов їх експлуатації та "класу відповідальності" самої споруди.

#### Література

1. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи: ДБН В.1.2:2-2006. - Київ.: Мінбуд України, 2006. - (Будівельні норми України).
2. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд: ДБН В.1.2-14:2018. - Київ.: Мінбуд України, 2018. - (Будівельні норми України).
3. Ремонт і підсилення несучих і озгороджувальних будівельних конструкцій і основ промислових будинків та споруд: ДБН В.3.1-1-2002. - Київ.: Мінбуд України, 2003. - (Будівельні норми України).
4. Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінки їх технічного стану: ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016. - Київ: ДП "УкрНДНЦ", 2017. - (Стандарт України).
5. Методические рекомендации по обследованию некоторых частей зданий (сооружений) и их конструкций. - М.: Гострой, 1997.
6. Методические указания по обследованию строительных конструкций производственных зданий и сооружений тепловых электростанций. Часть 1. Железобетонные и бетонные конструкции: РД 153-34.1-21.326-2001. - М., СПО ОРГРЭС, 2001. - (Стандарт Росії).
7. Методические указания по проведению технического обслуживания, ремонта, обследования, анализа промышленной безопасности производственных зданий и сооружений предприятий, эксплуатирующих взрывопожароопасные и химически опасные объекты: СА-03-006-06. М., 2008. - (Стандарт Росії).
8. Методические указания по обследованию дымовых и вентиляционных промышленных труб: РД 03-610-03. - М.: ОАО НТЦ "Промышленная безопасность", 2008. - (Стандарт Росії).
9. Правила обстежень, оцінки технічного стану та паспортизації виробничих будівель і споруд: НПАОП 45.2-1.01-98. - Київ.; Держнаглядохоронпраці України, 1998. - (Стандарт України).
10. Гладишев Д.Г., Гладишев Г.М. Дослідження технічного стану будівель, споруд та їх елементів: монографія. - Львів. Видавництво Львівської політехніки, 2012.
11. Розробка проектної документації щодо ремонту (підсиленню) та хімізахисту залізобетонного стовбура бапти гранулювання аміачної селітри к.631Г цеху М-9 виробництва аміачної селітри ПАТ "АЗОТ" в м. Черкаси, том №1 "Аналіз матеріалів обстежень за період експлуатації бапти к.631Г та додаткове обстеження для розробки робочого проекту на її підсилення, ремонт та хімізахист": звіт про НДР / ТзОВ "Науково-проектна фірма "Реконстрпроект"; кер. Гладишев Г.М. - Львів.; 2018. - 285 с. - Інв. №509-413-07.08.18-ОБ.
12. Григоровський П.Є., Гладишев Г.М., Гладишев Д.Г., Гладишев Р.Д. Вдосконалення методики проведення геодезичного моніторингу при капітальному ремонті баптової промислової споруди / науково-технічний журнал "Нові технології в будівництві", №36/2019. - Київ: НДІБВ, 2019. С. 32 - 38.

#### References

1. Systema zabezpechennia nadiinosti ta bezpeky budivelnnykh ob'iektiv. Navantazhennia i vplyvy [System for ensuring the reliability and safety of construction sites. Loads and effects]. (2006). DBN V.1.2:2-2006. Kiev: Building norms of Ukraine [in Ukraine].
2. Systema zabezpechennia nadiinosti ta bezpeky budivelnnykh ob'iektiv. Zahalni pryntsypy zabezpechennia nadiinosti ta konstruktyvnoi bezpeky budivel i sporud [System ensure the reliability and safety of construction projects. General principles of



- reliability and constructive safety of buildings and constructions]. (2018). DBN V.1.2-14-2018. Kiev: Building norms of Ukraine [in Ukraine].
3. Remont i pidsylennia nesuchykh i ohorodzhuvalnykh budivelnnykh konstruksii i osnov promyslovykh budynkiv ta sporud [- Repair and reinforcement of load-bearing and enclosing building structures and foundations of industrial buildings and structures]. (2002). DBN V.3.1-1-2002. Kiev: Building norms of Ukraine [in Ukraine].
4. Nastanova shchodo obstezhennia budivel i sporud dlia vyznachennia ta otsinky yikh tekhnichnoho stanu [Guidelines for inspection of buildings and structures to determine and evaluate their technical condition]. (2017). DSTU-N B V.1.2-18:2016. Kiev: Standard of Ukraine. [in Ukraine].
5. Metodicheskie rekomendatsii po obsledovaniyu nekotorykh chastey zdaniy (sooruzheniy) i ih konstruksiy [Guidelines for the examination of certain parts of buildings (structures) and their structures]. (1997). [in Russian].
6. Metodicheskie ukazaniya po obsledovaniyu stroitelnykh konstruksiy proizvodstvennykh zdaniy i sooruzheniy teplovykh elektrostantsiy. Chast 1. Zhelezobetonnyie i betonnyie konstruksii [Guidelines for the inspection of building structures of industrial buildings and structures of thermal power plants. Part 1. Reinforced concrete and concrete structures]. (2001). RD 153-34.1-21.326-2001. Moscow: Standard of Russian. [in Russian].
7. Metodicheskie ukazaniya po provedeniyu tehnicheskogo obsluzhivaniya, remonta, obsledovaniya, analiza promyshlennoy bezopasnosti proizvodstvennykh zdaniy i sooruzheniy predpriyatiy, ekspluatiruyuschih vzyivopozharoopasnyie i himicheski opasnyie ob'ekty [Guidelines for the maintenance, repair, inspection, analysis of industrial safety of industrial buildings and structures of enterprises operating explosion and fire hazardous and chemically hazardous facilities]. (2008). SA-03-006-06. Moscow: Standard of Russian. [in Russian].
8. Metodicheskie ukazaniya po obsledovaniyu dyimovykh i ventilyatsionnykh promyshlennykh trub [Guidelines for the inspection of chimneys and ventilation industrial pipes]. (2008). RD 03-610-03. Moscow: Standard of Russian. [in Russian].
9. Pravyla obstezhen, otsinky tekhnichnoho stanu ta pasportyzatsii vyrobnychyykh budivel i sporud [Rules of inspections, assessment of technical condition and certification of industrial buildings and structures]. (1998). NPAOP 45.2-1.01-98. Kiev: Standard of Ukraine. [in Ukraine].
10. D.H. Hladyshch, H.M. Hladyshch (2012). Doslidzhennia tekhnichnoho stanu budivel, sporud ta yikh elementiv [Research of technical condition of buildings, constructions and their elements]. [in Ukraine].
11. Hladyshch, H.M. (2018). Rozrobka proektnoi dokumentatsii shchodo remontu (pidsylenniu) ta khimzakhystu zalizobetonnoho stobura bashty hranulivannia amiachnoi selitry k.631 G tsekhu M-9 vyrobnytstva amiachnoi selitry PAT "AZOT" v m. Cherkasy, tom №1 "Analiz materialiv obstezhen za period ekspluatatsii bashty k.631G ta dodatkovye obstezhennia dlia rozrobky robochoho proektu na yii pidsylennia, remont ta khimzakhyst" (№509-413-07.08.18-ОБ). Lviv: LLC "Project scientific and design firm "Rekonstrproekt". [in Ukraine].
12. Grygorovskiy P.Ye., Hladyshch H.M., Hladyshch D.H., Hladyshch R.D. (2019). Vdoskonalennia metodyky provedennia heodezychnoho monitorynhu pry kapitalnomu remonti bashtovoi promyslovoi sporudy [Improving the method of geodetic monitoring during overhaul of industrial tower construction]. Scientific and technical journal "New technologies in construction", 36/2019. 32 - 38. [in Ukraine]

**Г.М. Гладышев** к.т.н., доцент кафедры "Строительные конструкции и мосты" Национального университета "Львовская политехника", г. Львов

**Д.Г. Гладышев** к.т.н., доцент кафедры "Архитектурное проектирование и инженерия" Национального университета "Львовская политехника", г. Львов

**И.З. Бутринский** к.т.н., доцент кафедры "Сопrotивления материалов и строительной механики" Национального университета "Львовская политехника", г. Львов

**Н.П. Чуканова** заведующая отделом обследования, комплексной диагностики и экспериментального проектирования зданий и сооружений ГП "НИИСП", г. Киев  
Orcid 0000-0003-1768-4579

## ВОЗДЕЙСТВИЕ АГРЕССИВНЫХ СРЕД НА ИНТЕРВАЛЫ ПЕРИОДИЧНОСТИ ОБСЛЕДОВАНИЙ СООРУЖЕНИЙ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ СРОКА ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

**Аннотация.** В статье рассматривается проблема определения необходимой периодичности обследований (временных интервалов между обследованиями) для обеспечения жизненного цикла эксплуатации конструкций промышленных сооружений производства аммиачных удобрений, которые испытывают существенного влияния агрессивной среды.

Проанализировано состояние научных исследований и строительных норм по проблеме определения сроков эксплуатации зданий и сооружений при длительном воздействии агрессивной среды и периодичности их обследования. Проблемность учета многих взаимосвязанных и взаимовлияющие факторов агрессивного воздействия среды, особенностей напряженного деформированного состояния и приобретенных дефектов конструктивных элементов вследствие длительной эксплуатации обуславливают сложность разработки детерминированных методик прогнозирования сроков эксплуатации, интервалов между обследованиями, и, следовательно, достоверного прогнозирования жизненного цикла конструкций подобного типа.

Разработана методика прогнозирования периодичности необходимых обследований состояния подобных конструкций и межремонтных периодов эксплуатации. Разработанная методика базирующаяся на обобщениях, совершенных авторами на основе выполненного статистического анализа материалов обследований несущих железобетонных конструкций башни аммиачной

селитры К.631Г ЧАО "Азот" (г. Черкассы), проведенных семью специализированными организациями на протяжении 45-летней ее эксплуатации (в условиях агрессивного воздействия) и результатов обследований конструкции башни, выполненных авторами в 2018-2019 годах. Статистически обоснован характеристический интервал периодичности обследований (соответственно до 95% обеспечения). Предлагаются новые термины: средний и предельный интервал периодичности обследований с количеством дефектов, соответственно, 50% и 95%, приобретенных конструктивными элементами.

На основе анализа, проведенного для рассматриваемого сооружения с применением разработанного подхода статистически обоснованы необходимые интервалы и периодичность обследований. Разработанная методика и полученные результаты предполагается применить для расчета периодичности обследований железобетонных несущих конструкций башенного типа предприятий по производству минеральных удобрений, и позволит продлить жизненный цикл сооружений подобного типа в условиях воздействия агрессивной среды.

**Ключевые слова:** сооружения химических производств, влияние, коррозионное разрушение железобетонных конструкций, жизненный цикл конструкций, периоды плановых обследований, башня гранулирования, производство аммиачной селитры.

**Н.М. Hladyshev** Ph.D., Associate Professor of the Department of Building Structures and Bridges of Lviv Polytechnic National University, Lviv

**Д.Н. Hladyshev** Ph.D., Associate Professor of the Department of Architectural Design and Engineering of Lviv Polytechnic National University, Lviv

**І.З. Butrynskyi** Ph.D., Associate Professor of the Department of Strength of Materials and Structural Mechanics of Lviv Polytechnic National University, Lviv

**Н.Р. Chukanova** Head of the Department of Inspection, Complex Diagnostics and Experimental Design of Buildings and Structures of the State Enterprise "NDIBV", Kyiv  
Orcid 0000-0003-1768-4579

#### THE INFLUENCE OF THE AGGRESSIVE ENVIRONMENT ON THE TIME INTERVALS OF THE STRUCTURAL SURVEY AND THE TIME OF THEIR OPERATION

**Annotation.** The article considers the problem of determining the required periodicity of surveys (intervals between surveys) to ensure the life cycle of the structures of the ammonia fertilizers production industrial facilities, which are significantly affected by the aggressive environment.

The analysis of scientific researches and building norms on a problem of definition of terms of operation of buildings and constructions exposed to long action of the aggressive environment and periodicity of their survey are considered. Difficulties of consideration of many interconnected and mutually influencing factors of aggressive influence of the environment, specific features of a stress-strain state and the acquired defects of structural elements subjected to long operation cause complexity of development of deterministic methods of forecasting of terms of operation, periods between surveys, and, therefore, reliable prediction of the life cycle of structures of this type.

A technique for predicting the periodicity of the necessary surveys of the condition of such structures and operation periods has been developed. The developed technique is based on generalizations made by the authors on the basis of the performed statistical analysis of: a) materials of surveys of bearing reinforced concrete structure of the ammonium nitrate tower K.631G PJSC "Azot" (Cherkasy), conducted by 7 specialized organizations during its 45-year operation (in aggressive influence conditions); b) the results of surveys of that tower performed by the authors in 2018-2019.

The characteristic interval of periodicity of surveys (according to 95% reliability) is statistically substantiated. Based on the analysis, new definitions are proposed: the average and limit intervals of survey with the number of defects, respectively, 50% and 95%, acquired by structural elements.

On the basis of the analysis carried out for the considered construction with application of the developed approach, the necessary intervals of surveys are statistically substantiated. The developed methodology and the obtained results are expected to be used to calculate the statistically substantiated surveys interval of reinforced concrete bearing tower-type structures of mineral fertilizers production enterprises and will extend the life cycle of structures of this type in aggressive environments.

**Key words:** chemical production facilities, aggressive impact, corrosion destruction of reinforced concrete structures, life cycle of structures, periods of scheduled surveys, granulation tower, production of ammonium nitrate.