ISSN 1996-8159

ПБіС

3'2019

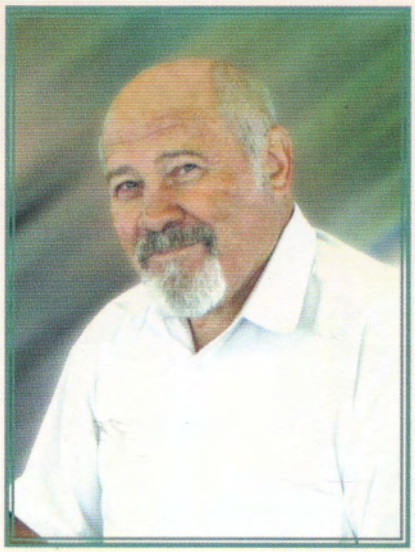
ПРОМИСЛОВЕ БУДІВНИЦТВО ТА ІНЖЕНЕРНІ СПОРУДИ



Вітаємо із 80-річчям

ЧКАЛІНА ВАСИЛЯ ФЕДОРОВИЧА

знаного фахівця у галузі металобудівництва, колишнього віце-президента Державної корпорації «Укрмонтажспецбуд»



Чкалін В.Ф. закінчив Миколаївський кораблебудівельний інститут імені адмірала С.О. Макарова за фахом інженер-механік.

За 52 роки своєї трудової діяльності, обіймаючи інженерні та керівні посади на Миколаївському заводі металевих конструкцій, в республікансько-промисловому об'єднанні «Укрстальконструкція», Державній корпорації «Укрмонтажспецбуд», Василь Федорович проявив себе як висококласний інженер та організатор виробництва.

Його творча і виробнича діяльність завжди були спрямовані на вирішення складних технічних і виробничих проблем у галузі вітчизняного металобудівництва, в т.ч. на створення виробництва комплексних будівель з легких металевих конструкцій на базі вітчизняного та імпортного устаткування, виготовлення різноманітних типів металевих резервуарів, включаючи ізотермічні, удосконалення технології виготовлення металевих конструкцій з високолегованих сталей.

За його керівництва і безпосередньої участі здійснювались будівництво та реконструкція важливих об'єктів у м. Києві та інших містах України, зокрема: спорудження Банкнотної фабрики, виробничих корпусів фармацевтичної фірми «Дарниця», реконструкція Палацу «Україна», Національної філармонії України, приміщень Головної податкової адміністрації, Посольства Російської Федерації, готелю «Театральний», реконструкція майдану Незалежності, в т.ч. будівництво колони монументу Незалежності, містка через вул. Інститутську, будівництво станції «Караваєві дачі» і реконструкція залізничного вокзалу «Південний», Міжнародного виставкового центру, ангара АНТК ім. Антонова, торговельно-розважального центру на Оболонському проспекті, укріплення 4-го енергоблока і сховища відходів ядерного палива Чорнобильської АЕС, реконструкція Алчевського меткомбінату, в т.ч. будівництво комплексу машин неперервного розливу сталі та кисневоконверторного цеху; будівництво резервуара об'ємом 75,0 тис. м^3 для лінійної виробничо-диспетчерської станції «Броди», резервуарного парку Надвірнянського нафтопереробного заводу та багато інших.

За значні досягнення у розбудові вітчизняного металобудівництва та високий професіоналізм Чкалін В.Ф. відзначений багатьма державними нагородами.

Наразі Василь Федорович активно займається громадською діяльністю, очолюючи галузеве відділення Академії будівництва України із будівництва нафтогазопроводів, баз та сховищ (терміналів).

Василь Федорович має бездоганну ділову репутацію і користується незаперечним авторитетом і повагою серед будівельної спільноти.

Щиро зичимо Василю Федоровичу міцного здоров'я, та творчої наснаги у його діяльності.

ЗАСНОВНИКИ

ДЕРЖАВНА КОРПОРАЦІЯ
«УКРМОНТАЖСПЕЦБУД»

ТОВ «УКРАЇНСЬКИЙ ІНСТИТУТ
СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ
ім. В.М. ШИМАНОВСЬКОГО»

Свідоцтво про державну реєстрацію
КВ № 17750-6600 ПР від 07.04.2011 р.

ГОЛОВНИЙ РЕДАКТОР
Адріанов В.П.
ВІДПОВІДАЛЬНИЙ СЕКРЕТАР
Лукашевич Т.І.

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Абрашкевич Ю.Д., д.т.н., проф.
Беркута А.В., к.е.н.
Гайдайчук В.В., д.т.н., проф.
Голоднов О.І., д.т.н., проф.
Гончаренко Д.Ф., д.т.н., проф.
Гордеєв В.М., д.т.н., проф.
Гуляєв В.І., д.т.н., проф.
Єгоров Є.А., д.т.н., проф.
Кваша В.Г., д.т.н., проф.
Корольов В.П., д.т.н., проф.
Лантух-Лященко А.І., д.т.н., проф.
Лобанов Л.М., академік НАНУ, д.т.н., проф.
Оглобля О.І., д.т.н., проф.
Пасечнюк В.Л.
Пічугін С.Ф., д.т.н., проф.
Стоянов В.В., д.т.н., проф.
Харченко В.В., академік НАНУ, д.т.н., проф.
Шимановський О.В., член-кор. НАНУ, д.т.н., проф.

МІЖНАРОДНА РЕДАКЦІЙНА РАДА
на 2019 — 2020 роки

Абель Д., д.т.н., проф. (США)
Агощ З., д.т.н., проф. (Словаччина)
Бєлоєв М., к.т.н. (Болгарія)
Вєдяков І.І., д.т.н., проф. (Росія)
Грінченко В.Т., академік НАНУ, д.т.н., проф. (Україна)
Зюлко Є., д.т.н., проф. (Польща)
Каравайченко М.Г., д.т.н., проф. (Росія)
Като Ш., д.т.н., проф. (Японія)
Кульбах В., академік НАНЕ, д.т.н., проф. (Естонія)
Лан Т., д.т.н., проф. (Китай)
Назаров Ю.П., д.т.н., проф. (Росія)
Новак А., д.т.н., проф. (США)
Розерт Х., д.т.н., проф. (Німеччина)
Сидорович Є.М., д.т.н., проф. (Білорусь)
Спарлінг Б., д.т.н., проф. (Канада)
Трощенко В.Т., академік НАНУ, д.т.н., проф. (Україна)
Тулєбаєв К.Р., д.т.н. (Казахстан)
Янковяк Р., д.т.н., проф. (Польща)

НАУКОВО–ВИРОБНИЧИЙ ЖУРНАЛ

ПБіС
3'2019

ПРОМИСЛОВЕ БУДІВНИЦТВО ТА ІНЖЕНЕРНІ СПОРУДИ

Виходить 4 рази на рік

Заснований у листопаді 2007 року

ЗМІСТ

БЕЗПЕКА БУДІВЕЛЬ

О.В. Шимановський, В.В. Шалінський
ОСОБЛИВОСТІ ПРОВЕДЕННЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ РОБІТ ЗА МОЖЛИВИХ ТЕРОРИСТИЧНИХ АКТІВ НА ПОЗАКЛАСНИХ МОСТАХ 2

НАУКА – ВИРОБНИЦТВУ

А.И. Лантух-Лященко
ВЕРОЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА РЕСУРСА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ 13

В.П. Корольов, О.А. Риженков, П.В. Корольов
ОСОБЛИВОСТІ РЕГУЛЮВАННЯ ПРОТИКОРОЗІЙНОГО ЗАХИСТУ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ ПРОМИСЛОВИХ ОБ'ЄКТІВ 18

Т.І. Матченко
ВИЗНАЧЕННЯ ВТРАТ ПРИ ПЕРЕДАЧІ ЗУСИЛЬ З ДОМКРАТА НА АНКЕР В АРМАТУРНИХ КАНАТАХ ЗАХИСНОЇ ОБОЛОНКИ 25

І.О. Менейлюк
ВПЛИВ РИЗИКІВ НА ТРИВАЛІСТЬ ТА ВАРТІСТЬ БУДІВНИЦТВА ТОРГОВЕЛЬНО-РОЗВАЖАЛЬНОГО ЦЕНТРУ 31

Ю.Д. Абрашкевич, Г.М. Мачишин, О.А. Марченко
НАВАНТАЖЕННЯ ПРИ РІЗАННІ АБРАЗИВНИМ АРМОВАНИМ КРУГОМ 36

ПРОСТОРОВІ КОНСТРУКЦІЇ

Е.И. Гезенцвей, Е.С. Иосилевич, В.И. Переверзев
ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО АСПИРАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ ЛИТЕЙНОГО ДВОРА И БУНКЕРНОЙ ЭСТАКАДЫ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ № 3 НА ЧАО «МК «АЗОВСТАЛЬ». 41

БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ

І.І. Ніконець, І.М. Мартинюк, Є.М. Шматов, О.М. Стадійчук
ЕЛЕКТРОННО-МІКРОСКОПІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ГІДРАТАЦІЇ C_2S, C_3S 46

Згідно з наказом МОН України від 13.03.2017 р. № 374 журнал включено до Переліку наукових фахових видань України з технічних наук

Київ • 2019

© Промислове будівництво та інженерні споруди, 2019

ОСОБЛИВОСТІ ПРОВЕДЕННЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ РОБІТ ЗА МОЖЛИВИХ ТЕРОРИСТИЧНИХ АКТІВ НА ПОЗАКЛАСНИХ МОСТАХ



О.В. Шимановський
генеральний директор
ТОВ «Укрінсталькон
ім. В.М. Шимановського»,
член-кореспондент НАН України,
заслужений діяч науки і техніки
України, д.т.н., професор



В.В. Шалінський
завідувач відділу
мостів та спеціальних споруд
ТОВ «Укрінсталькон
ім. В.М. Шимановського», к.т.н.,
старший науковий співробітник

Наразі в Україні у зв'язку з воєнними діями на сході країни існує високий рівень потенційної терористичної загрози не лише у цих регіонах, але й в інших областях країни. Через це Службою безпеки України відповідно до Постанови Кабінету Міністрів України № 92 від 18.02.2016 р. «Про затвердження Положення про єдину державну систему запобігання, реагування і припинення терористичних актів та мінімізації їх наслідків» визначено чотири рівня терористичної загрози для регіонів України, а саме:

- «червоний» найвищий рівень, що означає реальну загрозу й призначається у разі вчинення терористичного акту, – це Донецька і Луганська області та анексована Росією Автономна Республіка Крим;
- «жовтий» рівень свідчить про ймовірну загрозу й встановлюється за наявності підтвердженої інформації про підготовку до вчинення терористичного акту. Його набули Запорізька, Миколаївська, Одеська, Сумська, Харківська, Херсонська і Чернігівська області;
- «синій» рівень вказує на потенційну загрозу й призначається за наявності інформації, що потребує підтвердження про підготовку до вчинення терористичного акту. Його отримали Дніпропетровська, Закарпатська, Рівненська, Хмельницька, Черкаська, Чернівецька, Київська області та м. Київ;
- «сірий» рівень означає можливу загрозу й встановлюється за наявності факторів (умов), що сприяють вчиненню терористичного акту. Цей рівень надано Вінницькій, Волинській, Житомирській, Івано-Франківській, Кіровоградській, Львівській, Полтавській і Тернопільській областям.

Цілком зрозуміло, що вірогідність терористичної загрози в першу чергу безпосередньо стосується об'єктів, які мають стратегічне значення, зокрема позакласних мостів, належне функціонування яких безсумнівно є запорукою стабільного транспортного сполучення у державі. У цьому сенсі нагадаємо, що безпеці мостів в Україні приділялась підвищена увага за часів СРСР під час холодної війни, складовою якої було прогнозування варіантів можливого руйнування стратегічно важливих мостових споруд й методів їх якнайшвидшого відновлення. Останнім часом ця проблема в Україні знову набула актуальності, а чинні нормативні документи [1, 2] не передбачають проведення подібних робіт, тому розглянемо вірогідні варіанти руйнування при терористичних нападах деяких позакласних мостів і методи їх якнайшвидшого відновлення.

Прогнозовані наслідки терористичних актів і методи їх усунення. Вбачається беззаперечним, що основним і найбільш прийнятним методом всебічного уникнення руйнівного впливу вибухової хвилі на будівлі та інженерні споруди є запобігання проведенню терористичного акту як такого. Оцінка таких загроз та вжиті заходи безпеки задля зниження відповідних ризиків детально висвітлені у статтях [3, 4]. У разі ймовірного скоєння терористичного нападу з метою мінімізації його наслідків необхідно завчасно розглянути не тільки потенційні сценарії руйнування об'єкта, а й методи його якнайшвидшого відновлення. І тому нижче наведені уявні варіанти руйнування конструкцій мостів внаслідок теракту та проектні рішення необхідних відновлювальних робіт на прикладі двох позакласних мостів у м. Києві через р. Дніпро: моста ім. Є.О. Патона та автодорожньої частини Дарницького залізнично-автомобільного мостового переходу.

 © Шимановський О.В., Шалінський В.В.

Міст ім. Є.О. Патона через р. Дніпро – побудований у 1953 році. Перший у світі суцільнозварний міст балкової конструкції завдовжки 1543,0 м (рис. 1, а). Ширина проїжджої частини між бордюрами складає 21,0 м, а тротуарів для пішоходів – 3,0 м. Міст був запроектований за нормами 1948 р. і розрахований на чотири колони автотранспорту завширшки 3,375 м кожна (без урахування смуг безпеки) і дві смуги трамвайного руху (наразі трамвайні колії демонтовані) загальною шириною трамвайного полотна 7,5 м (рис. 1, б).

Міст має прогони: у пойменній частині – 58,0 м, у судноплавній – 87,0 м і біля берегів – 17,1 м. Прогонові будови моста прийняті суцільнозварними, балковими, нерозрізними і складаються з чотирьох головних балок, об'єднаних у поперечних перерізах в'язями з кутиків. Розбивка на нерозрізні прогонові будови прийнята наступна: (4×58) + (4×58) + (58 + 4×87 + 58) + + (5×58) + (5×58) = 1508 м.

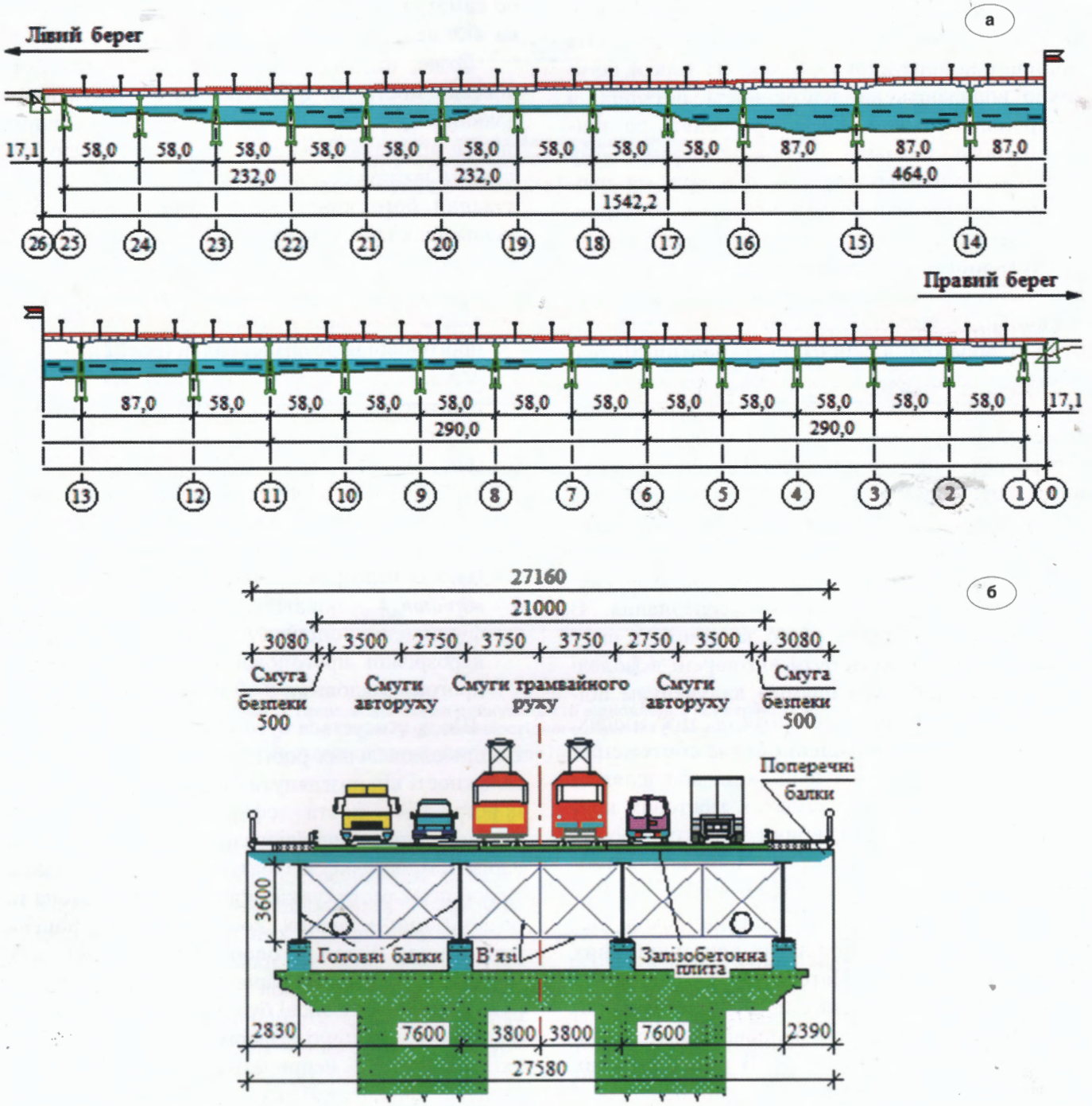


Рис. 1. Поздовжній (а) і поперечний (б) розрізи моста ім. Є.О. Патона

Головні балки мають стінку заввишки 3600 мм (яка на опорах судноплавних прогонів збільшується прямолінійними вутами до 6100 мм) і виготовлені з вуглецевої сталі М16С, що за своїми характеристиками відповідає сталі ВСт3сп. Поперечні й поздовжні в'язі прийнято у вигляді наскрізних ферм із елементів кутикових профілів.

Вірогідні варіанти терористичних актів на мосту ім. Є.О. Патона та методи усунення їх наслідків. Передусім вкажемо на те, що під час останніх спеціальних обстежень моста ім. Є.О. Патона було виявлено низку дефектів мостових конструкцій [5–8], які не тільки негативно впливають на довговічність останніх, а в окремих випадках навіть призводять до зниження його загальної несної здатності. Тому з метою оцінки впливу цих факторів на напружено-деформований стан мостових конструкцій, а також задля відпрацювання конструктивних та технологічних рекомендацій з усунення наслідків терористичних актів були проведені відповідні дослідження. Для цього наявні дефекти були відображені в скінченно-елементній моделі мостових конструкцій, створеній шляхом вибору всіх вихідних даних із робочих креслень при здійсненні першочергових міцнісних і динамічних розрахунків моста ім. Є.О. Патона з проектними значеннями геометричних параметрів. Однак, внаслідок значної кількості встановлених дефектів, перед їх введенням у скінченно-елементну модель моста була виконана їхня систематизація та певне типове усереднення. В результаті було прийнято, що залежно від виду дефектів вони можуть бути відтворені в моделі двома способами: або прямим вилученням відповідних скінченних елементів у тих місцях, в яких розташовані помічені під час обстеження наскрізні діри, отвори й щілини, або шляхом коригування товщини елементів мостових конструкцій залежно від глибини їхнього корозійного пошкодження зі збереженням інших геометричних і жорсткісних параметрів.

Чисельні дослідження містили також детальне аналізування прийнятих конструктивних рішень моста ім. Є.О. Патона через р. Дніпро та впливу вибухової хвилі на сталеві будівельні конструкції з використанням відповідних методик, висвітлених у роботах [3, 4]. В результаті цих розрахунків було встановлено, що у випадку скоєння терористичного нападу на мосту в межах прогону з застосуванням вибухового пристрою орієнтовною вагою від 160 до 200 кг (залежно від місця вчинення теракту), даний прогін буде повністю зруйновано та відновленню не підлягатиме. Проте прилеглі прогони моста загалом вціліють, а тому їх цілком можливо експлуатувати надалі після проведення необхідних ремонтних робіт. У цьому контексті привернемо увагу до того очевидного факту, що вказану кількість вибухівки на міст можна доправити виключно за допомогою транспортного засобу, бо самотужки людина таку її кількість принести на міст не в змозі.

Отже, під час проведення чисельних досліджень моста ім. Є.О. Патона з урахуванням наявних дефектів при розробленні технічних рішень відновлювальних робіт на мосту було розглянуто чотири найбільш вірогідні варіанти руйнування його конструкцій, схематичне зображення яких наведено на рис. 2–5:

- *варіант* 1 – зруйнована прогонова будова прогоном 58,0 м за всією шириною моста в осях опор 6–7 у крайньому прогоні п'ятипрогонової нерозрізної балки (рис. 2);
- *варіант* 2 – зруйнована опора № 9 п'ятипрогонової нерозрізної прогонової будови, а прилеглі прогони завдовжки 58,0 м обвалені (рис. 3);
- *варіант* 3 – зруйнована прогонова будова прогоном 87,0 м за всією шириною моста в осях 12–13 у другому прогоні шестипрогонової нерозрізної балки (рис. 4);
- *варіант* 4 – повністю зруйнована до обрізу фундаменту опора № 15 шестипрогонової нерозрізної прогонової будови, а прилеглі прогони завдовжки 87,0 м обвалені (рис. 5).

Що ж стосується сутності проектних рішень із відновлювальних робіт зазначимо наступне. В залежності від розглянутих варіантів руйнування конструкцій моста сформульовані технічні рекомендації з відновлювальних робіт за кожним варіантом окремо, які базуються на отриманих результатах розрахунків моста ім. Є.О. Патона та розробленні основних конструктивних рішень прогонових будов і опор. Зокрема для всіх чотирьох розглянутих варіантів руйнувань конструкцій моста прогонові будови, що зруйнувались або мають остаточні деформації такої величини, які роблять їх непридатними для подальшої експлуатації, передбачається замінити новими конструкціями у способи, принципові схеми яких

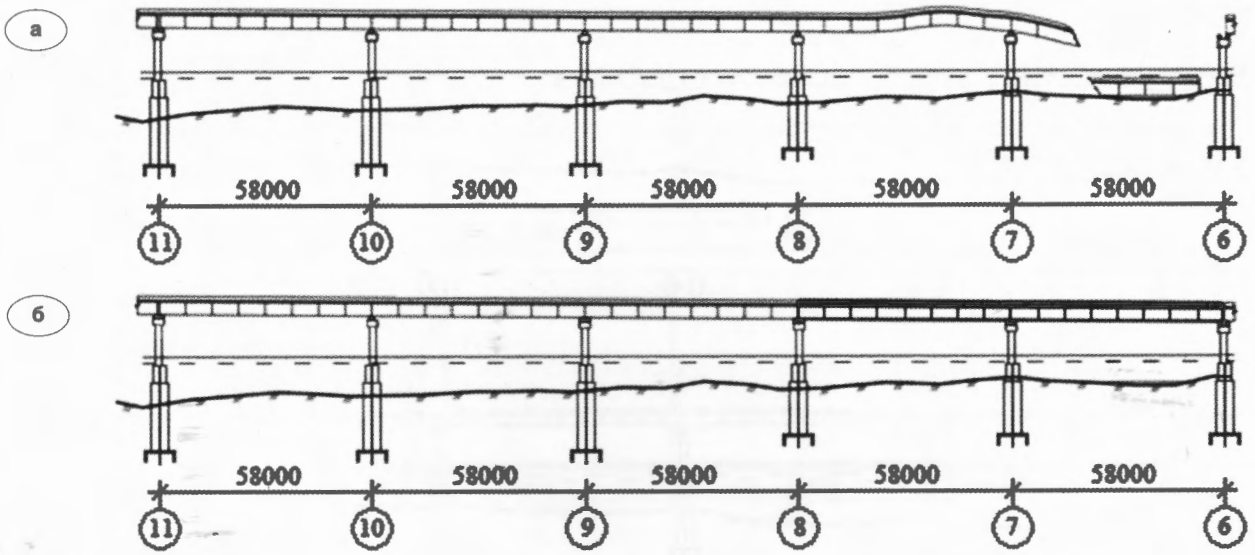


Рис. 2. Принципові схеми руйнування та відновлення конструкцій моста у випадку першого вірогідного варіанта руйнування:
а – прогонова будова після руйнування прогону 6–7; **б** – прогонова будова після відновлення

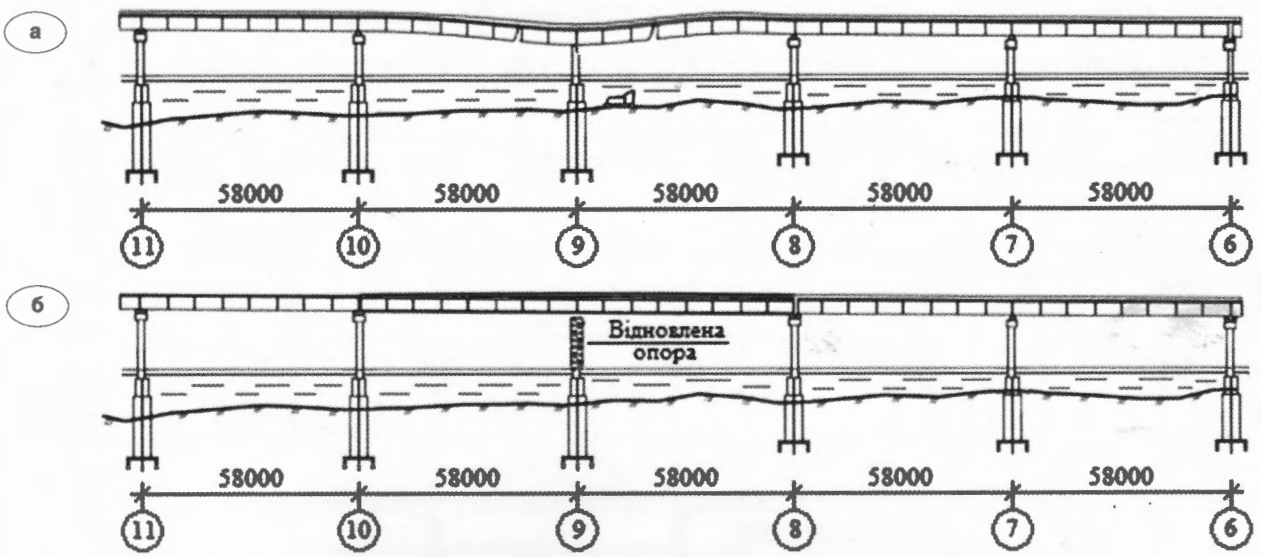


Рис. 3. Принципові схеми руйнування та відновлення конструкцій моста у випадку другого вірогідного варіанта руйнування:
а – прогонова будова після руйнування опори № 9; **б** – прогонова будова після відновлення

відтворені на рис. 2–5 із застосуванням чорного кольору для зображення відновлених прогонових будов. А суміжні до них прогони багатопрогонової нерозрізної балки, які залишились неушкодженими і на рис. 2–5 показані сірим кольором, внаслідок руйнування одного прогону перетворюються або на розрізні, або на дво- чи чотирипрогонові замість п'яти- чи шестипрогонових. Тому, з огляду на таку значну трансформацію початкової проектної схеми, зусилля в конструктивних елементах вцілілих суміжних балкових прогонів збільшуються, а самі прогони за результатами перевірних розрахунків потребують деякого підсилення.

Повністю зруйновані прогони пропонується замінити заново виготовленими трьома видами подібних інвентарних будов із коробчастих сталевих балок та проїзною частиною у вигляді сталевої ортотропної плити, у першому з яких відстань між осями двох коробчастих балок складає 9500 мм,

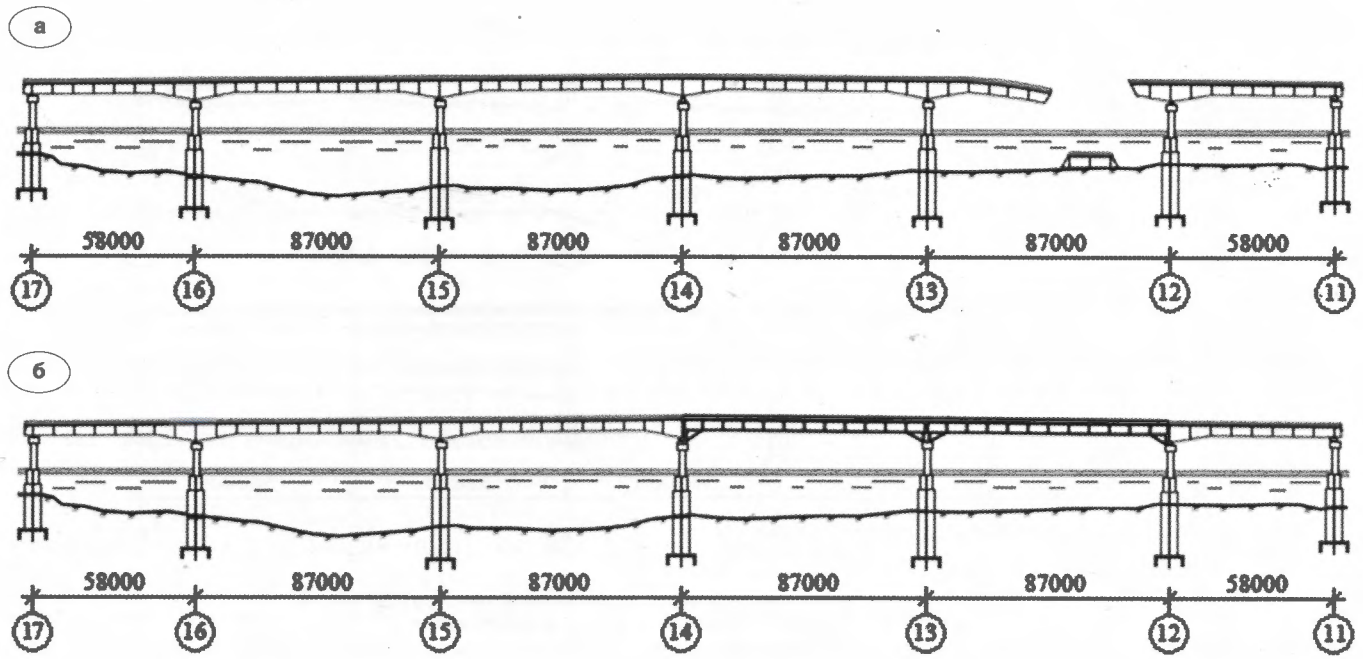


Рис. 4. Принципові схеми руйнування та відновлення конструкцій моста у випадку третього вірогідного варіанта руйнування:
а – прогонова будова після руйнування прогону 12–13; **б** – прогонова будова після відновлення

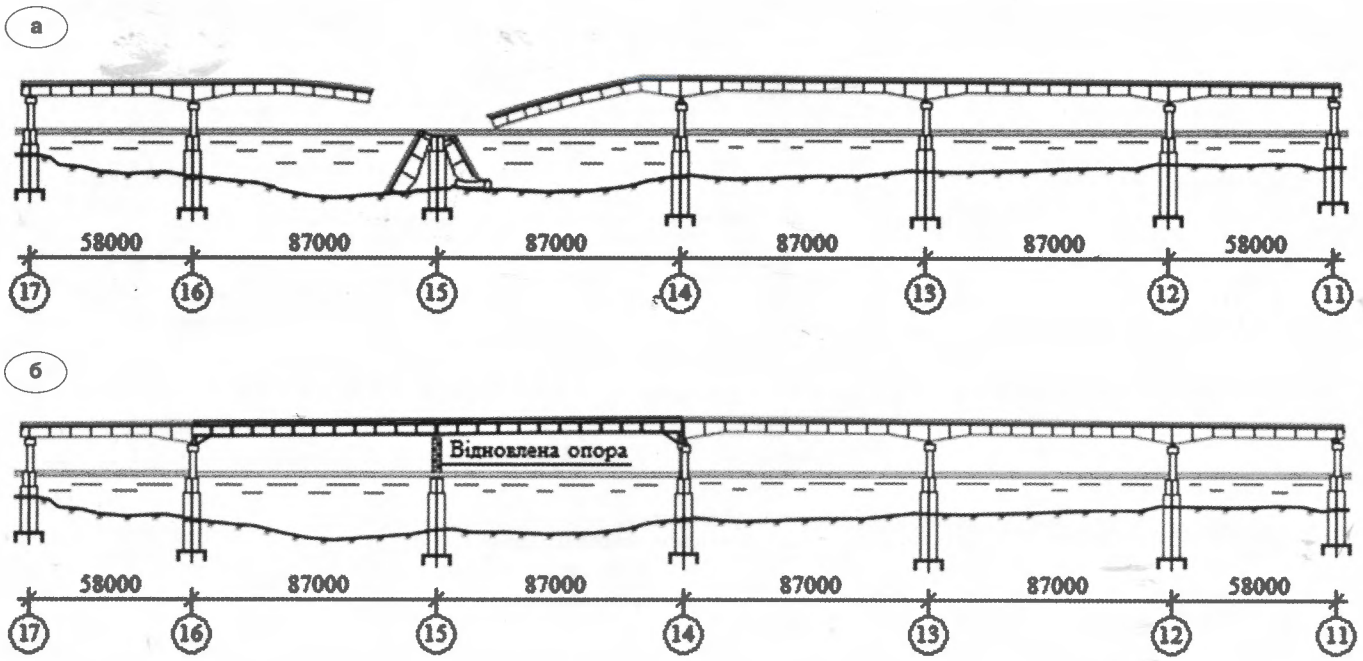


Рис. 5. Принципові схеми руйнування та відновлення конструкцій моста у випадку четвертого вірогідного варіанта руйнування:
а – прогонова будова після руйнування опори № 15; **б** – прогонова будова після відновлення

у другому – 11900 мм, а в третьому планується встановити три коробчасті балки з відстанню між ними 7300 мм (рис. 6). Цікавим тут є те, що вказані відстані обумовлені тільки одним об'єктивним критерієм – розміщенням балок на опорі між опорними конструкціями неушкоджених ділянок прогонових будов. Висота балок для прогону 87,0 м прийнята 3600 мм, а для прогону 56,0 м – 3100 мм. Зазначимо, що за результатами порівняння трьох запропонованих видів інвентарних будов найбільш економічним і найменш трудомістким у виготовленні та монтажі виявився другий варіант, в якому дві головні балки встановлюються на відстані 11900 мм між їхніми осями.

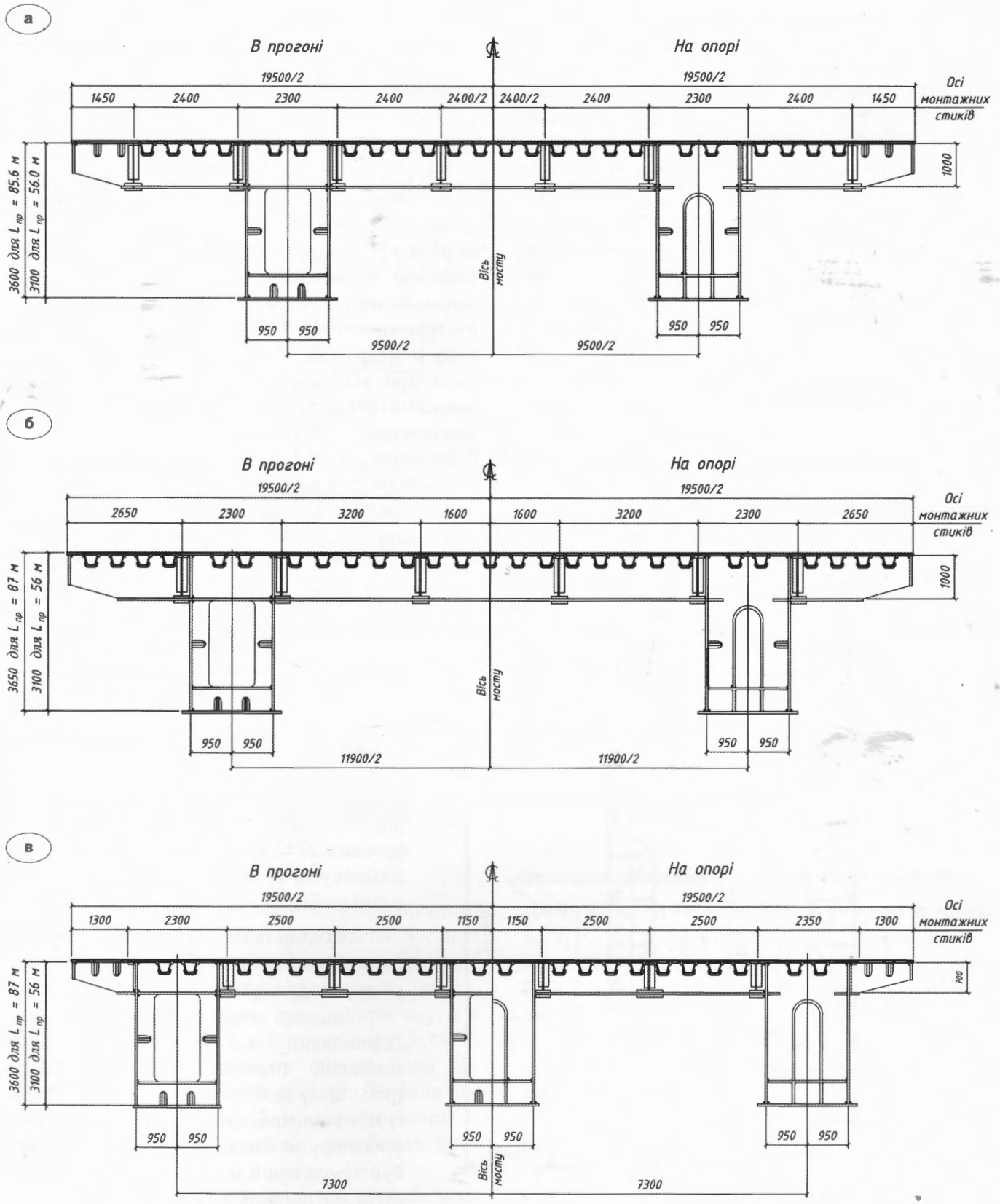


Рис. 6. Варіанти прогонових будов для заміни зруйнованих:
а – перший; **б** – другий (рекомендований); **в** – третій

Щодо конструктивного рішення пропонованого блока прогонової будови, то він складається з семи однотипних габаритних для залізничного перевезення елементів: двох блоків коробчастих балок та п'яти плит ортотропної плити. При цьому плити мають всього дві марки – проміжні та кінцеві. Головні балки прогонової будови коробчасті, прямокутного перерізу, завширшки 2300 мм та заввишки 3100 мм й 3600 мм залежно від прогону. Поперечна жорсткість прогонової будови забезпечується влаштуванням всередині балок діафрагм жорсткості та поперечних балок, встановлених із кроком 4,0 м, що відповідає кроку діафрагм. Ортотропна плита проїзної частини складається зі сталевого настилу (лист завтовшки 12 мм), поздовжніх ребер коробчастого трапецеїдального перерізу з кроком 600 мм та поперечних балок із кроком 4000 мм.

А підсилення поясів прилеглих прогонів нерозрізних прогонових будов (про що мова вже йшла раніше) провадиться шляхом приварювання додаткових листів до поясів головних балок.

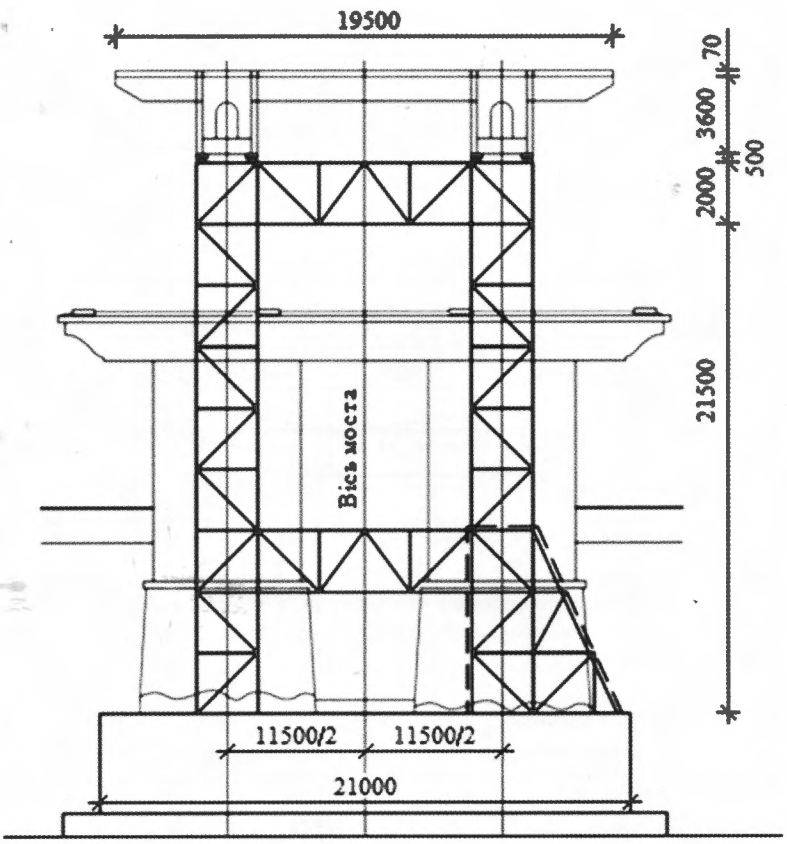


Рис. 7. Відновлена проміжна опора

У випадку руйнування проміжних опор їх відновлення передбачається виконати зі сталевих решітчастих конструкцій, які складаються з двотаврових та кутикових профілів. Пропоноване конструктивне рішення решітчастих конструкцій наведено на рис. 7.

Міркування щодо організації робіт. Головна передумова розроблення даних технічних рішень із виконання відновлювальних робіт у залежності від розглянутої схеми руйнування полягала в якнайшвидшому їх проведенні з мінімальними трудовитратами при високій індустріальності виготовлення та зручності монтажу. конструкцій. Тому заради досягнення цієї мети при відновлювальних роботах практично повністю виключено застосування монолітного залізобетону. Металеві конструкції опор та прогонових будов, які замінюють зруйновані, рекомендується завчасно виготовити на заводах металоконструкцій і залежно від кранового обладнання укрупнити задля можливості їх безперешкодного доставлення до місця монтажу.

Для цього нові прогонові будови конструюються полегшеними з проїзною частиною у вигляді сталевої ортотропної плити, а опори – металевими решітчастими з об'ємних блоків. При цьому ще однією вагомою перевагою пропонованих конструктивних рішень є те, що для укрупнення прогонових будов може бути використана набережна акваторія р. Дніпро, яка має зручні причали для швартування та доставки до місця монтажу плашкоутів із понтонів, барж або інших плавзасобів.

Автодорожня частина Дарницького залізнично-автомобільного мостового переходу через р. Дніпро.

Стислий опис конструкцій моста. Дарницький залізнично-автомобільний мостовий перехід через р. Дніпро (рис. 8, а) побудовано у 2004–2011 рр. із метою покращення транспортного сполучення у м. Києві, стресовий стан якого був зумовлений не лише зростанням обсягів залізничних перевезень на Київському залізничному вузлі, а й надмірною завантаженістю існуючих автомобільних мостів міста.

Проектна потужність автодорожньої частини мостового переходу – 35 тисяч

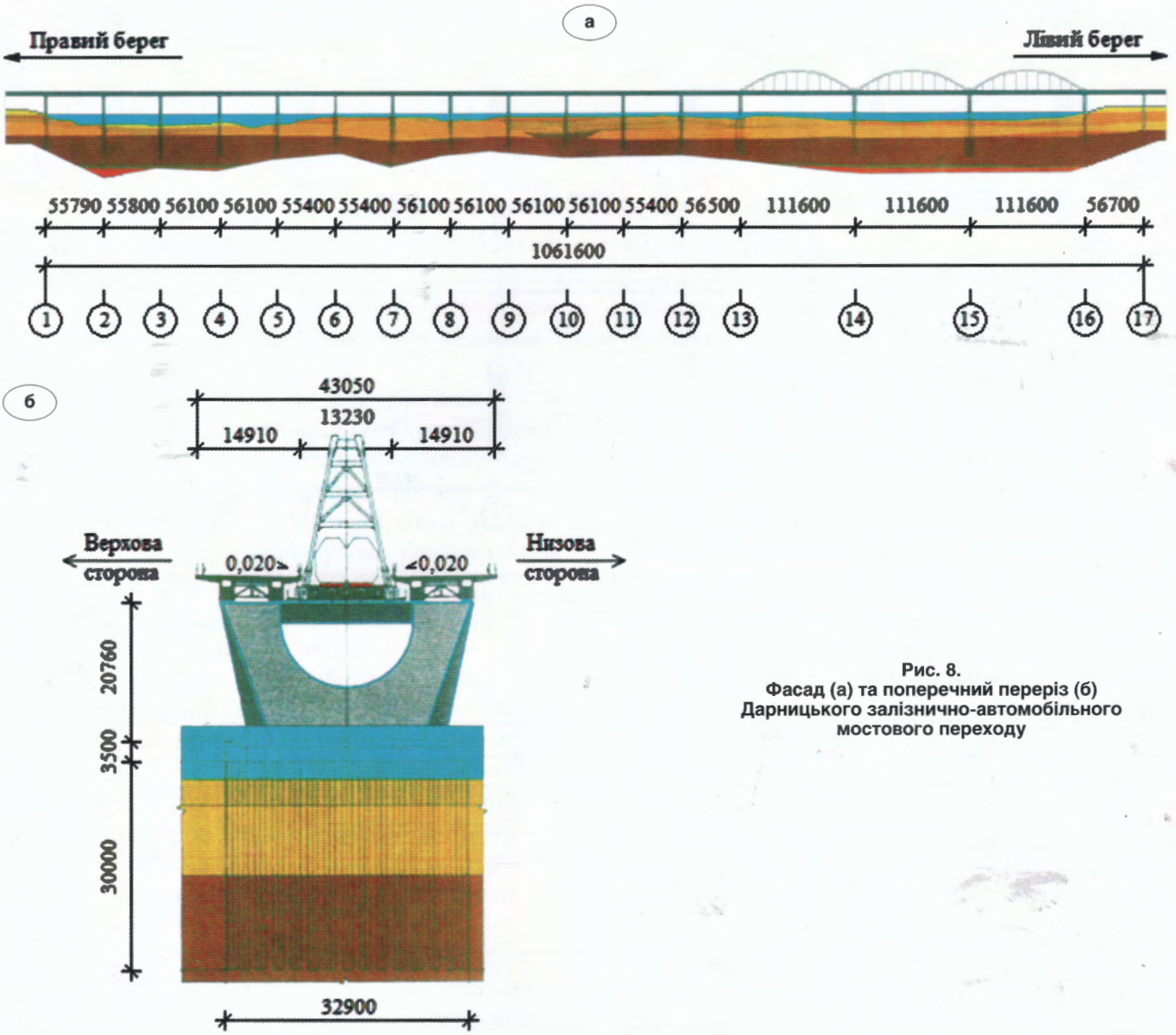


Рис. 8.
Фасад (а) та поперечний переріз (б) Дарницького залізнично-автомобільного мостового переходу

автомобілів на добу. За чинною класифікацією міських вулиць та доріг автодорожня частина Дарницького мостового переходу, яка має два автопроїзди, відноситься до категорії магістральних доріг регулівного руху по три смуги в кожному автопроїзді з шириною смуг 3,75 м. Автопроїзди знаходяться по обидва боки від залізничного двоколійного проїзду. Ширина автопроїздів дорівнює 13,25 м, а розміщених із зовнішніх сторін автопроїздів службових проходів – 0,75 м. (рис. 8, б).

Автодорожні прогони руслової частини моста виконані за схемою 56,5 + 3×111,6 + 56,7 м у вигляді металевих нерозрізних п'ятипрогонових балок. Прогонова будова у перерізі складається з двох металевих коробок постійної висоти, об'єднаних між собою металевою ортотропною плитою. Висота коробок становить 3,24 м. По заплавній частині прогони виконані за схемами: 55,0 + 55,8 + 2×56,1 + 55,4 м та 55,4 + 4×56,1 + 55,4 м і мають конструкцію, аналогічну русловим.

Матеріал конструкцій прогонової будови – сталевий прокат для несних елементів мостів із сталі марок 10ХСНД-2 та 15ХСНД-2 за ГОСТ 6713-91, а опорні частини та деформаційні шви прийняті німецької фірми «MAURER». Антикорозійна обробка конструкцій прогонової будови проведена матеріалами фірми «JOTUN» (Великобританія). Монтажні з'єднання металоконструкцій прийняті зварними та на високоміцних фрикційних болтах діаметром 22 мм, для герметизації яких застосовано силіконовий герметик «Sikaflex».

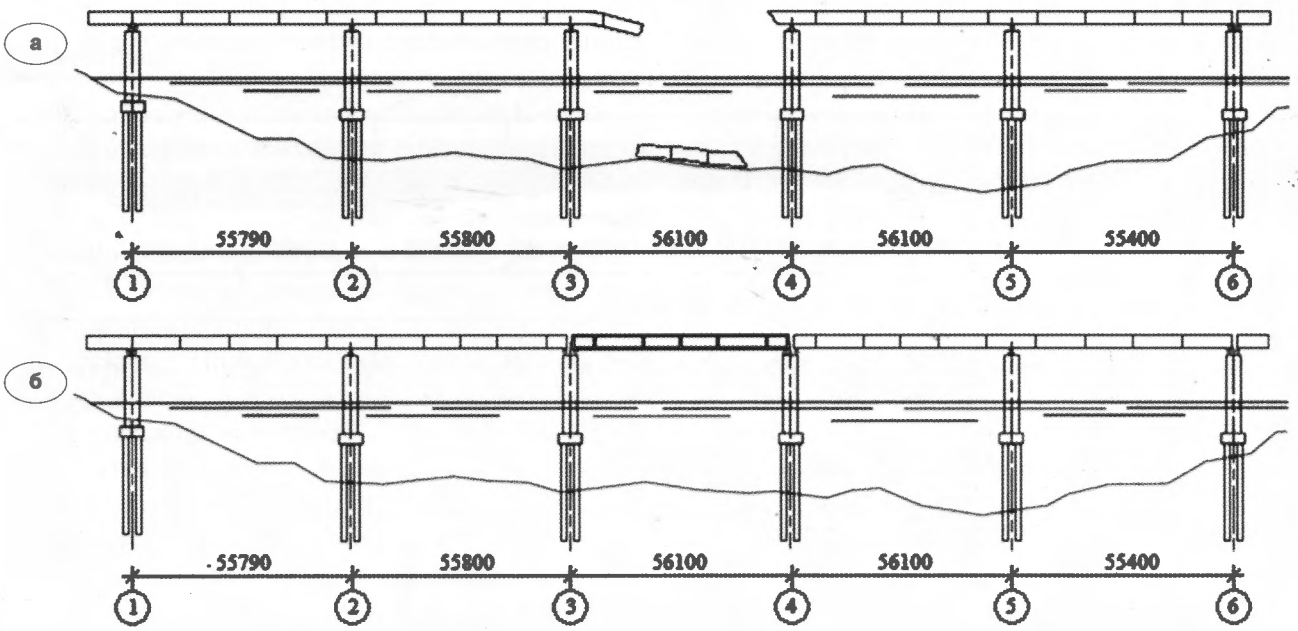


Рис. 9. Принципові схеми найбільш ймовірного руйнування та відновлення автодорожньої частини Дарницького залізнично-автомобільного мостового переходу:
а – прогонова будова після руйнування прогону 3–4; **б** – прогонова будова після відновлення

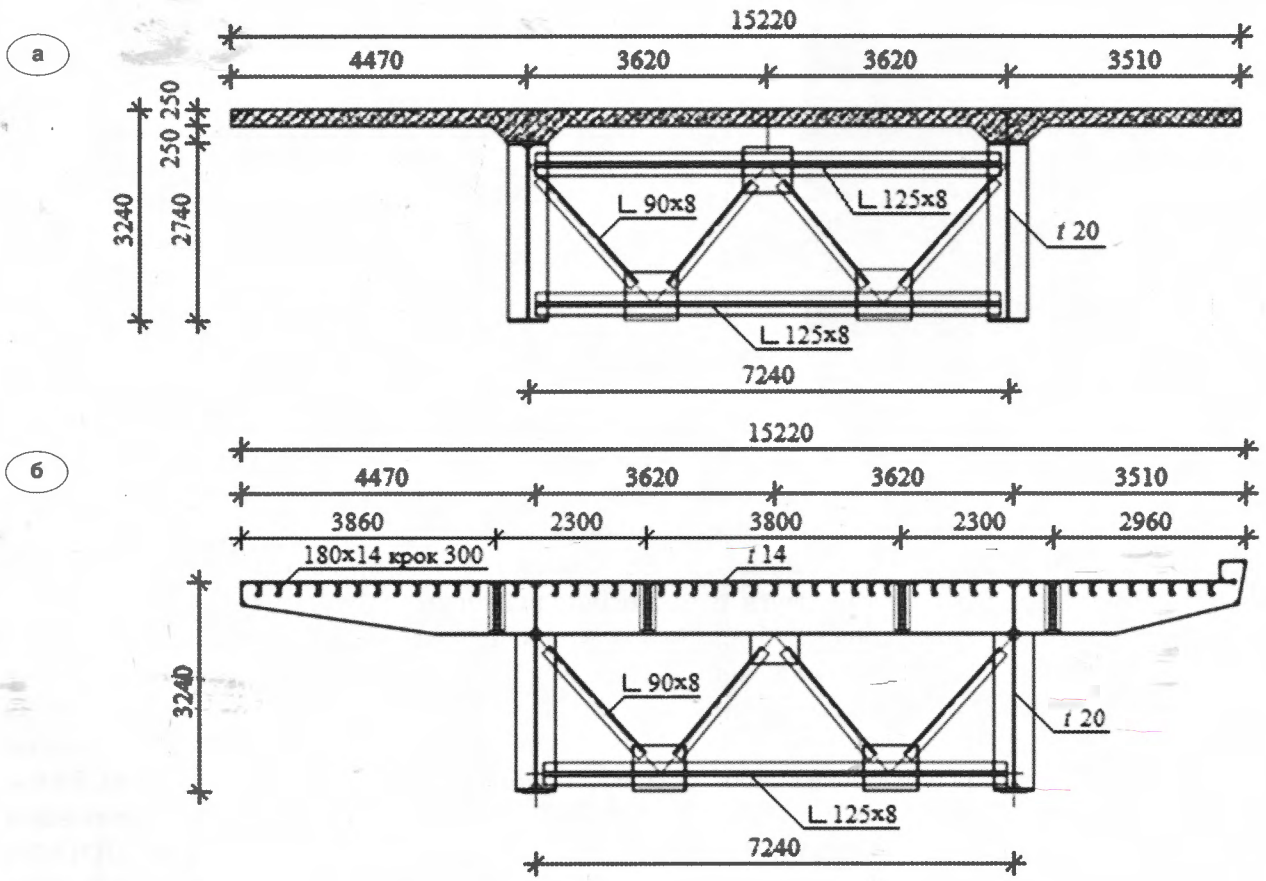


Рис. 10. Конструктивні рішення нової однопрогонової будови:
а – сталезалізобетонна прогонова будова; **б** – сталева балкова прогонова будова з ортотропною плитою

Що ж стосується конструктивного рішення автодорожньої частини моста, то воно складається з ортотропної плити, поперечних зварних балок двотаврового перерізу однакової висоти між головними балками та змінної висоти ззовні та головних балок коробчастого перерізу. Крок поперечних балок становить 3,1 м, які кріпляться до головних балок за допомогою накладок на високоміцних болтах в одному рівні. Також на мосту по обидва боки автопроїзду передбачені металеві опори контактної мережі з кроком ≈ 21,7 м.

Бар'єрна огорожа «Bridge guardrail H4B» прийнята німецької фірми SGGT із кроком стійок 1,1 м заввишки 1,14 м (біля службового проходу) та 1,54 м (з боку залізничного проїзду) і виготовлена з оцинкованої сталі. Стійки огорожі кріпляться до прогонової будови болтами М20. Марка сталі елементів бар'єрної огорожі Ст3пс5 та Ст3сп5 за ГОСТ 14637-89.

Перильна огорожа заввишки 1,1 м розташована зі сторони службового проходу. Крок стояків перерізом 80×60×7 мм складає 1,5 м, поручень має розміри 100×70×5 мм, нижня і верхня тятива – 50×30×3 мм, а заповнення – 20×20×3 мм (крок 150 мм). Всі стики є зварними, а над деформаційними швами прогонових будов передбачені температурні шви перильної огорожі. Матеріал конструкцій – сталь вуглецева марки Ст5пс за ГОСТ 14637-89. Фарбування виконане матеріалом «Hardtop XP».

Покриття автопроїзду та службового проходу – двошарове з мастикасфальтобетону «Гусасфальт» завтовшки 80 мм (два шари по 40 мм кожен). Захисний зчеплювальний шар – гідроізоляційне покриття на основі метилметакрилатних смол «Eliminator» (усього чотири шари) завтовшки 3,2 мм. Щодо влаштування водовідведення зазначимо, що з проїзної частини воно відбувається за рахунок поперечного ухилу в бік залізниці до системи дренажних трубок (рис. 8, б).

Вірогідні варіанти терористичних актів на автодорожній частині Дарницького залізнично-автомобільного мостового переходу та методи усунення їх наслідків. Перш за все зауважимо, що загальна методологія чисельних досліджень із визначення варіантів терористичних актів на мостовому переході та методів усунення їх наслідків і в даному випадку ґрунтується на підходах і принципах, висвітлених вище при розгляді моста ім. Є.О. Патона. А якщо деталізувати сказане то: скінченно-елементна модель мостових конструкцій побудована з використанням початкових проектних рішень та з урахуванням результатів проведених у 2018 р. спеціальних обстежень автодорожньої частини Дарницького залізнично-автомобільного мостового переходу [9].

Беручи до уваги попередні міркування та результати чисельних досліджень, встановлено, що місце вчинення терористичного нападу на мостовому переході найбільш ймовірніше знаходиться у межах його нерозрізної п'ятипрогонової будови, схематичне зображення руйнувань від якого наведено на рис. 9, а. А усунення наслідків цього руйнування полягає в реалізації відновлювальних робіт шляхом здійснення трьох послідовних кроків. Причому на першому з них залишки зруйнованої п'ятипрогонової будови у прогоні, де відбувся теракт, демонтуються. На другому кроці дві двопрогонові будови, що залишаться на місці п'ятипрогонової, перевіряються з метою визначення потреби у підсиленні з причини перерозподілення в їхніх конструктивних елементах параметрів напружено-деформованого стану внаслідок зміни статичної схеми роботи. У разі якщо за результатами обстеження прослідковується необхідність підсилення, то проводяться роботи з його здійснення; втім попередньо розрахунково встановлено, що зазначені прогонові будови зазвичай не будуть потребувати підсилення. І, нарешті, на третьому кроці замість зруйнованої частини п'ятипрогонової будови встановлюється нова однопрогонова будова (рис. 9, б; сірий колір – існуючі неушкоджені прогонові будови, чорний колір – відновлені прогонові будови).

Розглянуто два конструктивних рішення нової однопрогонової будови, перше з яких являє собою сталезалізобетонну прогонову будову, а друге – сталеву балкову прогонову будову з ортотропною плитою (рис. 10). Проведене порівняння пропонованих рішень засвідчило, що більш раціональним є друге з них, яке вирізняється не тільки значною індустріальністю виготовлення й зручністю монтажу, а й пришвидшеними темпами проведення робіт за мінімальних трудовитрат. При цьому, що дуже важливо, всі конструктивні елементи сталевої балкової прогонової будови з ортотропною плитою можуть бути заздалегідь виготовлені у заводських умовах. Єдиним недолі-

ком другого варіанта нової прогонової будови є його дещо більша вартість у порівнянні з першим варіантом. Проте, на думку авторів, всі наявні переваги другого конструктивного рішення цей недолік практично нівелюють, а особливо якщо взяти до уваги звичайно жорсткі вимоги до термінів ліквідації наслідків терористичних нападів.

Висновки.

1. З огляду на існуючу в Україні потенційну терористичну загрозу Кабінетом Міністрів України постановою № 92 від 18.02.2016 р. створено єдину державну систему запобігання, реагування і припинення терористичних актів та мінімізації їх наслідків.

2. Розглянуто вірогідні варіанти вчинення терористичних актів на мосту ім. Є.О. Патона через р. Дніпро, розроблено методику усунення їх наслідків і встановлено чотири найбільш ймовірні схеми руйнування конструкцій моста. В рамках цієї методики запропоновано три варіанти заміни пошкоджених ділянок прогонових будов. З урахуванням міркувань якнайшвидшого проведення робіт із мінімальними трудовитратами, високою індустріальністю виготовлення та зручністю монтажу конструкцій перевагу надано металоконструкціям. Рекомендована до застосування полегшена сталева прогонова будова з проїзною частиною у вигляді сталевої ортотропної плити й з двома головними балками, розташованими на відстані 11,9 м одна від одної. Відновлення зруйнованих проміжних опор пропонується здійснити зі сталевих решітчастих конструкцій з об'ємних блоків.

3. Розглянуто вірогідні варіанти вчинення терористичних актів на автодорожній частині Дарницького залізнично-автомобільного мостового переходу через р. Дніпро, розроблено методику усунення їх наслідків і встановлено найбільш ймовірну схему руйнування конструкцій мостового переходу. В рамках цієї методики запропоновано два конструктивних рішення заміни пошкодженої ділянки прогонової будови. Рекомендована до застосування сталева балкова прогонова будова з ортотропною плитою, яка вирізняється не тільки значною індустріальністю виготовлення й зручністю монтажу, а й пришвидшеними термінами проведення робіт за мінімальних трудовитрат.

[1] ДБН В.2.3-22:2009. Мости і труби. Основні вимоги проектування. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2009. – 73 с.

[2] ДСТУ-Н Б В.2.3-23:2012. Настанова з оцінювання і прогнозування технічного стану автодорожніх мостів. – Київ: Мінрегіон України, 2013. – 45 с.

[3] *Шимановський О.В.* Особливості убезпечення будівель та інженерних споруд при терористичних нападах // Промислове будівництво та інженерні споруди. – 2018. – № 4. – С. 2–11.

[4] *Шимановський О.В.* Методи та практичні заходи з ослаблення наростаючого руйнування сталевих конструкцій // Промислове будівництво та інженерні споруди. – 2019. – № 1. – С. 2–14.

[5] *Шимановський О.В.* Сучасний технічний стан позакласних металевих мостів м. Києва // Збірник наукових праць Українського інституту сталевих конструкцій імені В.М. Шимановського. – Київ: Видавництво «Сталь», 2018. – Вип. 21–22. – С. 4–37.

[6] *Шимановський О.В., Котлубей Д.О., Шалінський В.В.* Міст ім. Є.О.Патона – нинішній стан та перспективи // Промислове будівництво та інженерні споруди. – 2018. – № 1. – С. 2–9.

[7] *Шимановський О.В., Котлубей Д.О., Шалінський В.В.* Аварійна ситуація на мосту ім. Є.О. Патона та заходи щодо її вирішення // Промислове будівництво та інженерні споруди. – 2018. – № 4. – С. 30–33.

[8] *Шимановський О.В., Котлубей Д.О., Шалінський В.В.* Щодо технічного стану моста ім. Є.О. Патона // Промислове будівництво та інженерні споруди. – 2019. – № 1. – С. 20–25.

[9] *Шимановський О.В., Котлубей Д.О., Шалінський В.В.* Щодо технічного стану автодорожньої частини Дарницького залізнично-автомобільного мостового переходу через р. Дніпро у м. Києві // Промислове будівництво та інженерні споруди. – 2019. – № 2. – С. 2–9.

Надійшла 08.05.2019 р.

УДК 624.21:004.021

ВЕРОЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА РЕСУРСА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЕЛЕМЕНТОВ

В статье представлены теоретические основы моделирования жизненного цикла железобетонных элементов. Рассмотрена модель их жизненного цикла. Приведен пример прогноза ресурса железобетонных элементов мостов. Показана адекватность приведенной модели.

This paper presents an approach to the service life modeling of reinforced concrete elements. Degradation models is presented. The possibility of the proposed model is discussed.

Ключевые слова: жизненный цикл, прогноз жизненного цикла, железобетонный элемент, мост.



А.И. Лантух-Лященко
Национальный транспортный университет (НТУ)
профессор, д-р техн. наук

Этой работой автор намеревается привлечь внимание научных работников и проектантов к проблеме прогноза ресурса железобетонных элементов на всех этапах жизненного цикла, начиная с проектирования, и изложить перспективный, по мнению автора, подход к решению задачи анализа долговечности. Модель прогноза ресурса, которая приводится здесь, рассматривается с точки зрения возможности ее приложения в практике проектирования железобетонных конструкций.

Проблема прогноза ресурса железобетонных элементов на этапе проектирования всегда была наименее изученной в теории сооружений, а с другой стороны – наиболее весомой в социально-экономическом плане. Сегодня приходится констатировать стремительное увеличение физически устаревших сооружений. В этих условиях нужны алгоритмы, которые дали бы на этапе проектирования количественные критерии уровня надежности и прогноза ресурса конструкций. Эти алгоритмы должны стать основой в разработке практического аппарата управления жизненным циклом сооружений.

Долгое время проблема долговечности сооружений была уделом академических кругов. Так, например, в нормах проектирования мостов термин «долговечность» не фигурировал вообще. И только, начиная с 2006 г., с принятием первого национального нормативного документа по проектированию мостов были декларированы сроки службы определяющих несущих элементов мостов 80–100 лет. В проектной практике никакого анализа долговечности не выполняется, тогда как теоретически проблема в принципе решена [1, 10, 11, 12]. Теоретически долговечность T связана с надежностью уравнением [1, 12]

$$T = \int_0^\infty P(\mathrm{X},t)dt\,, \qquad (1)$$

где $P(\mathrm{X},t)$ – функция надежности элемента, зависящая от вектора генеральных параметров X и времени t; X–n – мерный вектор независимых случайных переменных: физико-механических и топологических параметров элемента; параметров нагрузки; статистических характеристик сопротивления и нагрузки.

Этот фундаментальный принцип используется нами для построения модели прогноза ресурса.

Формулировка задачи. Рассматривается задача определения времени жизненного цикла элемента в эксплуатации. Граничным условием безопасной эксплуатации есть неравенство

$$E(x,t) < R(x,t), \qquad (2)$$

где $E(x,t)$ – случайная функция времени нагрузки; $R(x,t)$ – случайная функция времени сопротивления. Классическое теоретическое решение проблемы представляется интегралом сверткой – вероятностью того, что граничное состояние (1) не будет нарушено в течение времени t [1, 12]

$$p_f(t) = \Pr\mathrm{ob}[E(x,t) < R(x,t)] = \int_{-\infty}^{\infty} F_R(x,t)\varphi_E(x,t)dx, \qquad (3)$$

где $F_R(x,t)$ – интегральная функция распределения сопротивления, зависящая от времени; $\varphi_E(x,t)$ – плотность распределения функции нагрузки, зависящая от времени.

Время жизненного цикла T (проектный ресурс) определяется из условия, что неравенство (2) нарушается при достижении $p_f(T) = p_{\lim}$ – граничного значения надежности при эксплуатации.

© Лантух-Лященко А.И.

Мы же сформулируем задачу определения времени жизненного цикла элемента в эксплуатации для нагрузки – случайной переменной, не зависящей от времени. Такая постановка задачи соответствует процедуре проектирования – нагрузочный эффект в течение жизненного цикла считается постоянным, тогда как сопротивление элемента падает в силу деградации материалов во времени. Интеграл в правой части зависимости (3) в этом случае будет иметь вид

$$p_f(t) = \Pr ob[E(x) < R(x,t)] = \\ = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{0}^{t} F_R(x,t)\varphi_E(x,t)dx\,dt, \quad (4)$$

где $F_R(x,t)$ – интегральная функция распределения сопротивления, зависящая от времени; $\varphi_E(x)$ – плотность распределения функции нагрузки, постоянной во времени.

Зависимостью (4) задача прогноза ресурса на этапе проектирования сводится к построению интегральной функции распределения сопротивления $F_R(x,t)$ и ее интегрированию. Это достаточно универсальный подход, но построение функции $F_R(x,t)$ является весьма сложной задачей, для ее построения нужно иметь статистические характеристики материалов в функции времени $\sigma_E(t)$. Таких данных сегодня практически нет. Поэтому воспользуемся наиболее распространенным приемом вычисления интеграла (4) – приближенным аналитическим методом двух моментов (в других терминах – вычислением характеристики безопасности) [3, 4, 11].

Заменим интеграл в соотношении (4) аналитической функцией надежности $\beta(t)$

$$p_f(t) = \text{Prob}\,[E(x) < R(x,t)] = \Phi(-\beta(t)), \quad (5)$$

где Φ – стандартная нормальная функция распределения; $\beta(t)$ – функция надежности, устанавливающая связь характеристики безопасности со временем.

$$\beta(t) = f(\beta,t) = f(E,R,\sigma_E,\sigma_R,t), \quad (6)$$

где β – характеристика безопасности, вычисленная при проектировании; E – среднее значение случайной переменной нагрузки; R – среднее значение случайной переменной сопротивления; σ_E, σ_R – статистические характеристики переменных нагрузки и сопротивления (стандарты); t – время жизненного цикла.

Формулировка задачи (5)–(6) в сущности представляет собой поиск функции деградации элемента, т.е. функции падения его сопротивления в процессе эксплуатации. Модель прогноза ресурса, соответствующая этим зависимостям, приводится ниже.

Модель. Предлагаемая модель жизненного цикла железобетонного элемента – стохастическая функция надежности – описывается выражением

$$\beta(t) = \beta_d - \frac{(\beta_c - \beta_{\lim})t^2}{T_d^2}, \quad (7)$$

где β_c – нормативное значение надежности; β_d – проектное значение надежности; T_d – нормативный срок службы; $\beta_{\lim}$ – граничное значение надежности в эксплуатации (при $t = T$).

Из уравнения (7), полагая, что $\beta(t) = \beta_{\lim}$ и $t = T$, получим прогнозируемый срок службы – проектный ресурс:

$$T = \left[\frac{(\beta_d - \beta_{\lim})T_d^2}{(\beta_c - \beta_{\lim})}\right]^{0,5}. \quad (8)$$

Проектная характеристика безопасности. В дополнение к модели приведем общепринятый алгоритм вычисления характеристики безопасности [4, 10], определяемой в функции среднего резерва прочности и статистических параметров сопротивления и нагрузки. В предположении нормального распределения сопротивления и нагрузки формула имеет вид

$$\beta = \left[\frac{(\mu_R - \mu_E)}{(\sigma_R^2 + \sigma_E^2)^{0,5}}\right], \quad (9)$$

где μ_R – среднее статистическое значение сопротивления элемента; μ_E – среднее статистическое значение нагрузки элемента; σ_R – среднеквадратическое отклонение сопротивления элемента; σ_E – среднеквадратическое отклонение нагрузки элемента.

Заметим, что в практических приложениях чаще применяется формула, аналогичная (9), получаемая в безразмерных единицах делением числителя и знаменателя на среднюю статистическую нагрузку элемента μ_E [10],

$$\beta = \frac{\gamma - 1}{\sqrt{V_E^2 + \gamma^2 V_R^2}}, \quad (10)$$

где V_E, V_R – коэффициенты вариации нагрузки и сопротивления элемента; γ – реальный средний коэффициент запаса

$$\gamma = \frac{\mu_R}{\mu_E}. \quad (11)$$

В алгоритме вычисления характеристики безопасности следует особо отметить процедуру определения средних статистически моделированных значений сопротивления и нагрузки элемента, входящих в формулу (9) или (10). Проектировщик этих значений не имеет, он в своих расчетах оперирует *характеристическими* значениями (в старых нормах это были нормативные значения). Следовательно, для использования формулы нужно из характеристических значений вычислить средние.

Статистически моделируемые сопротивления в нормах принимаются как нижние значения распределения случайной переменной, вычисленные с обеспеченностью 0,05 (5 %). В других терминах статистически моделируемые сопротивления – это такие, вероятность появления которых $p_f = 0{,}05$. Выполняется статистическое моделирование на основе нормального или логнормального закона распределения (существенной разницы в результатах нет, хотя считается что логнормальный закон более реалистично описывает физико-механические свойства материалов).

На графике распределения статистически моделируемое значение сопротивления находится слева от среднего значения (рис. 1). Эти значения, называемые характеристическими, вычисляются по формуле

$$R_k = \mu_R(1-k_R V_R), \qquad (12)$$

где R_k – характеристическое сопротивление; μ_R – среднее значение сопротивления; k_R – коэффициент обеспеченности, в случае нормального распределения $k_{0,05} = 1{,}645$; V_R – коэффициент вариации переменной R, $V_R = \sigma_R/\mu_R$.

Из соотношения (12) вычисляется среднее значение сопротивления

$$\mu_R = \frac{R_k}{1-k_R V_R}. \qquad (13)$$

Очевидно, что среднее значение сопротивления есть большим нежели характеристическое.

Среднее значение нагрузки вычисляется аналогично, с той лишь разницей что характеристическое значение находится на противоположном конце доверительного интервала 0,05 – 0,95, т.е. справа от среднего значения (рис. 2).

Характеристические значения нагрузки вычисляются по формуле

$$E_k = \mu_E(1+k_E V_E), \qquad (14)$$

где E_k – характеристическая нагрузка; μ_E – среднее значение нагрузки; k_E – коэффициент обеспеченности, в случае нормального распределения $k_{0,95} = -1{,}645$; V_E – коэффициент вариации переменной E, $V_E = \sigma_E/\mu_E$.

Из соотношения (14) вычисляется среднее значение нагрузки, меньшее, в этом случае, чем характеристическое

$$\mu_E = \frac{E_k}{1+k_E V_E}. \qquad (15)$$

Необходимые для работы алгоритма значения коэффициентов вариации переменных сопротивления и нагрузки вычисляются по общему правилу теории вероятностей

$$Vx = \left[\sum_{j=1}^{n}(Vx_j)^2\right]^{0,5}, \qquad (16)$$

где Vx_j – коэффициенты вариации, характеризующие случайную переменную; n – количество коэффициентов вариации одной переменной.

Заметим, что в сумму формулы (16) не включены произведения квадратов коэффициентов вариации как величин второго порядка малости.

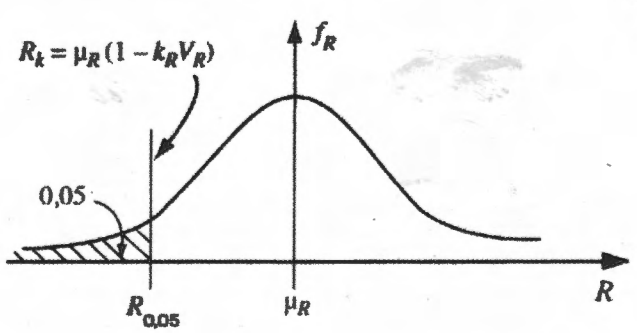


Рис. 1. К определению характеристического значения переменной сопротивления

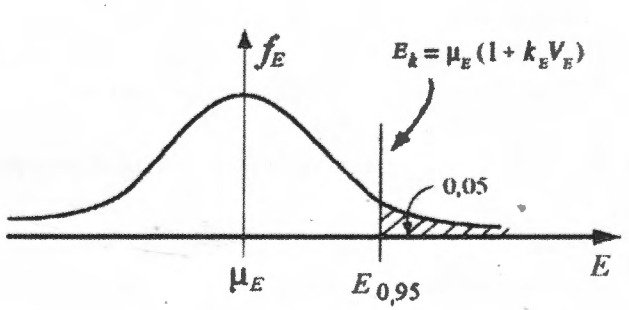


Рис. 2. К определению характеристического значения переменной нагрузки

Необходимые для вычислений коэффициенты вариации, как правило, не приводятся в нормативных документах, за исключением [3, 5]. Однако есть публикации рекомендательного характера, позволяющие достаточно достоверно подобрать коэффициенты вариации как для физико-механических свойств материалов, так и нагрузок [6, 8, 9].

Пример анализа долговечности. Рассматривается пример проектирования элемента автодорожного моста – свободно опертая железобетонная балка пролетного строения, загруженная постоянной и временной подвижной нагрузкой АК11 + толпа на тротуарах. Характеристический граничный момент сечения R = 1391 кНм. Нагрузочный эффект от характеристических нагрузок E = 1097 кНм. Требуется определить проектный ресурс T при условии: требуемый нормативный срок службы T_d = 100 лет; сооружение относится к классу СС2, минимальное начальное значение надежности принять β_c = 3,8 (P = 0,9999), граничное значение надежности в эксплуатации принять β_{lim} = 1,74 (P = 0,95907). Статистические характеристики материалов и нагрузки приведены в таблице 1.

Таблица 1

Коэффициенты вариации. Нормальное распределение

Коэффициент вариации	Значение
Арматуры	0,080
Бетона класса В 40	0,082
Постоянной нагрузки I часть	0,033
Постоянной нагрузки II часть	0,170
Временной нагрузки АК	0,240
Временной нагрузки от тандема	0,079
Временной нагрузки от толпы	0,140

Решение. Требуемый проектный ресурс T элемента определяется в два шага.

А. По изложенному выше алгоритму (9)–(16) вычисляется проектная характеристика безопасности β_d = 3,68.

Б. По формуле (8) вычисляется проектный ресурс.

$$T = \left[\frac{(\beta_d - \beta_{lim})T_d^2}{(\beta_c - \beta_{lim})}\right]^{0,5} = \left[\frac{(3,68-1,74)100^2}{(3,80-1,74)}\right]^{0,5} =$$

= 97 лет.

Полученный результат несколько ниже требуемого нормами T_d = 100 лет, чего и следовало ожидать, так как проектная характеристика безопасности меньше нормативной $\beta_d = 3,68 < \beta_c = 3,80$. Необходимо увеличить несущую способность сечения.

В заключение рассмотрим модель жизненного цикла несколько подробнее. На рис. 3 приведены графики надежности для нормативных сроков службы T_d = 100 и T_d = 80 лет.

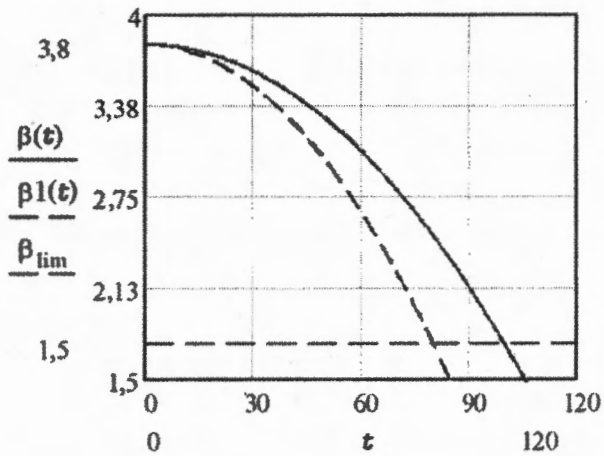


Рис. 3 Графики надежности в функции времени:
$\beta(t)$ и $\beta 1(t)$ – функции надежности при T_d = 100 и при T_d = 80 соответственно; β_{lim} – предельное значение надежности в эксплуатации

Проследим для заданных сроков службы прогнозы ресурса при значениях проектной характеристики безопасности в диапазоне $\beta_d = 3,60 \div \beta_d = 4,00$ (табл. 2).

Таблица 2

Прогноз ресурса в зависимости от проектного значения характеристики безопасности

Проектное значение, β_d	Прогноз ресурса, лет		
	при T_d = 100	при T_d = 80	по модели [5, 7] при T_d = 100
3,60	95	76	94
3,70	98	78	97
3,80	100	80	100
3,90	102	82	104
4,00	105	84	107

Как видно из таблицы 2, изменение характеристики безопасности на величину плюс/минус 0,2 возле нормативного значения вызывает увеличение/уменьшение прогнозируемого ресурса на 4–5 лет. В третьей колонке приведены для

сравнения прогнозы ресурса, полученные по марковской феноменологической дискретной модели с непрерывным временем [7], принятой в системе эксплуатации автодорожных мостов как нормативной [5]. Как видно, эти результаты достаточно хорошо совпадают с предлагаемой моделью в окрестности нормативного срока службы и служат здесь подтверждением ее адекватности.

Говоря о модели [7], заметим, что марковская дискретная модель, апробированная в системе эксплуатации автодорожных мостов как инструмент оценки остаточного ресурса, к сожалению, не может использоваться в прогнозировании ресурса на этапе проектирования. Эта модель построена в функции параметра интенсивности отказов, определяемого по результатам обследования сооружения, эксплуатируемого минимум 15–20 лет. Получить значение параметра интенсивности отказов в процессе проектирования сооружения весьма сложно. Попытка такого подхода приведена, например, в работе [2].

Выводы.

1. Предлагаемая модель прогнозирования ресурса железобетонных элементов, базирующаяся на анализе надежности, может быть приемлемым инструментом поиска, оптимального по параметру долговечности, варианта проекта элемента. Целесообразность и теоретическая обоснованность применения параметра надежности как критерия деградации очевидна и вытекает, прежде всего, из современной трактовки понятия надежности [11]. Модель представляет собой простой инженерный аппарат прогнозирования ресурса на всех этапах жизненного цикла, начиная с проектирования.

2. Прогноз ресурса по предлагаемой модели в некоторой степени является приближенным, в силу приближенности вычисления надежности по методу двух моментов, однако в практических приложениях эта неточность мало сказывается.

[1] *Болотин В.В.* Применение методов теории вероятностей и теории надежности в расчетах сооружений. – М.: Стройиздат, 1971.

[2] *Давиденко О.О.* Функція інтенсивності відмов елементів споруд. Збірник наукових праць УкрДУЗТ. Харків, 2017. Вип. 167. С. 88–96. ISSN 2413–3795, 1994–7852. GICID 71.0000.1500.3635. DOI 10.18664.

[3] ДБН В.2.3-22-2009. Мости і труби. Основні вимоги проектування. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009.

[4] ДСТУ-Н Б EN 1990:2008. Єврокод. Основи проектування конструкцій (EN 1990:2002, IDT). Введено вперше. [Чинний від 2013-07-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2012. – 116 с.

[5] ДСТУ-Н Б.В.2.3-23:2012. Споруди транспорту. Настанова з оцінювання і прогнозування технічного стану автодорожніх мостів. – К.: Мінрегіонбуд України, 2012. – 116 с.

[6] *Иосилевский Л.И.* Практические методы управления надежностью железобетонных мостов. – М.: НИЦ «Инженер», 1999.

[7] *Лантух-Лященко А.І.* Марковские модели накопления повреждений. Наука и искусство.//Промислове будівництво та інженерні споруди. – 2009. – № 2. – С. 22–25.

[8] Рекомендации по оценке и обеспечению надежности транспортных сооружений. – М.: НИИТС. – 1989.

[9] Рекомендации по оценке надежности строительных конструкций зданий и сооружений по внешним признакам. – М.: ЦНИИПромзданий. – 2001.

[10] *Ржаницын А.Р.* Теория расчета строительных конструкций на надежность. – М.: Стройиздат. – 1978. – 239 с.

[11] ISO 2394, General principles on reliability for structures. 2nd edn. Gen`eve, Switzerland, 1998.

[12] Melchers, R.E. Structural Reliability Analysis and Prediction/ Second Edition. John Wiley & Sons.– New York: 1999, 437 p.

Надійшла 12.05.2019 р.

УДК 624.014:620.193

ОСОБЛИВОСТІ РЕГУЛЮВАННЯ ПРОТИКОРОЗІЙНОГО ЗАХИСТУ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ ПРОМИСЛОВИХ ОБ'ЄКТІВ

Виконано аналіз чинних нормативних положень, що встановлюють вимоги щодо корозійного захисту металоконструкцій. Розглянуто умови ризик-діагностики кородуючих конструкцій згідно зі стандартом IEC 61882 «Hazard and operability studies (HAZOP studies)». Обгрунтовано методичний підхід щодо оцінювання параметрів корозійного захисту з урахуванням функціонального та часового резервування заходів первинного та вторинного захисту від корозії.
Важливим результатом теоретичних та експериментальних досліджень є формування вимог техніко-економічного захисту, які дають змогу виконувати регулювання умов забезпечення якості, надійності та безпеки конструкцій і споруд на принципах сценарію управління ризик-знижувальними заходами.

Up-to-date regulations setting the requirements for corrosion protection of structural steel have been analyzed. Considered are conditions of risk-diagnostics of corroding constructions based on the IEC 61882 Standard «Hazard and operability studies (HAZOP studies)». Methodical approach has been justified to assessing parameters of corrosion protection with account for the functional and time redundancy of measures of primary and secondary corrosion protection.
The main result of theoretical and experimental studies is the development of the requirements for technical and economic protection which allow controlling conditions for assuring the quality, reliability and safety of structures and installations on the principles of scenario analysis of the risk-reduction measures.

Ключові слова: функціональне та часове резервування, протикорозійний захист, металеві конструкції, техніко-економічні ризики, кородуючі конструкції, технологічна безпека.



В.П. Корольов
директор Донбаського центру технологічної безпеки ТОВ «Укрінсталькон ім. В.М. Шимановського», д.т.н,
м. Маріуполь



О.А. Риженков
ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», к.т.н.,
м. Маріуполь



П.В. Корольов
керівник відділу МТЗ ТОВ «Інтобуд», к.е.н.,
м. Одеса

Корозійне руйнування металевих конструкцій будівель та споруд провідних галузей промисловості України є актуальною проблемою сьогодення як для практики господарювання, так і у сфері вдосконалення методологічної бази основних засад, принципів і критеріїв оцінювання ризиків в умовах техніко-економічної небезпеки. Згідно з ДСТУ Б.2.6-193 [1] корозійна небезпека – це певний стан або ситуація (загроза), за якої збільшується вірогідність збитку через відхилення від нормальної експлуатації конструкцій будівельних об'єктів.

Вдосконалення норм і правил щодо вибору систем протикорозійного захисту є важливою умовою забезпечення надійності будівельних конструкцій та споруд, які функціонують в агресивному середовищі [2, 3]. Проектні рішення передбачають вжиття заходів первинного захисту (збільшення корозійної стійкості) і вторинного захисту (влаштування захисних покриттів і спеціальних електрохімічних пристроїв) [4]. Особливим аспектом проблеми техніко-економічного регулювання заходів захисту конструкцій та споруд від корозії є формування системи критеріїв оцінювання якості, надійності й безпеки функції протикорозійного захисту. На відміну від класифікаційних ознак KI–KV корозійної небезпеки [1, табл. 8] комплексне поняття корозійного захисту включає вимоги забезпечення роботоздатного стану металевих конструкцій через оцінювання параметрів рівня захисту від корозії. Таким чином, захист будівель та споруд від корозії передбачає гарантійні показники систем протикорозійного захисту (СПЗК) для підтримання функції захисту (ZI–ZIV) за умов прийнятного ризику (табл. 1).

У сучасних економічних реаліях розвитку промислових підприємств суттєвого значення для забезпечення безаварійної експлуатації конструкцій та споруд набуває досвід розробок Донбаського центру технологічної безпеки (ДонЦТБ) ТОВ «Укрінсталькон ім. В.М. Шимановського», в основі якого використання методів техніко-економічного захисту об'єктів підвищеної небезпеки

Таблиця 1

Узагальнена матриця вибору рівня захисту від корозії металевих конструкцій

Ступінь агресивності впливів K, мм/рік	Інтервальні оцінки коефіцієнта готовності протикорозійного захисту, K_g				
	$0 < K_g \le 0{,}1$	$0{,}1 < K_g \le 0{,}3$	$0{,}3 < K_g \le 0{,}5$	$0{,}5 < K_g \le 0{,}7$	$0{,}7 < K_g \le 1{,}0$
Слабоагресивні $0{,}01 < K \le 0{,}05$	KI	ZIV	ZIII	ZII	ZI
Низькоагресивні $0{,}05 < K \le 0{,}15$	KII	KI	ZIV	ZIII	ZII
Високоагресивні $0{,}15 < K \le 0{,}30$	KIII	KII	KI	ZIV	ZIII
Дуже високоагресивні $0{,}30 < K \le 0{,}50$	KIV	KIII	KII	KI	ZIV
Сильноагресивні $K > 0{,}50$	KV	KIV	KIII	KII	KI

[5–7]. Тому дослідження функціонального розподілу заходів первинного та вторинного захисту значною мірою визначає вимоги його регулювання з метою підтримання експлуатаційної надійності конструкцій при тривалій експлуатації об'єктів.

У зв'язку з цим важливим є оцінювання технологічної безпеки будівель та споруд на підставі п'яти принципів стратегії DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control) [8].

Ціллю статті є формування вимог регулювання протикорозійного захисту металевих конструкцій та розроблення методів сценарного управління техніко-економічними ризиками відновлення роботоздатності кородуючих конструкцій промислових об'єктів. Одним із чинників вирішення завдань часового і функціонального оцінювання надійності пропонується визначення коефіцієнта готовності протикорозійного захисту [5]. Урахування факторів невизначеності й ризику, вжиття заходів регулювання захисту від корозії при технічному обслуговуванні за фактичним станом конструкцій здійснюється за процедурою HAZOP і нормами менеджменту ризиків IEC / ISO 31010 [9, 10].

Визначальні параметри ризик-діагностики кородуючих конструкцій. Підтримання експлуатаційних характеристик роботоздатності металевих конструкцій, що піддаються впливу агресивних середовищ, забезпечується вимогами ДСТУ Б.2.6-193 із проектування захисту від корозії, правилами технологічної та технічної експлуатації будівель і споруд, а також рекомендаціями Посібника з контролю та відновлення протикорозійного захисту [11].

Нормальна експлуатація за умов розвитку деградаційних процесів залежить від встановленої концепції технічного обслуговування, що визначає вибір проектних рішень первинного та вторинного захисту від корозії:

- *f*-стратегії відмовостійкості протягом життєвого циклу конструкції (*fault-tolerance*);
- *s*-стратегії забезпечення живучості за фактичним станом конструкцій (*survivability*).

Результати аналізу теоретичних і експериментальних досліджень захисту від корозії та запобігання ризиків корозійного руйнування сталевих конструкцій у промисловій та цивільній сферах економіки України свідчать про необхідність контролювання стану існуючих конструкцій будівель та споруд задля попередження їх критичного зносу та спонтанних руйнувань із метою забезпечення технологічної безпеки цих промислових будівель і споруд.

Спектр визначень поняття технологічна безпека досить широкий, а концепція подолання загрози корозійного руйнування при впровадженні нових матеріалів і технологій перебуває у стадії формування. В роботах [12, 13] розглядаються критерії оцінки економічних і техніко-технологічних ризиків на методичній основі стандарту IEC 61882 «Hazard and operability studies (HAZOP studies)». При такому підході оцінка технологічної безпеки R_i (бал) є основним елементом для прийняття рішень на підставі ідентифікації ризику, аналізу та порівняльному визначенні заходів із відновлення роботоздатності та подовження проектного строку служби кородуючих конструкцій (див. табл. 1). Зазначені умови дозволяють розглядати процедуру ризик-діаг-

ностики кородуючих конструкцій у два етапи: моніторингу (R_i = 1–6 балів) і оцінювання живучості (R_i = 7–10 балів).

Критерії технологічної безпеки дають змогу сформувати вимоги до довговічності та ремонтопридатності, підтвердження яких при технічному обслуговуванні за фактичним станом відповідає умовам прийнятного рівня СПЗК. Таким чином, процедура ризик-діагностики містить можливість управління корозійною захищеністю конструкцій за умов прийнятого ризику, відповідно до заданого рівня корозійної небезпеки (захищеності) промислових об'єктів.

Класифікаційні ознаки класів ризиків СПЗК за процедурою HAZOP наведено у таблицях 2, 3.

Оцінювання параметрів роботоздатності кородуючих конструкцій виконується з урахуванням встановленої категорії відповідальності СПЗК відповідно до показників, наведених у таблиці 4.

За результатами моніторингу здійснюється підтвердження відповідності категорії відповідальності сталевих конструкцій. Умови первинного або вторинного резервування визначаються вимогами відповідності категорії відповідальності (див. табл. 4). Характеристики технічного стану СПЗК мають кількісні оцінки у вигляді часткового (в межах допустимого) зниження параметрів роботоздатності первинного захисту (коефіцієнт надійності γ_{zk}) та вторинного захисту (коефіцієнт надійності γ_{zn}, узагальнений показник

Таблиця 2

Ризики технологічної безпеки R_i (бал) залежно від рівня СПЗК, рівня загроз і вразливості конструкцій будівель і споруд

Рівень СПЗК	Рівень загрози (категорія технічного стану)														
	низький (I)			обмежений (II)			середній (III)			високий (IV)			граничний (V)		
	Оцінка вразливості (категорія відповідальності)														
	В	Б	А	В	Б	А	В	Б	А	В	Б	А	В	Б	А
ZI	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	5	5	6	6	7
ZII	1	2	2	2	3	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7
ZIII	2	2	3	3	3	4	4	4	5	5	6	6	7	7	7
ZIV	2	2	3	3	4	4	4	5	5	6	6	7	7	7	8
KI	2	3	3	4	4	4	5	5	6	6	7	7	7	8	8
KII	3	3	4	4	4	5	5	6	6	7	7	7	8	8	9
KIII	3	4	4	4	5	5	6	6	7	7	7	8	8	9	9
KIV	4	4	4	5	5	6	6	7	7	7	8	8	9	9	10
KV	4	4	5	5	6	6	7	7	7	8	8	9	9	10	10

Таблиця 3

Класифікація ознак техніко-економічних ризиків відновлення працездатності кородуючих конструкцій

Стан СПЗК	Клас ризику	Найменування ризику	Характеристика втрат	Показник R_i, бал	Розмір потенційного збитку, м.р.з.п.*
Корозійна небезпека	1	Катастрофічний	Часткове або повне руйнування будівель та споруд	9–10	> 72500
	2	Критичний	Втрати перевищують розрахункові суми валового доходу відновлення об'єктів	7–8	25000–72500
Корозійний захист	3	Допустимий	Втрати не перевищують розрахункові суми прибутку від подовження ресурсу та технологічного оновлення об'єктів	5–6	2500–25000
	4	Прийнятний	Втрати не перевищують витрат на підтримку якості впродовж терміну експлуатації	1–4	< 2500

* Мінімальний розмір заробітної плати

Таблиця 4

Параметри працездатності сталевих конструкцій за класом ризику СПЗК

Позначення категорії відповідальності	Умови первинного (ПР) та вторинного резервування (ВР)/вимога відповідності категорії відповідальності	Клас ризику	Інтервальна оцінка відмови за технічним критерієм		Коефіцієнт надійності	
			A_z	h_k, мкм	γ_{zn}	γ_{zk}
П1	ВР / Не допускає зниження декоративних властивостей вторинного захисту	3	0,85	–	0,99	0,95
		4	0,90		1,00	0,99
П2	ВР / Не допускає зниження захисних властивостей вторинного захисту	3	0,55	–	0,95	0,9
		4	0,60		0,99	0,95
П3	ПР / Допускає зниження захисних властивостей вторинного захисту	3	0,40	50	0,90	0,85
		4	0,45	30	0,95	0,9
П4	ПР / Допускає зниження характеристик первинного захисту	3	0,30	100	0,85	0,8
		4	0,35	70	0,90	0,85

захисних властивостей A_z, товщина продуктів корозії h_k під шаром лакофарбового покриття), які відповідають визначальним критеріям відмови захисних властивостей.

Ідентифікація загроз через корозійний стан або відхилення від нормальної експлуатації будівельних об'єктів створює необхідні умови для відновлення роботоздатності конструкцій шляхом підтримання або змінення рівня протикорозійного захисту.

Резервування рівня корозійної небезпеки (захищеності) передбачає зміну стану рівня захисту (KI–KV, ZI–ZIV) за рахунок збільшення проектних захисних властивостей у порівнянні з передбаченими (див. табл. 1) при техніко-економічному обґрунтуванні ризикознижувальних заходів.

Послідовність етапів процедури регулювання показників надійності (ПН) СПЗК приведена на рис. 1.

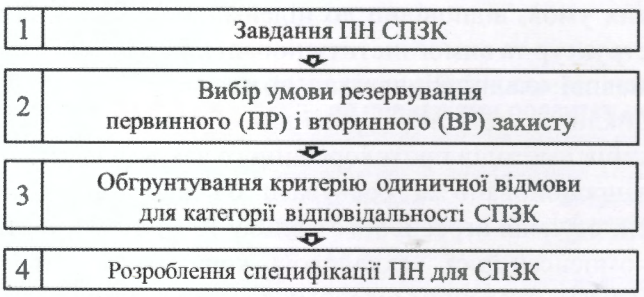


Рис. 1. Етапи управління протикорозійним захистом СПЗК

Виконання процедури ризик-діагностики дає змогу сформувати кількісну оцінку рівня технологічної безпеки за даними моніторингу кородуючих конструкцій та передбачити вжиття своєчасних заходів із відновлення роботоздатності шляхом регулювання рівня протикорозійного захисту промислових об'єктів з урахуванням прийнятного ризику СПЗК.

Методика оцінювання ризиків техніко-економічного захисту конструкцій. Відомо, що побудовані за галузевим і територіальним принципами типові методики обліку втрат від корозії і витрат на протикорозійний захист не відповідають вимогам інноваційного розвитку, обґрунтуванню інвестиційних проектів з освоєння ресурсоощадних матеріалів і технологій [9]. У сучасних умовах господарювання і формування ринкової економіки пропонується запровадження логістичного менеджменту захисту від корозії конструкцій і устаткування промислових об'єктів [10].

Сучасні вимоги до системи протикорозійного захисту передбачають безпеку, надійність та ефективність засобів і методів захисту від корозії на всіх стадіях життєвого циклу промислових об'єктів згідно з ДСТУ Б В.2.6-193. Термін служби конструкцій за умов первинного захисту (корозійна стійкість) визначається з урахуванням встановленого резерву несучої здатності і ступеня агресивності корозійних впливів на основі міцнісних розрахунків, за умов вторинного захисту – на основі аналізу проектних рішень конструкцій-аналогів, з урахуванням результатів розрахунково-вимірювального контролю якості систем захисних покриттів.

Для розкриття економічної суті заходів захисту від корозії запропоновано класифікаційні ознаки циклів розвитку основних засобів за умов корозійної небезпеки ($Q1$, $Q2$) або корозійного



Рис. 2. Матриця циклів економічного розвитку систем захисту основних засобів від корозії на засадах ресурсозбереження

захисту ($Q3$, $Q4$), які визначають норму дохідності СПЗК (рис. 2). При такому підході створюються умови для обґрунтування системи менеджменту захисту від корозії основних засобів, спрямованої на управління ризиками з використанням адаптаційних і превентивних інструментів підвищення ефективності роботи підприємств.

Висока капіталізація інновацій свідчить про використання витратного (ресурсного) підходу ($Q2$), пов'язаного із заходами короткочасного захисту ($K_g \leq 0{,}5$). А зростання довговічності СПЗК ($0{,}5 < K_g \leq 1$) надає можливість генерації прибутків, сприяє досягненню певної економічної вигоди від використання інноваційних матеріалів і технологій.

Важливою умовою раціонального використання систем протикорозійного захисту конструкцій є визначення рівня корозійного захисту або корозійної небезпеки основних фондів. Корозійне руйнування є компенсаційною складовою вартості конструкції, перенесеною на продукцію у вигляді грошової суми амортизації для відшкодування збитку. Таким чином, компенсаційна складова корозійних втрат відображає розмір фінансових коштів, пов'язаних із втратою показників якості і довговічності конструкцій та їх захисних покриттів.

Наголосимо, що ідентифікація та аналіз ризиків надзвичайно важливі як необхідні етапи прийняття управлінських рішень для підприємств, у структурі яких експлуатуються основні фонди тривалої експлуатації. Таким чином, інвестиційні ризики протикорозійного захисту промислових об'єктів визначають: втрачення вигоди; зниження прибутковості; прямі фінансові втрати, пов'язані із вибором заходів відновлення виробничих фондів.

На підставі викладеного запропоновано ознаки ризикознижувальних моделей, які закладені у функціонування організаційно-економічного механізму управління корозійним захистом основних фондів підприємств (рис. 3):

- *модель антикризового управління* відображає стан корозійної небезпеки деградації і руйнування основних фондів промислових підприємств;
- *модель витратного інерційного розвитку* характерна для процесів управління за відсутності економічних умов стимулювання та зростання показників ефективності промислових підприємств;
- *стимулююча модель* набуває переважного значення за нових умов ринкових відносин за рахунок часткового зняття обмежень інерційного розвитку і необхідності реалізації конкурентного потенціалу при технологічному оновленні та подовження ресурсу промислових об'єктів;
- *модель інноваційно-інвестиційного розвитку* є найбільш прийнятною для бізнесу.

Така модель використовує конкурентні переваги підвищення якості, надійності і безпеки промислових об'єктів для перетворення інноваційних факторів в основне джерело економічного зростання.

Система заходів протикорозійного захисту містить взаємопов'язані і взаємообумовлені економічні регулятори, що функціонують за ринкових умов, відповідно до цілей підприємницьких структур та вимог інституціональних органів державної влади. Відповідно до сценаріїв розвитку циклів захисту від корозії для обґрунтування засобів і методів протикорозійного захисту (ЗМПЗ) запропоновано застосовувати збалансовані індекси: ступеня агресивного впливу (САВ, г/м^2 · рік); компенсаційної складової корозійних втрат (КСКВ, грн); рівня ризику корозійної захищеності (РРКЗ); норми дохідності інновацій (НД); інтегральної ефективності протикорозійного захисту (ІЕ); коефіцієнт фондовіддачі (КФВ). Розроблені рекомендації з якісної та кількісної оцінки РРКЗ дають змогу обґрунтувати ЗМПЗ у відповідності до вимог ДСТУ Б В.2.6-193.



Рис. 3. Складові організаційно-економічного механізму управління корозійною захищеністю конструкцій та споруд

Методичний підхід до регулювання протикорозійним захистом за індексом рівня ризику дає можливість застосувати інноваційно-інвестиційні моделі постійного удосконалення СПЗК, визначитися з напрямками мотивації власників до застосування матеріалів і технологій довготривалого захисту будівель та споруд промислових об'єктів [14].

Приклади використання об'єктивних даних контролінгу протикорозійного захисту на виробничих об'єктах ПрАТ «Донецьксталь» при відновленні та продовженні термінів служби виробничих об'єктів, які дозволяють усунути невизначеність при оцінюванні ефективності інвестиційних проектів, наведені у таблицях 5, 6. Здійснення моніторингу захисту від корозії для визначення ступеня агресивності середовища A_n, (г/м^2·рік) у випадку оцінювання індексу РРК дає змогу зменшити невизначеність терміну служби захисних покриттів T_z (рік).

Сутність оцінювання економічної ефективності заходів захисту від корозії полягає у застосуванні реєстраційного або розрахунково-вимірювального методу показників якості СПЗК за вимогами ДСТУ Б В.2.6 згідно з Технічним регламентом будівельних виробів, будівель і споруд.

Таким чином, створюються умови якості, надійності й безпеки конструкцій та споруд промислових підприємств для запровадження процедури управління протикорозійним захистом на принципах «ощадливого господарювання» концепції Lean Six Sigma.

Таблиця 5

Результати розрахунку збалансованих індексів корозійної захищеності виробничих фондів за сценаріями розвитку циклів протикорозійного захисту

Показник	Сценарій розвитку циклів ПЗ			
	антикризовий (сценарій 1)	витратний (сценарій 2)	стимулюючий (сценарій 3)	збалансований (сценарій 4)
КФВ	10,5	10,5	10,5	25,3
САВ, г/м^2·рік	1200	1200	1800	1300
КСКВ, тис. грн.	237,9	153,4	2387,5	1731,6
НД	–	1,1	0,7	1,4
РРКЗ	–	–	0,61	0,57
ІЕ, грн./м^2·рік	–	–	6,9	10,7
ЕЕЗЗ, тис. грн.	–	–	1573	1010,1

Таблиця 6

Очікувані результати реалізації економічного механізму управління корозійною захищеністю виробничих фондів

Досліджувані підприємства	Корозійна небезпека (2010–2015 рр.)			Протикорозійний захист (2020 р)
	Економічне спрацювання (знос), тис. грн.	Ступінь зносу споруд (%)	КСКВ, тис. грн.	КСКВ, тис. грн.
ПраТ «Донецьксталь»	1421349	23,8	11844,6	10067,9
ПАТ «Шахтоуправління «Покровське»	41637862	25,1	31228,4	28105,5
ПАТ «Ясинівський КХЗ»	11015479	46,4	132185,7	125576,4
ПАТ «МКХЗ»	339709	29,1	35095,6	32288,0
Усього:			210354,3	196037,8

Висновки. Технічне регулювання протикорозійним захистом може бути досягнуто за умов впровадження методів ризик-діагностики сталевих конструкцій на підставі оцінювання параметрів дієздатності заходів первинного та вторинного захисту.

Розроблено класифікацію класів техніко-економічних ризиків відновлення роботоздатності кородуючих конструкцій. Виконано адаптацію методів аналізу ризиків щодо виникнення аварійних ситуацій за процедурою HAZOP стосовно задач оцінювання та резервування роботоздатності, що дає змогу ідентифікувати загрози і приймати рішення з управління рівнем технологічної безпеки конструкцій та їх захисних покриттів.

Запропоновано умови визначення циклів економічного розвитку систем захисту основних засобів щодо регулювання терміну експлуатації і оновлення промислових об'єктів. Визначено техніко-економічні параметри, які визначають прибутковість інновацій з урахуванням реальної капіталізації промислових об'єктів та вимог узагальненої матриці вибору рівня техніко-економічного захисту. Наведено практичні приклади сценарного управління з використанням ризико-знижувальних моделей щодо зменшення економічних та техніко-економічних ризиків при відновленні кородуючих конструкцій.

Отримані результати пропонуються для застосування при розробленні нормативних положень на заміну Посібника к СНиП 2.03.11-85 [11].

[1] ДСТУ Б В.2.6-193:2013 Захист металевих конструкцій від корозії. Вимоги до проектування. – Мінрегіон України. – 74 с.

[2] *Похмурський В.І.* Розвиток досліджень у галузі корозії матеріалів в Україні / В.І. Похмурський // ФМІ ім. Г.В. Карпенко НАН України. – Львів: ТзОВ «Простір-М», 2010. – 44 с.

[3] *Шимановский А.В.* Техническая диагностика и предупреждение аварийных ситуаций конструкций зданий и сооружений / А.В. Шимановский, В.Н. Гордеев, В.П. Королёв и др. – К. : Изд-во «Сталь», 2008. – 462 с.

[4] *Королёв В.П.* Современные подходы к менеджменту качества противокоррозионной защиты и коррозионному контролю металлоконструкций/ В.П. Королёв, А.А. Рыженков, А.Н. Гибаленко // Промислове будівництво та інженерні споруди. – 2009. – № 4. – С. 7–11.

[5] *Корольов В.П.* Проблеми ресурсу і технологічної безпеки металевих конструкцій у корозійних середовищах. Розробки і практичний досвід менеджменту надійності будівельних об'єктів / В.П. Корольов, Г.А. Герман, О.М. Гібаленко та ін. // Прес-досьє ДонЦТБ ТОВ «Укрінсталькон ім. В.М. Шимановського». – Маріуполь : ДВНЗ «ПДТУ», 2015. – 74 с.

[6] *V. Korolov.* Management of the Quality of Corrosion Protection of Structural Steel Based on Corrosion Risk Level / V. Korolov, Yu. Filatov, N. Magunova, P. Korolov / Journal of Materials Science and Engineering A & B, V.3, No. 11. NewYork: David Publishing Company, 2013. Pp. 740 – 747.

[7] *Королёв В.П., Кущенко И.В.* Нормативное регулирование надежности и безопасности систем противокоррозионной защиты металлоконструкций // Промышленное и гражданское строительство. – М.: – 2016. – № 1. – С. 37–42.

[8] *Гібаленко О.М.* Методологічні підходи до забезпечення якості та надійності протикорозійного захисту будівельних металоконструкцій / О.М. Гібаленко // Промислове будівництво та інженерні споруди. – 2016. – № 1. – С. 7–18.

[9] *Белопольський М.Г.* Управління ризиками корозійної небезпеки як чинник сталого розвитку промислових підприємств / М.Г. Белопольський, П.В. Корольов // Економічний вісник Донбасу: науковий журнал. – Київ – Старобільськ, № 2 (48), 2017, с. 168–176. [Електроний ресурс] – Режим доступу: http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/123499 (0,79/0,39 д.а.) /

[10] *Королёв П.В.* Экономический механизм риск-анализа коррозионной опасности промышленных объектов // Сб. публ.: Научный журнал «Globus», 2016. – С. 69–73.

[11] Пособие по контролю состояния строительных металлических конструкций зданий и сооружений в агрессивных средах, проведению обследований и проектированию восстановления защиты конструкций от коррозии (к СНиП 2.03.11-85) / Сост.: Голубев А.И., Горохов Е.В., Королев В.П. и др. – М.: Стройиздат, 1989. – 51 с.

[12] *Клыков В.М.* Курс стальных конструкций: теория и практика / В.М. Клыков, В.П. Королёв, А.А. Рыженков, Ю.Ф. Филатов / Под общ. ред. Королёва В.П. – К.: изд-во «Сталь», 2016. – 575 с.

[13] *Korolov V.* Structural Survivability Reserve Planning Based on Analysis of Corrosion Hazard of Industrial Facilities / V. Korolov, T. Godun, P. Korolov, T. Trofimchuk / European Corrosion Congress, 20th International Corrosion Congress & Process Safety Congress // 3–7 September 2017, Prague, Czech Republic. // Book of Abstracts, p. 639.

[14] *Корольов П.В.* Науково-методичні та прикладні засади управління корозійною захищеністю основних фондів промислових підприємств / П.В. Корольов // Ефективна економіка. – 2017. – № 12. [Електроний ресурс] – Режим доступу: http://www.economy.nayka.com.ua

Надійшла 12.06.2019 р.

УДК 621.09.536.2-192

ВИЗНАЧЕННЯ ВТРАТ ПРИ ПЕРЕДАЧІ ЗУСИЛЬ З ДОМКРАТА НА АНКЕР В АРМАТУРНИХ КАНАТАХ ЗАХИСНОЇ ОБОЛОНКИ

У статті визначена розрахунком втрата зусиль в арматурних канатах при їх передачі з гідравлічного домкрата на анкер із врахуванням усадки внаслідок: стиснення бетону під гайкою анкера; деформації зубів різі гайки і гільзи анкера; вибірки проміжків між зубами гайки і гільзи анкера та внаслідок зміщення упора домкрата.

The article determines the calculation of the loss of effort in the AK when they are transferred from the hydraulic jack to the anchor. The following factors are taken into account: shrinkage due to compression of concrete under the anchor nut; shrinkage due to deformation of the thread of the nut thread and the anchor sleeve; shrinkage due to the selection of gaps between the teeth of the nut and the anchor bolt; shrinkage due to displacement of the jack stops.

Ключові слова: захисна оболонка, герметична огорожа, максимальна проектна аварія, арматурний канат, реакторне відділення, атомна станція.

Визначення розрахунком мінімальних зусиль в арматурних канатах (АК), які забезпечать міцність та герметичність захисної оболонки (ЗО) реакторного відділення (РВ) АЕС при максимальній проектній аварії, включає декілька задач. Зокрема визначення: міцності залізобетонних конструкцій ЗО з урахуванням пошкоджень для будь-якої комбінації зусиль в АК; герметичності сталевого облицювання для будь-якої комбінації надлишкового тиску і градієнта температури; втрат в АК при передачі зусиль з гідравлічного домкрата на анкерний пристрій залежно від розташування, технічного стану АК і каналу; визначення розрахунком реологічних змін в АК і в каналі протягом експлуатації. Експериментальні дослідження цієї задачі викладені в [4]. Але відсутні співвідношення, які дозволяють розрахунком визначати втрати зусиль при їх передачі з гідравлічного домкрата на анкерний вузол для АК купола і циліндра ЗО залежно від характеристик поверхонь арматури і каналу, від наявності іржі і уламків, від видовження і профілю арматури, траєкторії каналу, зусиль в АК.

Мета статті. Визначити розрахунком втрати при передачі зусиль з гідравлічних домкратів на анкерні пристрої АК для виявлення мінімальних зусиль у домкратах при натягненні АК.

Розташування анкерних пристроїв АК на ЗО реакторного відділення приведено на рис. 1.

При передачі зусиль з домкрата на анкерний пристрій відбувається усадка анкера (зменшення його довжини), місцева деформація бетону, вибірка зазорів у нарізних з'єднаннях тощо. Внаслідок цього довжина розтягнутого АК, а також деформації і напруження в їх дротах зменшуються і відбувається втрата зусиль в АК при їх передачі з гідравлічного домкрата на анкер.



Т.І. Матченко
провідний інженер
АТ «Київський науково-дослідний та проектно-конструкторський інститут «Енергопроект», к.т.н.

Загальний вигляд анкерних пристроїв приведений на рис. 2. Схема з'єднання гайки і гільзи анкерного пристрою АК приведена на рис. 3. Загальний вигляд гідравлічного домкрата, який застосовується на АЕС України, показаний на рис. 4.

Усадка анкера Δ_Σ в абсолютних величинах (мм) включає: усадку Δ_1 – внаслідок стиснення бетону під гайкою анкера; усадку Δ_2 – внаслідок деформації зубів різі гайки і гільзи анкера; усадку Δ_3 – внаслідок вибірки проміжків між зубами гайки і гільзи анкера; усадку $\Delta_4 = 2$ мм внаслідок зміщення упора домкрата.

В загальному вигляді

$$\Delta_\Sigma = \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \Delta_4.$$



Рис. 1. Розташування анкерних пристроїв АК на ЗО реакторного відділення

© Матченко Т.І.

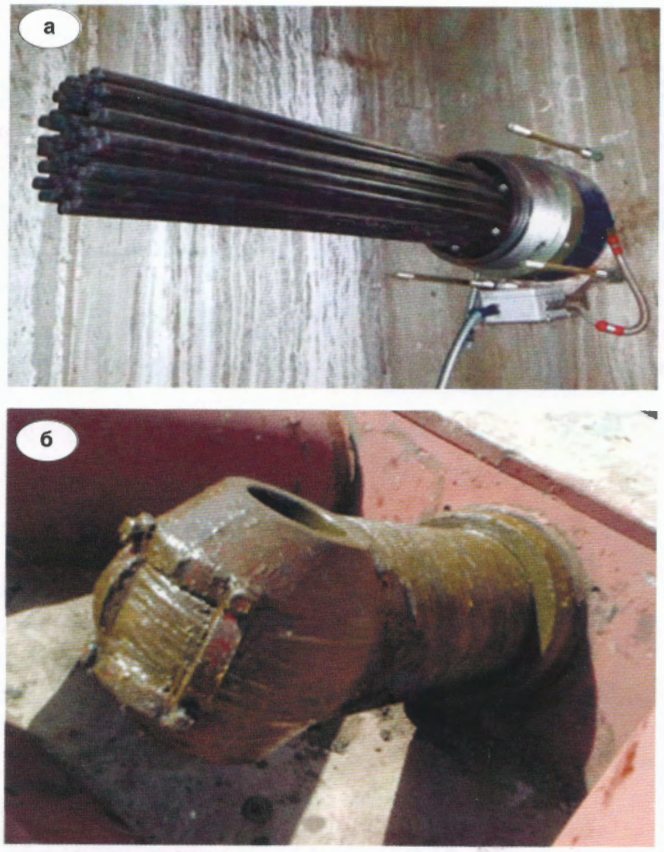


Рис. 2. Загальний вигляд анкерних пристроїв:
а – без коуша; **б** – з коушом

Розрахунок переміщень під гайкою анкерного вузла Δ_1 був виконаний методом скінченних елементів (СЕ) з використанням ПК SCAD для локального фрагмента ЗО. Напружено-деформований стан сталевих і бетонних елементів вузла моделювався з застосуванням об'ємних СЕ. Результати розрахунку переміщень для зусилля в АК, що дорівнює 760 тс (оптимальні для купола), приведені на рис. 5.

Очевидно, що для зусилля в АК, що дорівнює 760 тс, максимальні переміщення під гайкою становлять 0,72 мм. Виходячи з лінійної залежності між зусиллями в анкері (або в АК) і переміщеннями, величина Δ_1 зусиль визначається за формулою

$$\Delta_1 = \frac{P}{760} \cdot 0{,}72 \text{ мм}.$$

Розрахунок переміщень Δ_2 **внаслідок деформації зубів різі гайки і гільзи**. У відповідності з маркуванням різі гайки з 360×16×45°, діаметр упорної силової гайки становить 360 мм, крок різі 16 мм, кут нахилу зубів 45° (рис. 6). При висоті гайки 140 мм і кроці різі 16 мм гайка має $n = 8$ зубів.

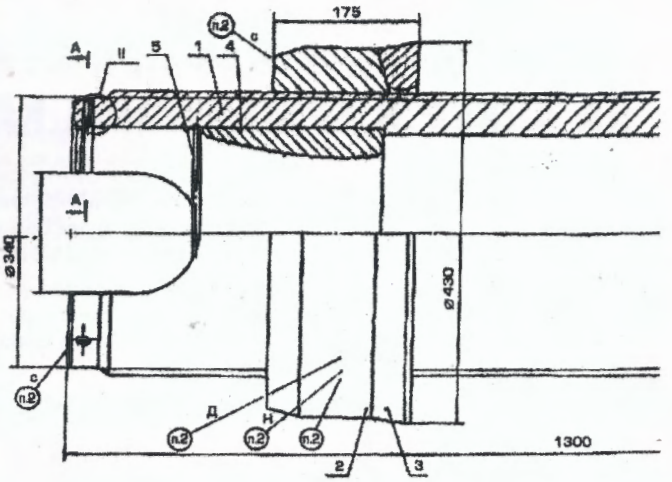


Рис. 3. Схема з'єднання гайки і гільзи анкерного пристрою АК:
1 – гільза; **2** – гайки; **3** – наплавлення для упору гайки на бетон; **4** – внутрішня гайка з конічним отвором; **5** – упор для внутрішньої гайки в гільзі

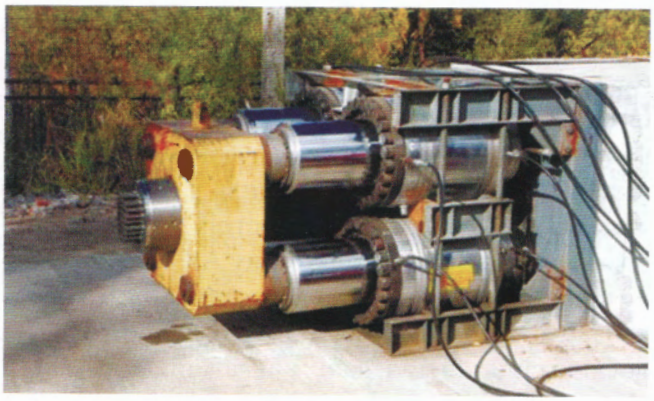


Рис. 4. Загальний вигляд гідравлічного домкрата, який застосовується на АЕС за ТУ У 29.2-34359707-012:2010

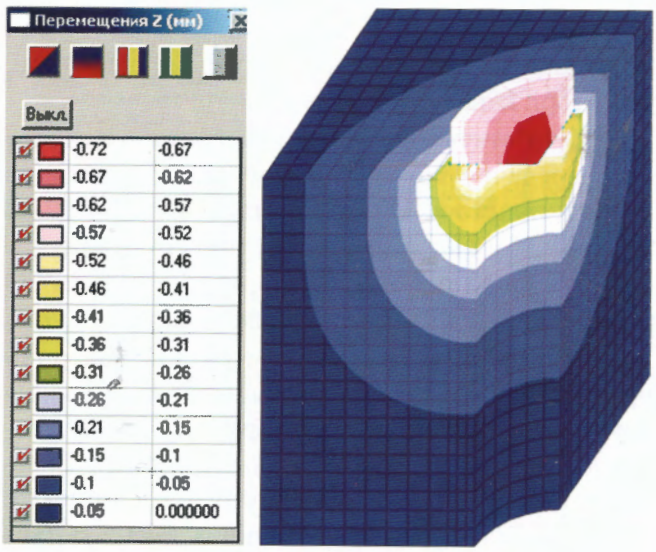


Рис. 5. Чверть розрахункової схеми МСЕ та значення переміщень вздовж осі АК (мм) під гайкою анкерного вузла для зусилля 760 тс

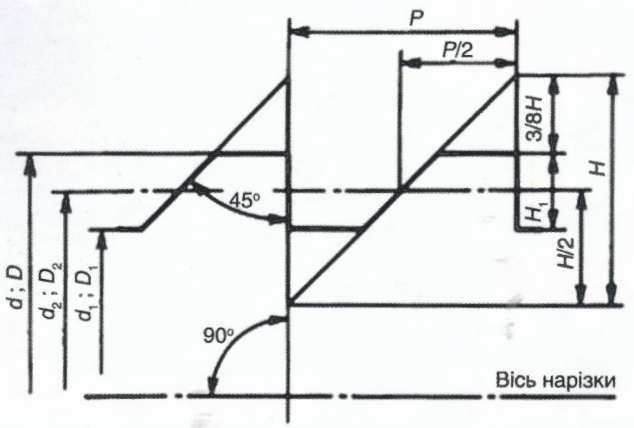


Рис. 6. Силова різь у відповідності з ГОСТ 13535-87

Розміри зубів різі приведені в таблиці 1.

Таблиця 1

(Таблиця 9 з ГОСТ 13535-87) в мм

Шаг P	$H = P$	$\frac{H}{2} = \frac{P}{2}$	$H_1 = 0{,}25P$
10	10	5	2,5
12	12	6	3,0
16	16	8	4,0
20	20	10	5,0
24	24	12	6,0
32	32	16	8,0
40	40	20	10,0
48	48	24	12,0
56	56	28	14,0
64	64	32	16,0
72	72	36	18,0
80	80	40	20,0

У першому приближенні приймаємо, що зусилля розподіляються рівномірно між усіма $n = 8$ зубами різі. Для різі з кроком 16 мм середня ширина одного зуба становить $P/2 = 8$ мм, висота $H_1 = 4$ мм.

Переміщення середньої за висотою точки зуба Δ_2 від зусилля P визначається за формулою

$$\Delta_2 = \frac{P(H_1)^3}{n \cdot 3EI},$$

де E – модуль пружності сталі, який дорівнює $2{,}06 \cdot 10^5$ МПа; I – момент інерції одного зуба різі, який визначається за формулою

$$I = \frac{BH_1^3}{12}.$$

Для $D = 340$ мм, або 0,34 м, $B = 0{,}008$ м; $H_1 = 0{,}004$ м, $I = 4{,}27 \cdot 10^{-11}$ м^4. Для $P = 7{,}6$ МН значення Δ_2 дорівнює

$$\Delta_2 = \frac{P(H_1)^3}{n \cdot 3EI} = \frac{7{,}6 \cdot 0{,}004^3}{8 \cdot 3 \cdot 2{,}06 \cdot 10^5 \cdot 4{,}27 \cdot 10^{-11}} = 0{,}002 \text{ м}.$$

Тоді для будь-якого зусилля в АК у МН величина Δ_2 визначається за формулою

$$\Delta_2 = \frac{P}{7{,}6} \cdot 0{,}002 \text{ м}.$$

Розрахунок переміщень Δ_3 анкера внаслідок вибірки проміжків між зубами різі. У відповідності з рис. 4 та таблицею 5 ГОСТ 13535-87 проміжки між зубами різі визначаються за рис. 7.

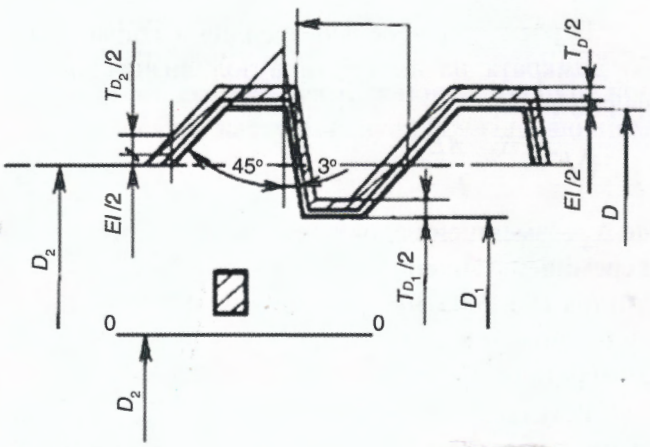


Рис. 7. Проміжки у різі

Згідно зі згаданою таблицею значення EI, T_D визначаються за ГОСТ 25346 і ГОСТ 25347. У відповідності з ГОСТ 25347 для $IT11(T_D) = 0{,}36$ мм; для $EI(D11) = 0{,}57$ мм. Проміжок для будь-яких зусиль в АК дорівнює

$$\Delta_3 = \frac{EI}{2} + \frac{T_D}{2} = \frac{0{,}36}{2} + \frac{0{,}57}{2} = 0{,}46 \text{ мм}.$$

Сумарне переміщення анкерного вузла при передачі зусилля (МН) з домкрата на анкер визначається за формулою

$$\Delta_\Sigma = \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \Delta_4 =$$

$$= \frac{P}{7{,}6} \cdot 0{,}00072 + \frac{P}{7{,}6} \cdot 0{,}002 + 0{,}00046 + 0{,}002 \text{ м}.$$

Тоді для АК циліндра

$$\Delta_\Sigma = \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \Delta_4 = \frac{7{,}8}{7{,}6} \cdot 0{,}00072 + \frac{7{,}8}{7{,}6} \cdot 0{,}002 +$$

$$+ 0{,}00046 + 0{,}002 = 0{,}0051 \text{ м}.$$

Для АК купола

$$\Delta_\Sigma = \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \Delta_4 = \frac{7{,}6}{7{,}6} \cdot 0{,}00072 + \frac{7{,}6}{7{,}6} \cdot 0{,}002 +$$

$$+0{,}00046 + 0{,}002 = 0{,}00503 \text{ м}.$$

При натягненні АК завдовжки l зусиллям F, подовження Δ кожного дроту визначається за формулою

$$\Delta = \frac{Fl}{AE_S}; \qquad A = nA_5,$$

де A_5 – площа перетину одного дроту ∅ 5 мм, м^2 ($A_5 = 0{,}000019625$ м^2); n – кількість дротів в одному АК ($n = 456$ шт); E_S – модуль пружності сталі дротів.

$E_S = 1{,}9 \cdot 10^5$ МПа; $A = 0{,}00895$ м^2.

Втрати при передачі зусилля з гідравлічного домкрата на анкерний вузол визначають за формулою

$$\Delta F = \frac{\Delta_\Sigma \cdot AE_S}{l},$$

де Δ_Σ – зменшення довжини дротів АК внаслідок переміщень анкерного вузла на 5,1 мм для циліндра і на 5,03 мм для купола; ΔF – втрати зусиль внаслідок їх передачі з гідравлічного домкрата на анкер.

Результати вимірювань втрат зусиль, отриманих за допомогою датчиків сили ПСІ-01 (рис. 8) на 4-му енергоблоці Калінінської АЕС, показали, що при передачі навантаження з домкрата на анкер відбуваються значні втрати зусиль в АК. Так в циліндрі ЗО втрати зусиль в середньому становлять 11,7 %, а в куполі 14,15 % від зусилля в АК.

Вочевидь довжина каната l_a, на якому відбуваються втрати зусиль ΔF, визначається з умови

$$\Delta F = \Delta P,$$

де ΔP – величина втрат зусиль внаслідок тертя АК по стінках каналу та зміни кута траєкторії каната в ньому.

У свою чергу, згідно з п. 3.3.5.6 [5]

$$\Delta P = P_{netto} - P_{netto}(e^{-\mu(kl_2+\theta_2)}),$$

де P_{netto} – зусилля на анкері АК; l_2 – довжина каната, яка дорівнює l_a; θ_2 – кут відхилу осі АК в точці l_a в порівнянні з точкою АК в анкері; k – коефіцієнт втрат на тертя АК по каналу на 1 м; μ – коефіцієнт тертя між арматурою і каналом (для арматурних пучків з натягненням на упори μ змінюється від 0,25 до 0,089), що залежить від:

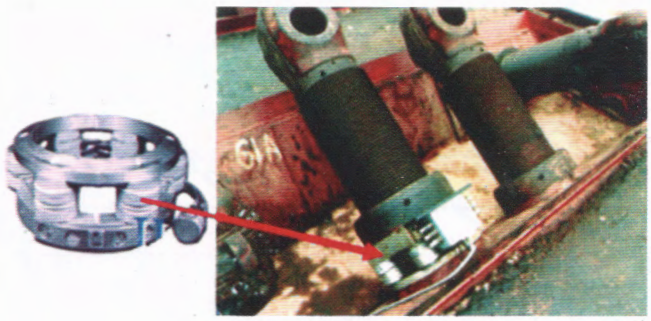


Рис. 8. Датчик сили ПСІ-01 для вимірювання втрат зусиль в АК

характеристик поверхонь арматури і каналу, наявності іржі і уламків, видовження арматури і профілю арматури.

Отже, для нових РВ, в яких АК і канали мають захисні покриття, що зменшують коефіцієнт тертя, $\mu = 0{,}089$, а для РВ, які експлуатуються понад 30 років, ці покриття кристалізуються, що збільшує коефіцієнт тертя. Виходячи з консервативних міркувань, слід приймати $\mu = 0{,}25$ для АК, що експлуатуються понад 30 років.

Нехтуючи kl_2, отримаємо кут θ_2 відхилу траєкторії каната, який відповідає його довжині l_a, на якій відбуваються втрати зусиль в АК при їх передачі з домкрата на анкер,

$$\theta_2 = \theta_a = \frac{\ln\left(\frac{P_{netto}}{P_{netto} - \Delta P}\right)}{\mu}.$$

На підставі експериментальних досліджень [4] встановлено, що для АК, які експлуатуються понад 30 років, в середньому:

- для купола

$$\frac{\Delta P}{P_{netto}} = 0{,}1415;$$

- для циліндра

$$\frac{\Delta P}{P_{netto}} = 0{,}117.$$

Тоді

- для купола

$$\theta_2 = \theta_a = \frac{\ln\left(\frac{1}{1-0{,}1415}\right)}{0{,}25} = 0{,}6 \text{ рад};$$

- для циліндра

$$\theta_2 = \theta_a = \frac{\ln\left(\frac{1}{1-0{,}117}\right)}{0{,}25} = 0{,}49 \text{ рад}.$$

Для АК купола значна зміна кута повороту АК проявляє себе біля опорного кільця. До точки $\theta_2 = 0{,}6$ рад значення $l_a \approx 9$ м. Тоді:

$$F_{АНК} = \Delta F = \frac{0{,}00503 \cdot 0{,}00895 \cdot 190000}{9} = 0{,}95 \text{ МН}.$$

З рис. 9 видно, що для циліндричної частини зміна кута траєкторії АК різко відбувається на довжині ≈12 м.

Для циліндра до точки $\theta_2 = 0{,}49$ рад значення $l_a \approx 12$ м. Тоді:

$$F_{АНК} = \Delta F = \frac{0{,}0051 \cdot 0{,}00895 \cdot 190000}{12} = 0{,}722 \text{ МН}.$$

Зусилля, яке повинно бути в гідравлічному домкраті при черговому підтягуванні АК, визначається за формулою

$$F_{ГД} = F_{АКnetto} + F_{ККД} + F_{АНК} + F_{РЕЛ},$$

де $F_{ГД}$ – зусилля, якого необхідно досягти в гідравлічному домкраті при підтягуванні АК, виходячи з умови, що при черговому підтягуванні АК через 2 роки зусилля в АК не буде меншим ніж $F_{АКnetto}$;

$F_{АКnetto}$ – зусилля в АК, яке є «чистим» на час, коли повинно відбутися їх підтягування або контроль;

$F_{ККД}$ – втрати зусиль, які обумовлені коефіцієнтом корисної дії гідравлічного домкрата;

$F_{АНК}$ – втрати внаслідок передачі зусилля з гідравлічного домкрата на анкер;

$F_{РЕЛ}$ – втрати зусилля, які обумовлені релаксацією напружень в дротах АК і які можна визначити у відповідності з [1].

Згідно з п. 10.1 [2] значеннями $F_{ККД}$ можна знехтувати. В відповідності з [1] значення $F_{РЕЛ}$ становить 5 % від значення $F_{АКnetto}$ для АК, які експлуатуються більше 4 років, і 15 % для АК, які експлуатуються менше 2 років. Встановлено [2], що в канатах, що експлуатуються понад 30 років, значення $F_{РЕЛ}$ становить менше 1 % від значення $F_{АКnetto}$ протягом періоду між черговими підтягуваннями.

На підставі виконаних досліджень [2] встановлено, що мінімальні зусилля в АК забезпечують міцність і герметичність РВ при комбінації навантажень: максимальна проектна аварія плюс максимальний розрахунковий землетрус дорівнюють $F_{АКnetto} = 760$ тс для купола і $F_{АКnetto} = 780$ тс для циліндра.

При черговому (один раз на 2 роки) підтягуванні АК, які експлуатуються понад 30 років, необхідно досягти наступних зусиль у гідравлічних домкратах:

- для купола

  $F_{РЕЛ} = 7{,}6$ тс;

  $F_{ГД} = 760 + 95 + 7{,}6 = 862{,}6$ тс;

- для циліндра

  $F_{РЕЛ} = 7{,}8$ тс;

  $F_{ГД} = 780 + 72{,}2 + 7{,}8 = 860$ тс.

Відношення становлять:

- для купола

  $$\frac{\Delta F}{F_{netto}} = \frac{95}{760} = 0{,}125;$$

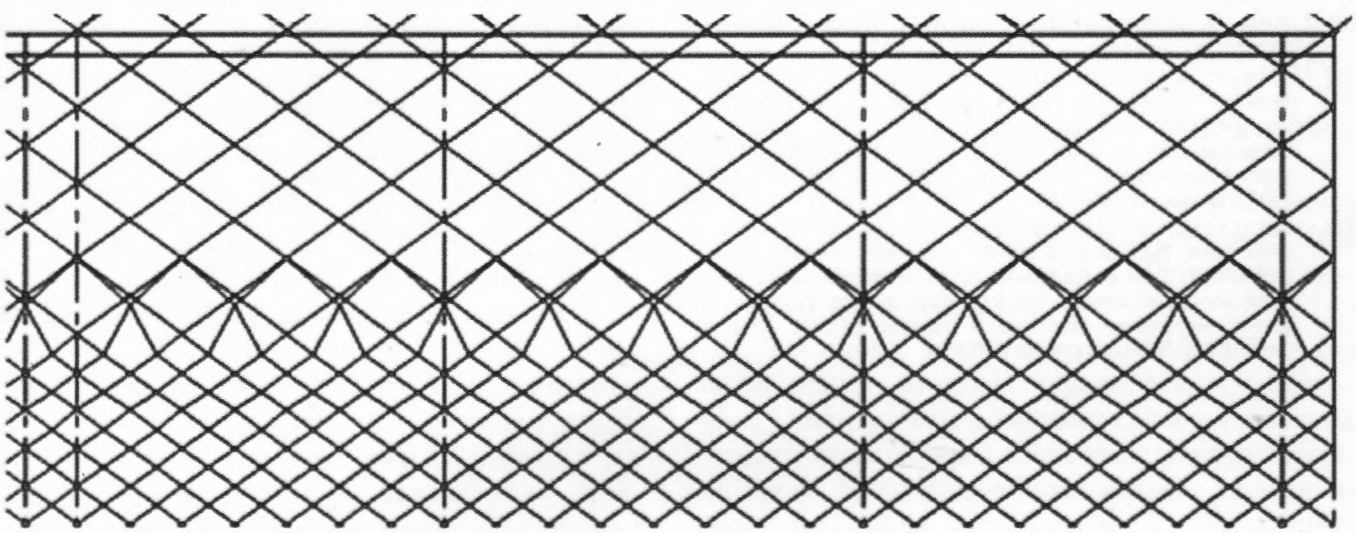


Рис. 9. Траєкторія АК у верхній частині циліндра ЗО

- для циліндра

$$\frac{\Delta F}{F_{netto}} = \frac{72{,}2}{780} = 0{,}092.$$

Отримані результати добре узгоджуються з результатами експериментальних досліджень [4].

Запропонована процедура була застосована при визначенні розрахунком втрати зусиль при їх передачі з гідравлічного домкрата на анкерний вузол для АК купола і циліндра ЗО енергоблока № 4 ЗАЕС [2, 3].

Слід зауважити, що багатократне підтягування АК призводить до вичерпання їх деформаційного ресурсу.

Розрахунок залишкового деформаційного ресурсу дротів АК. Під час підтягування арматурних канатів їх довжина збільшується, збільшуються також сумарні деформації повзучості. При цьому сумарна деформація будь-якого дроту каната ε_Σ, яка включає в себе деформацію повзучості і пружності, не повинна перевищувати значення δ_{max} (див. табл. 2), інакше відбудеться розрив дроту. Коефіцієнт деформаційного запасу n_ε дроту визначається за формулою

$$n_\varepsilon = \frac{\delta_{max} - \varepsilon_\Sigma}{\delta_{max}}.$$

У випадку, коли $n_\varepsilon = 0$ відбудеться розрив дроту. Для контролю залишкового деформаційного ресурсу АК необхідно моніторити накопичені деформації повзучості протягом усієї експлуатації окремих АК.

Таблиця 2

Характеристичні значення механічних характеристик сталевих дротів АК на початку експлуатації (t = 0)

Марка сталі 65С2ВА у відповідності з ГОСТ 14959-76 та 60С2ХФА за ГОСТ 14959-79	Тимчасовий опір дроту σ_B, Н/мм^2 або МПа	Умовна межа текучості дроту σ_{02}, Н/мм^2 або МПа	Відносне подовження до δ_{max} і після розриву, А, дроту %
65С2ВА	1860	1650	3,5 і 5
60С2ХФА	1670	1470	4 і 6

Висновки.

1. Отримані співвідношення дозволяють розрахунком визначати втрати зусиль при їх передачі з гідравлічного домкрата на анкерний вузол для АК купола і циліндра ЗО залежно від характеристик поверхонь арматури і каналу, наявності іржі і уламків бетону, видовження арматури і профілю арматури, траєкторії каналу, зусиль в АК.

2. Визначені розрахунком втрати деформацій АК і зусиль при їх передачі з гідравлічного домкрата на анкерний вузол для АК купола і циліндра ЗО, які експлуатуються понад 30 років.

[1] ГНД 306.7.02/3.006 98 Методика прогноза усилий в армоканатах системы преднапряжения защитных оболочек энергоблоков ВВЭР 1000 АЭС. – Киев: «Минэкобезопасности Украины – ГНТЦ ЯРБ», 1998.

[2] 181712.218.001РК00 ОП «Запорожская АЭС» Энергоблок № 4. Выполнение расчетного обоснования надежности СГО ЛСБ энергоблока № 4 на соответствие требованиям действующих НД (по определению допустимых усилий натяжения арматурных канатов СПЗО) Этап 1 181712.218.001.РК00, ред. 3 (Инв № 518-Р/1- 518/3), КИЭП.

[3] 181712.218.002.РК00. ОП «Запорожская АЭС» Энергоблок № 4. Выполнение расчетного обоснования надежности СГО ЛСБ энергоблока № 4 на соответствие требованиям действующих НД (по определению допустимых усилий натяжения арматурных канатов СПЗО). Этап 2 ред.1 (Инв. № 522-Р), 2018, КИЭП.

[4] *Медведев В.Н., Ульянов А.Н.* Сравнительный анализ системы предварительного натяжения защитной оболочки АЭС / Известия ВУЗов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2008, – С. 99–105.

[5] ДСТУ Б В.2.6-156:2010 Залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування. [Прийнято та надано чинності наказом Мінрегіонбуду України від 28 грудня 2010 р. № 566, чинний з 1 червня 2011 р.]

Надійшла 30.10.2018

УДК 69.055 : 69.003

ВПЛИВ РИЗИКІВ НА ТРИВАЛІСТЬ ТА ВАРТІСТЬ БУДІВНИЦТВА ТОРГОВЕЛЬНО-РОЗВАЖАЛЬНОГО ЦЕНТРУ

Стаття містить результати чисельного дослідження впливу інфляційних та погодних ризиків на тривалість та вартість будівництва торговельно-розважального центру. Наведена методика дослідження. Шляхом аналізу літератури визначені найбільш вагомі ризики проекту та їхній чисельний вимір. Проведене моделювання вартості та тривалості будівництва торговельно-розважального центру при різних варіантах організаційних та фінансових умов, вибрані найбільш характерні варіанти. Для цих варіантів розраховано значення вартості та тривалості будівництва при впливі зазначених ризиків.

The article contains the results of a numerical study of the impact of inflation and weather risks on the duration and cost of building a shopping and entertainment center. The research method is given. By analyzing the literature, the most significant project risks and their numerical size are identified. A simulation of the cost and duration of the construction of a shopping and entertainment center under various organizational and financial conditions has been carried out, the most typical variants are selected. For these options, the value of the cost and the duration of construction has been calculated in the event of exposure to these risks.

Ключові слова: організація будівництва, цивільне будівництво, торговельно-розважальний центр, тривалість, вартість.

Обсяг зведення цивільних будівель в Україні за період 2010–2018 рр. збільшився в 3,4 раза. При цьому слід зазначити, що їх зведення у порівнянні з іншими видами будівництва є більш складним через: ускладнені інженерні умови, а також нестабільність фінансової ситуації на макро- і мікроекономічному рівнях. У нормативній та довідковій літературі відсутні вичерпні системні рекомендації з вибору організаційних і фінансових рішень із зазначеної теми. Таке дослідження є надзвичайно актуальним, враховуючи високий соціальний, економічний і технічний ефект вирішення проблеми впливу ризиків на цивільне будівництво.

Наразі в Україні налічується 144 торговельно-розважальних центри з орендною площею 2,5 млн. м^2, що відповідають стандартам ICSC [4]. ICSC Ukraine Research Group визначила поняття торговельно-розважальний центр як об'єкт торговельної нерухомості, який спланований, побудований і управляється як єдине ціле, включає магазини і території загальною орендопридатною площею (GLA) не менше 5000 м^2. Згідно з дослідженням, більшість торговельних площ у найбільших містах України представлені форматами «традиційний/великий» (27,9 % орендованої площі всіх торговельних центрів), «традиційний/середній» (23,2 %) і «традиційний/малий/з повсякденною товарною домінантою» (24,7 %). Ще 15,8 % мають формат «спеціалізований/тематичний центр/без розважальної домінанти» [1, 2]. Ринок торговельних центрів має свою логіку і з року в рік стає більш різноманітним. Дослідження організаційних і фінансових рішень будівництва нових торговельно-розважальних центрів є актуальним [5].



І.О. Менейлюк
докторант Харківського національного університету будівництва та архітектури, к.т.н.

Аналіз робіт, присвячених оптимізації організаційно-технологічних рішень будівництва та реконструкції [7, 8, 13], дозволяє дійти висновку, що застосування експериментально-статистичного моделювання є ефективним способом вирішення подібних завдань і може бути використано при моделюванні і оптимізації операційної діяльності підприємств з будівництва та реконструкції елеваторів. Методиками оптимізації при застосуванні експериментально-статистичного моделювання присвячені роботи [6, 9, 11]. Для створення моделі операційної діяльності будівельно-монтажної організації доцільно [7, 8, 13] використовувати спеціалізовані програми для управління проектами.

Проблемам дослідження впливу ризиків на цивільне будівництво присвячені роботи [3, 10], зокрема впливу інфляційного [14] та природно-кліматичних факторів [12].

Для оцінки ефективності організаційних рішень при будівництві торговельно-розважального центру запропоновано використовувати теорію експериментально-статистичного моделювання. Суть такого моделювання полягає в спостереженні за досліджуваною системою шляхом фіксації значень вихідних параметрів при заданні значень вхідних. При цьому система

© Менейлюк І.О.

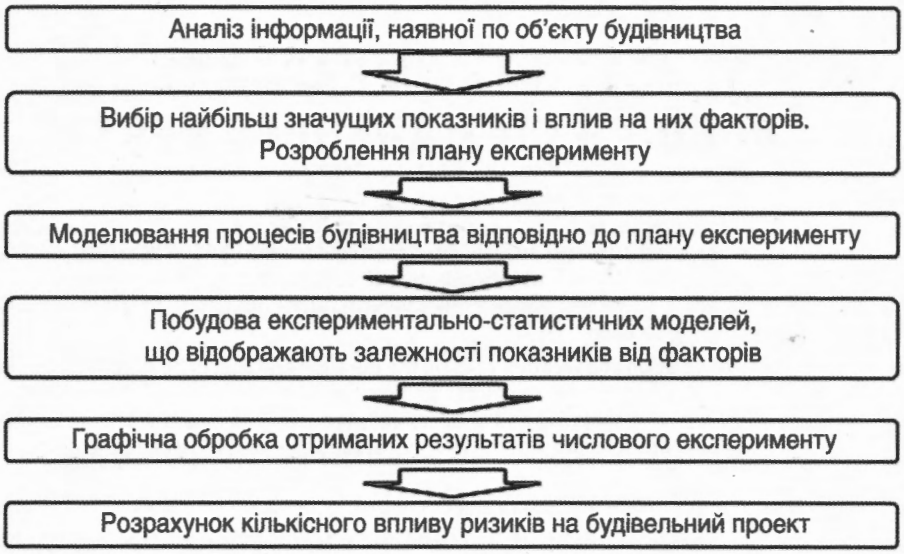


Рис. 1. Алгоритм дослідження

представлена у вигляді графіка виконання робіт. Алгоритм експериментально-статистичного моделювання показаний на рис. 1.

Досліджуються наступні показники:

- Y_1 – вартість проведення робіт – це прямі витрати на будівельно-монтажні роботи. Вони складаються з вартості праці робітників, витрат на експлуатацію механізмів, обладнання і будівельної техніки, вартість матеріалів та конструкцій;
- Y_2 – тривалість виконання робіт визначається за критичним шляхом складеного календарного графіка виконання робіт.

У даній роботі розглядається модель з п'ятьма факторами, три з яких взаємопов'язані між собою, а два є незалежними. До взаємопов'язаних факторів відносяться умови фінансування, які поділяються на:

- V_1 – фінансування будівельного проекту за рахунок особистих коштів;
- V_2 – кредитні кошти, що надаються у користування на визначений термін та під відсоток;
- V_3 – лізингові кошти, коли за договором лізингу лізингодавець зобов'язується придбати у власність майно за дорученням лізингоодержувача у відповідного продавця майна і надати це майно в користування лізингоодержувачу за плату на визначений термін для підприємницьких цілей.

До незалежних факторів відносяться:

- X_4 – кількість робочих годин на тиждень;
- X_5 – коефіцієнт суміщення робіт, тобто відношення сумарних періодів суміщення між парами попередніх та наступних робіт до загальної тривалості всіх процесів на всіх захватках, що визначається за формулою

$$K = \frac{\Sigma t_{\text{сум}}}{\Sigma t_{\text{прод}}} \cdot 100\,\% = \frac{\Sigma t_{\text{прод}} - t_{\text{ост}}}{\Sigma t_{\text{прод}}} \cdot 100\,\%, \quad (1)$$

де $\Sigma t_{\text{сум}}$ – сумарний резерв часу, що з'являється у результаті суміщення робіт по часу; $\Sigma t_{\text{прод}}$ – сумарна тривалість всіх процесів на всіх захватках; $t_{\text{ост}}$ – тривалість комплексу будівельних робіт, отримана в результаті суміщення робіт між собою.

Перехід до кодованих рівнів факторів виконаний за типовою формулою

$$x_i = \frac{X_i - \frac{X_{i\max} + X_{i\min}}{2}}{\frac{X_{i\max} - X_{i\min}}{2}}, \quad (2)$$

де x_i – заданий рівень фактора в нормалізованому вигляді; X_i – заданий рівень фактора в натуральному вигляді; $X_{i\max}$ – максимальний рівень фактора в натуральному вигляді; $X_{i\min}$ – мінімальний рівень фактора в натуральному вигляді.

Результати числового експерименту показані в таблиці 1.

Для цього дослідження обрана поліноміальна експериментально-статистична модель, загальний вигляд якої представлений формулою 3. Закономірність зміни вартості (4) та тривалості (5) будівництва об'єкта в залежності від кількості робочих днів на тиждень, умов фінансування і коефіцієнта суміщення робіт адекватно описується похідними математичними моделями.

$$Y = b_1V_1 + b_{12}V_1V_2 + b_{13}V_1V_3 + b_{14}V_1X_4 + b_{15}V_1X_5 + b_{44}X_4^2 + b_{45}X_4X_5 + b_2V_2 + b_{23}V_2V_3 - b_{24}V_2X_4 + b_{25}V_2X_5 + b_{55}X_5^2 + b_3V_3 + b_{34}V_3X_4 + b_{35}V_3X_5. \quad (3)$$

$$Y_1 = 187{,}125V_1 - 11{,}43V_1X_4 - 13{,}81V_1X_5 + 26{,}53X_4^2 + 240{,}94V_2 - \\ - 165{,}67V_2V_3 - 15{,}89V_2X_4 - 20{,}13V_2X_5 + 318{,}812V_3 - 19{,}14V_3X_4 - 20{,}53V_3X_5. \quad (4)$$

$$Y_2 = 326{,}875V_1 - 148{,}103V_1X_4 - 83{,}77V_1X_5 + 71{,}392X_4^2 + 27{,}959X_4X_5 + 354{,}241V_2 - \\ - 170{,}078V_2X_4 - 82{,}993V_2X_5 + 332{,}438V_3 - 148{,}316V_3X_4 - 83{,}469V_3X_5. \quad (5)$$

Таблиця 1

Результати числового експерименту

Умови фінансування			X_4 – тривалість робочого часу на тиждень, год	X_5 – коефіцієнт суміщення робіт, %	Y_1 – вартість проведення робіт, млн. грн.	Y_2 – тривалість виконання робіт, дні
V_1 – власні кошти	V_2 – кредитні кошти	V_3 – лізингові кошти				
0,00	1,00	0,00	40	0	302,762	694
0,5	0,00	0,5	72	0	278,433	395
1,00	0,00	0,00	40	18	215,942	552
0,00	0,00	1,00	40	18	367,102	552
0,5	0,5	0,00	40	38	230,723	431
0,5	0,5	0,00	72	0	237,184	395
0,5	0,00	0,5	72	18	266,168	320
0,00	0,5	0,5	72	38	229,04	249
1,00	0,00	0,00	112	0	203,532	298
0,00	1,00	0,00	112	0	264,591	298
0,00	0,00	1,00	112	0	346,004	298
0,33	0,33	0,33	112	18	258,354	245
1,00	0,00	0,00	112	38	179,266	187

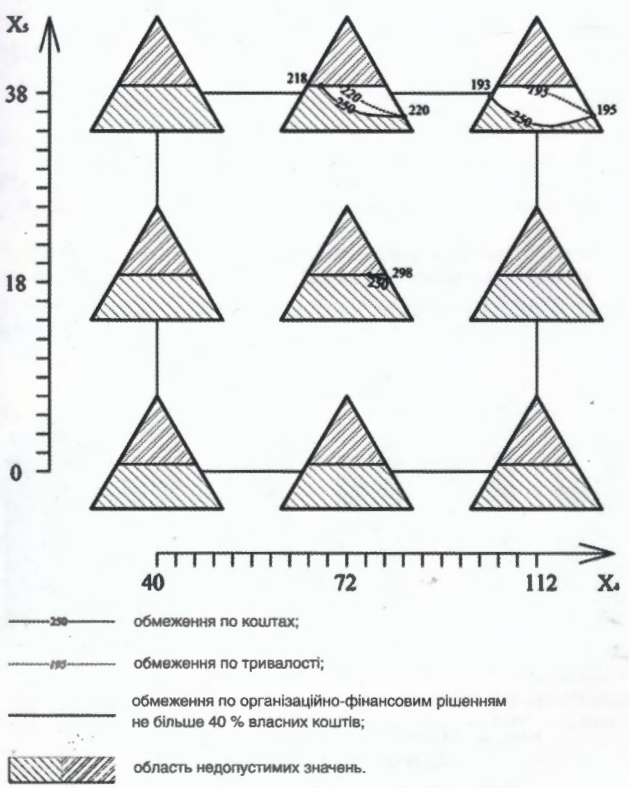


Рис. 2. Графік зміни тривалості від організаційно-фінансових факторів із заданими обмеженнями по вартості, тривалості та способу фінансування

За результатами експериментально-статистичного моделювання було побудовано графік зміни тривалості типу «трикутники на квадраті» (рис. 2). На цей графік нанесено такі обмеження:

- вартість – 250 млн. грн. (у вигляді ізолінії показника «вартість»);
- тривалість – 195 днів (у вигляді ізолінії показника «тривалість»);
- організаційно-фінансові рішення – не більше 40 % власних коштів (горизонтальна риска, що розділяє трикутник співвідношення методів фінансування на зони допустимих та недопустимих значень).

На рисунку відображено графік з усіма заданими обмеженнями щодо вартості і тривалості проекту. Одним із головних ризиків для інвестора є ризик повної або часткової втрати інвестицій, а особливо небезпечним – інфляційний ризик.

Будівельна галузь характеризується найтривалішим виробничим циклом і тому найбільше страждає від інфляції. Прогнозування зміни індексу цін і обсягів виробництва є надзвичайно важким навіть за умов стабільної економіки.

Потрібно враховувати, що при високих темпах інфляції величиною очікуваного темпу інфляції нехтувати не можна, як це зазвичай роблять при незначних темпах інфляції. Для аналізу впливу інфляції на прогноз грошових потоків недостатньо просто збільшити грошові витрати по поточному року, так як темп інфляції за різних видів ресурсів не однаковий.

Інфляція призводить до зміни фактичних умов надання позик і кредитів, при чому часто буває неможливо передбачити на чию користь змінюються умови кредитування, що впливає на інвестиційні проекти, які фінансуються за рахунок позик. Іншим прикладом негативного впливу інфляції на параметри інвестиційного проекту є невідповідність амортизаційних відрахувань рівню цін, що зростають, і як наслідок – підвищення податку. Інфляційний ризик виникає внаслідок того, що при високій інфляції грошові суми, вкладені в об'єкти інвестування, можуть не покриватися доходами від інвестицій.

Індекс цін на будівельно-монтажні роботи відображає зміни вартості фіксованого набору матеріальних ресурсів у поточному періоді в порівнянні з попереднім або базисним (табл. 2). Під матеріальними ресурсами розуміються будівельні матеріали, вироби, конструкції і енергоносії, які використовуються при виконанні будівельно-монтажних робіт. Індекс цін на будівельні роботи дозволяє визначити тенденції щодо зміни цін як в будівництві в цілому, так і за типами будівель і споруд.

Таблиця 2

Зведена таблиця індексів цін на будівельно-монтажні роботи з 2016 по 2018 рр. (%)

Період	2016 р.	2017 р.
Січень	100,8	100,8
Лютий	104,5	101,2
Березень	107,8	102,1
Квітень	101,8	101,3
Травень	100,9	100,5
Червень	101,5	100,8
Липень	103,3	100,9
Серпень	99,8	101,1
Вересень	99,2	101,7
Жовтень	100,1	101,4
Листопад	99,5	101,6
Грудень	100,2	101,3
За рік	119,4	115,7

Залежність вартості робіт від інфляції показана на рис. 3 із врахуванням діючих обмежень, а саме: вартості проекту (250 млн. грн.), тривалості (195 днів), організаційно-фінансових рішень (не більше 40 % власних коштів).

Під природно-кліматичними факторами розуміють набір показників, таких як температура зовнішнього середовища, кількість сонячних і хмарних днів у році, частота випадання і кількість опадів, швидкість і сила вітру, висота снігового шару, тривалість безморозного і морозного періодів.

Згідно з даними українського гідрометеорологічного центру протягом останніх десяти років (2008–2018 рр.) було визначено середньостатистичну кількість максимально можливих опадів та шквальних вітрів (табл. 3). Шляхом співставлення графіка робіт із даними табл. 3 для кожного місяця було визначено кількість днів, що можуть бути неробочими. На рис. 4 показано максимально можливе призупинення будівельних робіт за несприятливих погодних умов для приведеної моделі, а саме вартості проекту (250 млн. грн.).

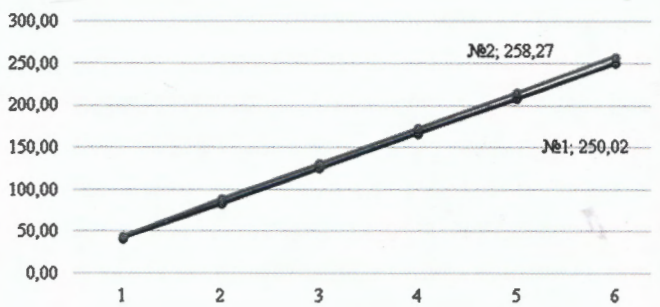


Рис. 3. Накопичувальний графік приросту вартості у ході інвестиційно-будівельного проекту, млн. грн.:
№ 1 – графік фінансування без врахування впливу інфляції;
№ 2 – з врахуванням впливу інфляції; 1–6 – календарні місяці

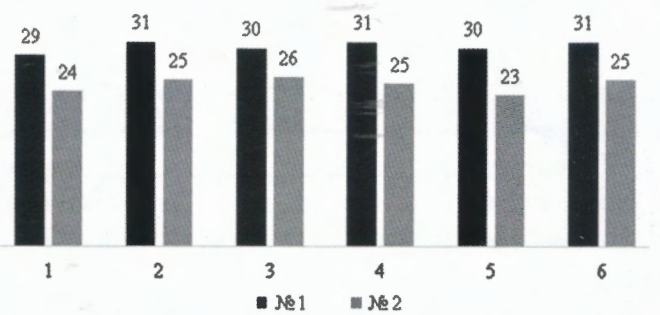


Рис. 4. Залежність тривалості будівництва від впливу погодних умов:
№ 1 – без врахування погодного ризику;
№ 2 – із врахуванням погодного ризику;
1–6 – календарні місяці; 23–31 – кількість днів у місяці

Таблиця 3

Середньостатистичні дані погодних умов для м. Одеси

Місяць	Дощ	Сніг	Туман	Гроза	Завірюха	Ожеледиця	Налипання мокрого снігу
Січень	9	11	6	0	1	2	0
Лютий	7	10	6	0,1	2	2	0,1
Березень	10	6	6	0,1	0,4	0,4	0,1
Квітень	11	0,4	5	1	0,1	0,03	0
Травень	12	0	3	4	0	0	0
Червень	13	0	1	7	0	0	0
Липень	10	0	1	6	0	0	0
Серпень	8	0	0,3	5	0	0	0
Вересень	9	0	2	2	0	0	0
Жовтень	10	0,2	3	1	0,03	0,1	0
Листопад	13	4	5	0,3	0,2	0,2	0
Грудень	10	9	6	0,1	1	1	0

За найгіршого збігу обставин термін здачі об'єкта може збільшитися від 6 до 30 днів. Відповідно до цього варіюється загальна вартість проведення робіт, бо відбувається призупинення техніки та обладнання, за оренду якого потрібно сплачувати щоденно. Отже, при виникненні природно-кліматичних ризиків можливе збільшення тривалості будівництва. Наслідками даного ризику є непередбачувані витрати і зрив термінів здачі проекту.

Аналізуючи графіки на рис. 3 та рис. 4, можна дійти висновку, що ризики мають значний вплив на виконання проекту. Тому управління ризиками включає:

- виявлення джерел і обсягів інформації, необхідних для оцінки рівня інфляційних ризиків;
- розроблення заходів щодо зниження ризиків і вибір форм їх страхування;
- моніторинг ризиків з метою здійснення необхідного коректування їх значень.

Висновки.

1. Ризики інфляції та природно-кліматичних факторів визначені при будівництві торговельно-розважального центру основними.

2. Моделювання впливу ризику інфляції показало, що вартість може зрости на 8,25 млн. грн. при моделі будівництва торговельно-розважального центру із врахуванням обмежень.

3. Згідно з результатами проведеного моделювання за найгірших погодних умов термін здачі об'єкта збільшується до 34 днів.

[1] ICSC: исследование рынка торговой недвижимости Украины [Електронний ресурс] // Архив журналов «Commercial Property CP». – 2019. – Режим доступу до ресурсу: https://commercialproperty.ua/cp-artiles/icsc-issledovanie-rynka-torgovoy-nedvizhimosti-ukrainy/.

[2] ICSC представил классификацию торговых центров Украины [Електронний ресурс] // Архив журналов «Commercial Property CP». – 2015. – Режим доступу до ресурсу: https://commercialproperty.ua/news/ukrainskiy-rynok/icsc-predstavil-klassifikatsiyu-torgovykh-tsentrov-ukrainy/.

[3] *Вербицька Г.Л.* Регулювання ризиків житлового будівництва. / Вербицька Г.Л., Пшик-Ковальська О.О. – Національний університет Львівська політехніка, 2013 – С. 149–155.

[4] Официальный сайт организации «ICSC: International Council of Shopping Centers» [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: https://www.icsc.org.

[5] Официальный сайт Gagarinn Plaza [Электронный ресурс] – Режим доступа к экрану: http://gagarinnplaza.com/

[6] *Задгенидзе И.Г.* Планирование эксперимента для исследования многокомпонентных систем / И.Г. Задгенидзе – М.: Наука, 1976. – 390 с.

[7] *Лобакова Л.В.* Організаційне моделювання реконструкції будівель при їх перепрофілюванні : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.23.08. «Технологія та організація промислового та цивільного будівництва» / Лобакова Лілія В'ячеславівна – Одеса, 2016. – 21 с.

[8] *Менейлюк А.И.* Оптимизация организационно-технологических решений реконструкции высотных инженерных сооружений / А.И. Менейлюк, М.Н. Ершов, А.Л. Никифоров, И.А. Менейлюк. – К.: ТОВ НВП «Інтерсервіс», 2016. – 332 с.

[9] *Налимов В.В.* Логические основания планирования эксперимента / В.В. Налимов, Т.И. Голикова – М.: Металлургия, 1980. – 152 с.

[10] *Сосунова Л.А.* Анализ рисков в жилищном строительстве: методы и инструменты./ Сосунова Л.А., Кошелев В.А. – Российское предпринимательство, 2014. – Выпуск 3.

[11] *Финни Д.* Введение в теорию планирования экспериментов / Д. Финни, перевод с англ. Романовской И.Л. и Хусу А.П., под ред. Линника Ю.В. – М.: Наука, 1970. – 281 с.

[12] *Ходаков В.Е* Природно-климатические факторы и развитие социально-экономических систем / Ходаков В.Е., Соколова Н.А., Крючковский В.В. – Херсон – Изд-во Гринь Д.Е. – 2015. – 344 с.

[13] *Чернов І.С.* Вибір ефективних моделей зведення житлових будівель при фінансової ситуації, що змінюється : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.23.08. «Технологія та організація промислового та цивільного будівництва» / Чернов Ігор Станіславович – Одеса, 2013. – 20 с.

[14] *Шевчук Т.В.* Особливості ризиків та методи їх мінімізації у житловому будівництві // Регіональна економіка, 2009. – Випуск 4 – С. 109–116.

Надійшла 20.07.2019 р.

УДК 621.924

НАВАНТАЖЕННЯ ПРИ РІЗАННІ АБРАЗИВНИМ АРМОВАНИМ КРУГОМ

Наведена методика розрахунку навантаження абразивних армованих кругів та визначення потужності з урахуванням впливу конструктивних та режимних параметрів шліфувальних машин.

The method of calculating the load on abrasive reinforced circles and determination of power taking into account the influence of structural and regime parameters of grinding machines is considered.

Ключові слова: різання, навантаження, абразивний армований круг.



Ю.Д. Абрашкевич
професор кафедри
«Будівельні машини ім. Ю.О. Вєтрова»
Київського національного університету
будівництва і архітектури,
заслужений діяч науки і техніки України,
д.т.н., професор



Г.М. Мачишин
доцент кафедри
«Будівельні машини ім. Ю.О. Вєтрова»
Київського національного університету
будівництва і архітектури,
к.т.н., доцент



О.А. Марченко
інженер Київського національного
університету будівництва
і архітектури

Дослідження процесу різання різноманітних матеріалів абразивними армованими кругами, механізму спрацювання, параметрів міцності та теплових процесів із метою підвищення ефективності використання потребує вивчення їх навантаження. Особливістю роботи таких робочих органів є зміна величини діаметра круга у процесі роботи (зношення круга при руйнуванні робочого середовища), що впливає на зміну параметрів контактної поверхні круга з робочим середовищем.

Для розгляду навантаження абразивного армованого круга (рис. 1) необхідно обумовити наступні допущення:

- режим роботи абразивного армованого круга усталений;
- стан робочого середовища та його поверхні незмінний;
- сили, що діють на робочу поверхню круга, прикладені до площадок робочої поверхні круга, а не до окремих абразивних зерен;
- вплив шламу, що утворюється в процесі різання, не враховується;
- руйнування робочого середовища відбувається тільки за рахунок дії тангенціальних сил;
- траєкторія руху точки абразивного армованого круга – окружність, внаслідок малої величини співвідношення швидкості подачі до колової швидкості.

Згідно з прийнятими допущеннями, тангенціальна (P_τ^0) та нормальна (P_n^0) сили прикладені до площадки робочої поверхні круга (рис. 1, б) з розмірами

$$f = b \cdot \Delta l,$$

де b – ширина круга; Δl – довжина площадки по дузі контакту, на якій з необхідною точністю можна вирахувати глибину різання в межах площадки постійною ($a = const$), тому і сили P_τ^0 та P_n^0 рівномірно розподілені по всій площадці контакту f.

Сили P_τ^0 та P_n^0 пов'язані співвідношенням

$$\frac{P_\tau^0}{P_n^0} = \mu. \qquad (1)$$

Коефіцієнт μ визначається з експерименту, з урахуванням прийнятих допущень у подальшому вважаємо $\mu = const$. Тоді елементарна робота, що йде на руйнування робочого середовища, при дії сили P_τ^0 на елементарному шляху dl по дузі контакту буде:

$$dA = P_\tau^0 \cdot dl; \qquad (2)$$

або $$dA = q \cdot dV, \qquad (3)$$

де q – енергоємність процесу різання; dV – елементарний об'єм зруйнованого робочого середовища.

 © Абрашкевич Ю.Д., Мачишин Г.М., Марченко О.А.

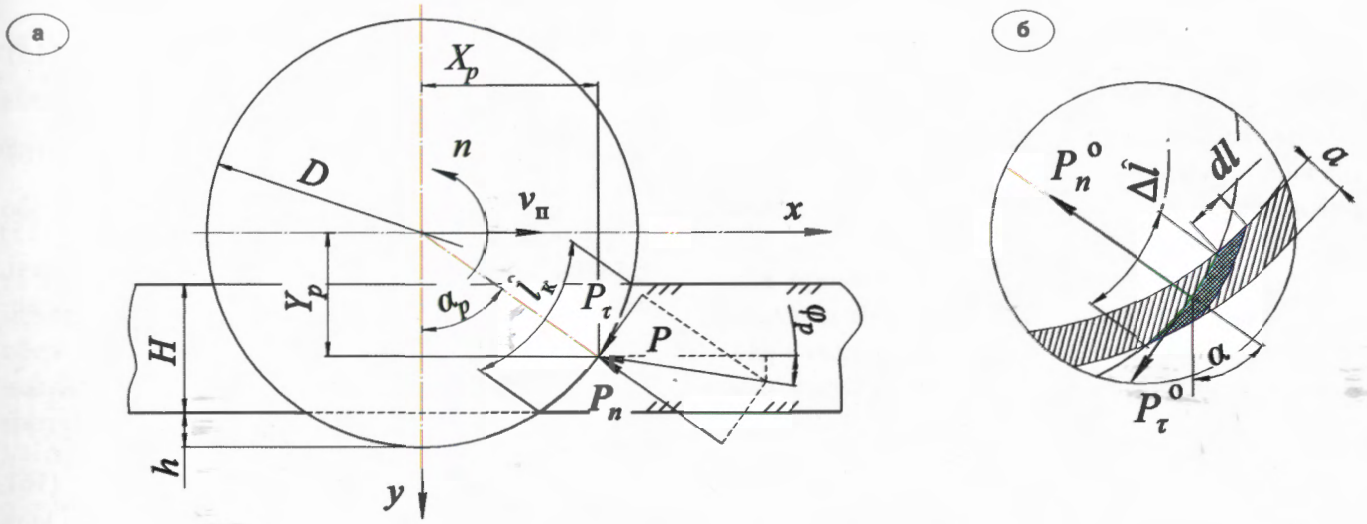


Рис. 1. Схема навантаження абразивного армованого круга:
а – загальний вигляд; **б** – вигляд роботи елементарною площадкою круга

Так як елементарний об'єм $dV = b \cdot a \cdot dl$, то, прирівнявши праві частини рівнянь (2) та (3), отримуємо:

$$P_\tau^0 = q \cdot b \cdot a, \tag{4}$$

з урахуванням співвідношення (1)

$$P_n^0 = \frac{q}{\mu} b \cdot a. \tag{5}$$

Глибину зрізу, що відповідає площадці f, можна записати так [1]:

$$a = \frac{v_п}{n \cdot z} \sin\alpha, \tag{6}$$

де $z = \frac{\pi D}{\Delta l}$ – кількість площадок f на колі круга; $v_п$, n – відповідно швидкість подачі та число обертів круга на одиницю часу; D – діаметр круга; α – поточний кут контакту для площадки f.

Вираз (6) можна представити у виді

$$a = \frac{v_п}{\pi \cdot D \cdot n} \Delta l \cdot \sin\alpha = \frac{v_п}{v_0} \Delta l \cdot \sin\alpha,$$

де $v_0 = \pi \cdot D \cdot n$ – колова швидкість круга. Підставляючи цей вираз у рівняння (4) та (5), можна записати:

$$\begin{cases} P_\tau^0 = q \cdot b \frac{v_п}{v_0} \Delta l \cdot \sin\alpha; \\ P_n^0 = \frac{q}{\mu} \cdot b \frac{v_п}{v_0} \Delta l \cdot \sin\alpha. \end{cases} \tag{7}$$

Для проведення наступних досліджень доцільним є визначення погонної інтенсивності тангенціальних і нормальних сил. Так як довжина площадки робочої поверхні круга, що відповідає силам P_τ^0 та P_n^0, дорівнює Δl, то погонна інтенсивність цих сил буде такою, що дорівнює:

$$\begin{cases} P'_\tau = \frac{P_\tau^0}{\Delta l} = q \cdot b \frac{v_п}{v_0} \cdot \sin\alpha; \\ P'_n = \frac{P_n^0}{\Delta l} = \frac{q}{\mu} \cdot b \frac{v_п}{v_0} \cdot \sin\alpha. \end{cases} \tag{8}$$

Отримані вирази є законами розподілу нормальних і тангенціальних сил по дузі контакту. Знання законів розподілу сил по дузі контакту необхідне для вивчення як процесу різання робочого середовища, так і механізму зношення абразивного армованого круга. Також це є необхідним для дослідження теплофізичних процесів, що супроводжують процес різання.

Для дослідження міцнісних параметрів абразивних армованих кругів і розрахунків на стійкість необхідно визначити рівнодіючі усіх сил, що впливають на круг (P), що визначається як результат геометричного складання сумарних проекцій тангенціальних і нормальних сил (P_τ, P_n) на прямокутні осі координат x та y (див. рис. 1, а):

$$P = \sqrt{P_x^2 + P_y^2}. \tag{9}$$

Тоді отримуємо:

$$\begin{cases} P_x = P_{\tau x} + P_{nx}; \\ P_y = P_{\tau y} + P_{ny}, \end{cases} \tag{10}$$

де $P_{\tau x}$, $P_{\tau y}$ – відповідно сума проекцій тангенціальних сил на осі x та y; P_{nx}, P_{ny} – аналогічно для суми проекцій нормальних сил.

Вважаючи, що різання відбувається способом «проти подачі» визначаємо значення суми проекцій сил $P_{\tau x}$, $P_{\tau y}$, P_{nx}, P_{ny}.

Враховуючи вираз (8), елементарні тангенціальні та нормальні сили, що діють на елемент робочої кромки круга довжиною *dl*, запишемо так:

$$\begin{cases} dP_\tau = P'_\tau \cdot dl = q \cdot b \dfrac{v_п}{v_0} \cdot \sin\alpha \cdot dl; \\ dP_n = P'_n \cdot dl = \dfrac{q}{\mu} \cdot b \dfrac{v_п}{v_0} \cdot \sin\alpha \cdot dl. \end{cases} \quad (11)$$

Тоді

$$\begin{cases} P_{\tau x} = -q \cdot b \dfrac{v_п}{v_0} \int\limits_{l_0}^{l_к} (\sin\alpha \cdot \cos\alpha \cdot dl); \\ P_{\tau y} = q \cdot b \dfrac{v_п}{v_0} \int\limits_{l_0}^{l_к} (\sin^2\alpha \cdot dl); \\ P_{nx} = -\dfrac{q}{\mu} \cdot b \dfrac{v_п}{v_0} \int\limits_{l_0}^{l_к} (\sin^2\alpha \cdot dl); \\ P_{ny} = -\dfrac{q}{\mu} \cdot b \dfrac{v_п}{v_0} \int\limits_{l_0}^{l_к} (\sin\alpha \cdot \cos\alpha \cdot dl). \end{cases} \quad (12)$$

Тут $l_к$, l_0 – відповідно довжини дуг по висоті *H* та *h* (див. рис. 1, а).

Величини довжин дуг визначаються наступним чином:

$$l_к = \frac{D}{2}\left[\arccos\left(1-\frac{2(H+h)}{D}\right) - \arccos\left(1-\frac{2h}{D}\right)\right]; \quad (13)$$

$$l_0 = \frac{D}{2}\arccos\left(1-\frac{2h}{D}\right).$$

Підставляючи у вираз (12) $\alpha = \dfrac{l}{R}$ за умови, що $h = 0$, після інтегрування та перетворень отримуємо:

$$\begin{cases} P_{\tau x} = -\dfrac{D}{4} q \cdot b \dfrac{v_п}{v_0} \sin^2\left(\dfrac{2l_к}{D}\right); \\ P_{\tau y} = \dfrac{D}{4} q \cdot b \dfrac{v_п}{v_0}\left[\dfrac{2l_к}{D} - \dfrac{1}{2}\sin\left(\dfrac{4l_к}{D}\right)\right]; \\ P_{nx} = -\dfrac{D}{4} \cdot \dfrac{q}{\mu} \cdot b \dfrac{v_п}{v_0}\left[\dfrac{2l_к}{D} - \dfrac{1}{2}\sin\left(\dfrac{4l_к}{D}\right)\right]; \\ P_{ny} = -\dfrac{D}{4} \cdot \dfrac{q}{\mu} \cdot b \dfrac{v_п}{v_0} \cdot \sin^2\left(\dfrac{2l_к}{D}\right). \end{cases} \quad (14)$$

Підставляючи вираз (14) у (10), отримуємо значення проекцій рівнодіючих усіх сил на осі координат

$$P_x = \frac{D}{4} q \cdot b \frac{v_п}{v_0}\left[\frac{1}{2\mu}\sin\left(\frac{4l_к}{D}\right) - \sin^2\left(\frac{2l_к}{D}\right) - \frac{2l_к}{\mu D}\right]; \quad (15)$$

$$P_y = \frac{D}{4} q \cdot b \frac{v_п}{v_0}\left[\frac{2l_к}{D} - \frac{1}{2}\sin\left(\frac{4l_к}{D}\right) - \frac{1}{\mu}\sin^2\left(\frac{2l_к}{D}\right)\right]. \quad (16)$$

Проекція рівнодіючої усіх сил на вісь *x* (15) є також виразом для визначення зусилля подачі, але з протилежним знаком. Враховуючи це, вираз (15) можна записати:

$$P_п = -P_x = \frac{D}{4} q \cdot b \frac{v_п}{v_0}\left[\frac{2l_к}{\mu D} + \sin^2\left(\frac{2l_к}{D}\right) - \frac{1}{2\mu}\sin\left(\frac{4l_к}{D}\right)\right].$$

На основі отриманих виразів (15) та (16), після перетворень, формула для рівнодіючої усіх сил (9) набуває виду

$$P = \frac{D}{4} q \cdot b \frac{v_п}{v_0} \times$$

$$\times \sqrt{\left(1+\frac{1}{\mu^2}\right)\left[\left(\frac{2l_к}{D} - \frac{1}{2}\sin\left(\frac{4l_к}{D}\right)\right)^2 + \sin^4\left(\frac{2l_к}{D}\right)\right]}. \quad (17)$$

Кут між лінією напрямку дії рівнодіючої *P* з позитивним напрямком осі *x* визначається як

$$\varphi_p = arctg\frac{P_y}{P_x} = arctg\frac{\dfrac{2l_к}{D} - \dfrac{1}{2}\sin\left(\dfrac{4l_к}{D}\right) - \dfrac{1}{\mu}\sin^2\left(\dfrac{2l_к}{D}\right)}{\dfrac{1}{2\mu}\sin\left(\dfrac{4l_к}{D}\right) - \sin^2\left(\dfrac{2l_к}{D}\right) - \dfrac{2l_к}{\mu D}}. \quad (18)$$

Координати точки прикладення рівнодіючої усіх сил X_p та Y_p визначаємо через вирази

$$X_p = \frac{D}{2}\sin\alpha_p; \quad Y_p = \frac{D}{2}\cos\alpha_p, \quad (19)$$

де α_p – кут між вертикальною віссю *y* та лінією дії нормальної складової рівнодіючої усіх сил P_n. Значення кута α_p визначається через співвідношення проекцій тангенціальних і нормальних сил (P_τ, P_n) на прямокутні осі координат і після перетворень набуває виду

$$\alpha_p = arctg\frac{\dfrac{2l_к}{D} - \dfrac{1}{2}\sin\left(\dfrac{4l_к}{D}\right)}{\sqrt{\sin^4\left(\dfrac{2l_к}{D}\right) + \left[\dfrac{2l_к}{D} - \dfrac{1}{2}\sin\left(\dfrac{4l_к}{D}\right)\right]^2}}. \quad (20)$$

Визначаємо потужність різання абразивними армованими кругами (N_p). Згідно з прийнятими раніше допущеннями,

$$N_p = M_{0\tau}\omega, \quad (21)$$

де $M_{0\tau} = P_\tau \dfrac{D}{2}$ – момент від тангенціальних сил відносно початку координат (осі приводу круга); $\omega = \dfrac{\pi n}{30}$ – кутова швидкість круга; n – частота обертання круга.

На рис. 2 показані графіки зміни сил різання та потужності від зміни діаметра абразивного армованого круга при постійному значенні частоти обертання $n = const = 6500$ об/хв та різних значеннях швидкості подачі $v_п$. Дані, отримані при наступних розрахункових показниках: $H = 20$ см; $h = 0$; $b = 2$ мм; робоче середовище – сталь; $\mu = 0{,}4$; $q = 36 \cdot 10^8 \dfrac{Дж}{м^3}$.

Аналіз графіків показує, що в прийнятому діапазоні значень діаметра абразивного круга (який характерний для роботи відрізними кругами з приводом від ручних шліфувальних машин) існує пропорційна залежність силових (P, P_τ, P_n) та енергетичних (N_p) показників від швидкості подачі круга ($v_п$), який характеризує продуктивність проведення робіт. Також з графіків видно, що зменшення діаметра круга (D), його зношення призводить до пропорційного збільшення навантаження на відрізному крузі. Що пояснюється зниженням колової швидкості круга за рахунок зменшення діаметра при постійній частоті обертання. Зниження колової швидкості призво-

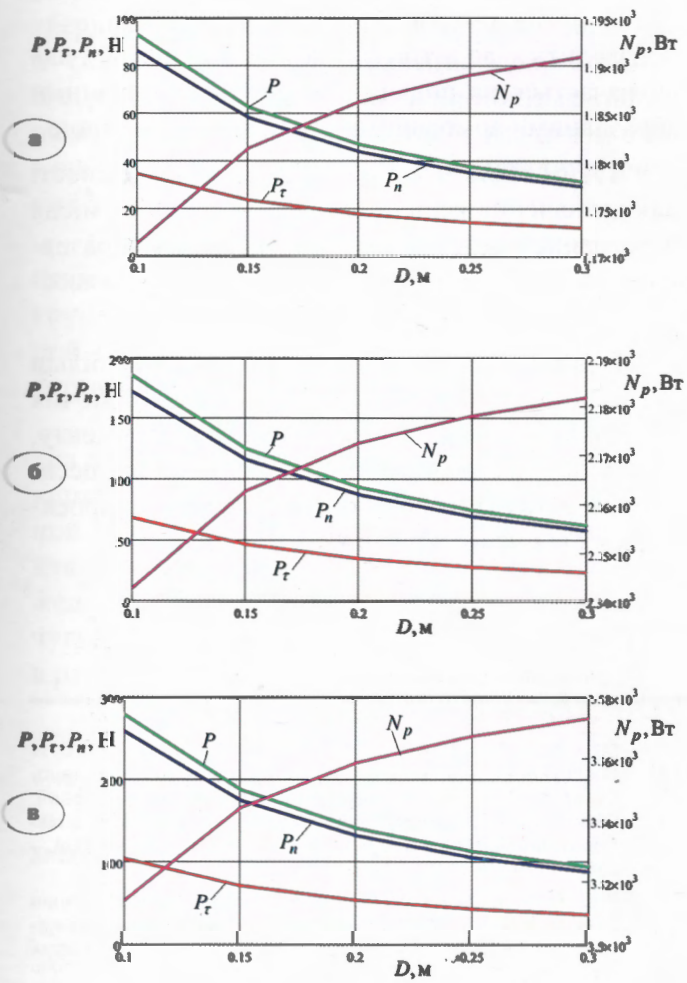


Рис. 2. Залежність сил та потужності різання від зміни діаметра круга при $n = const = 6500$ об/хв та швидкості подачі $v_п$:
а – 0,5 м/хв; **б** – 1,0 м/хв; **в** – 1,5 м/хв

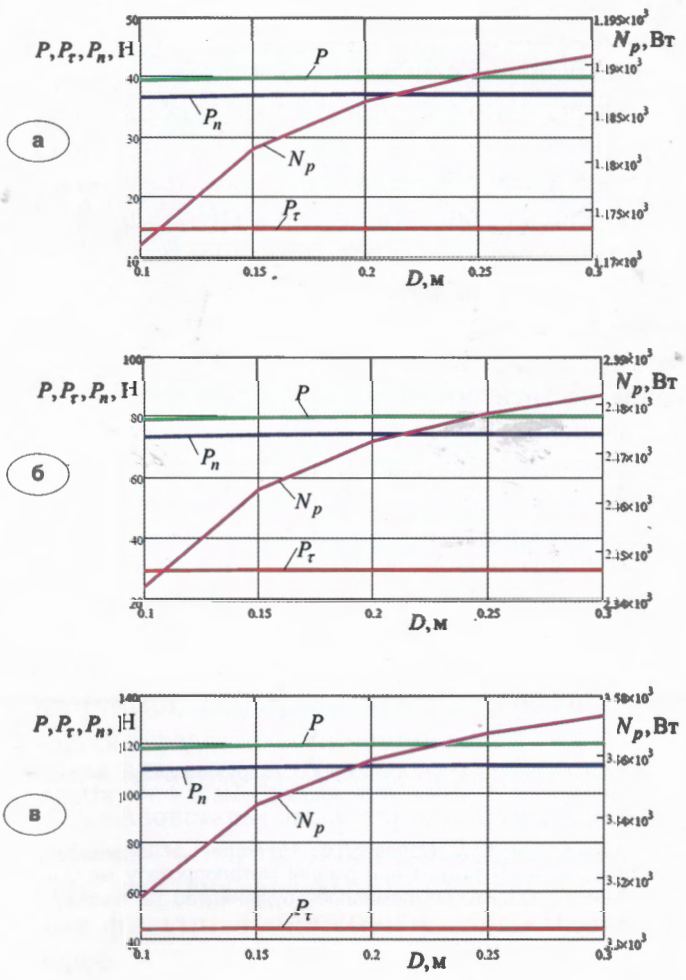


Рис. 3. Залежність сил та потужності різання від зміни діаметра круга при $v_о = const = 80$ об/хв та швидкості подачі $v_п$:
а – 0,5 м/хв; **б** – 1,0 м/хв; **в** – 1,5 м/хв

дить не тільки до збільшення навантаження, але і до погіршення умов роботи круга, зниження його зносостійкості. За підвищеної швидкості кожне зерно за один оберт круга виконує меншу роботу і заглиблюється в розрізуваний матеріал на величину, меншу в стільки разів, у скільки збільшувалася робоча швидкість. За меншої робочої швидкості кожне зерно рідше контактує з розрізуваним матеріалом, тобто збільшується товщина стружки і зерно працює з більшим навантаженням, отже, умови для викришування зерен з круга стають вірогіднішими. Проте за швидкості понад 80 м/с навантаження стають такими великими [1, 2], що спричинюють передчасне викришування зерен із зв'язки, що призводить до інтенсивного зношення інструмента. З цих причин усі круги, що використовуються на будівельно-монтажних роботах, призначені для різання з робочою швидкістю 80 м/с.

На рис. 3 показано графіки залежності сил та потужності різання при змінному діаметрі круга при сталій коловій швидкості $v_0 = const = 80$ м/с.

Очевидно, що встановлення круга в приводі з постійною коловою швидкістю 80 м/с дає змогу стабілізувати навантаження для усього діапазону зміни діаметра круга, що свідчить про доцільність використання приводів із можливістю регулювання частоти обертання круга та переставляння зношених кругів (зі зменшеним діаметром) на приводи з більшою частотою обертання, що дає змогу надалі експлуатувати їх на робочій швидкості 80 м/с.

Потужність на обертання робочого органу для обох розглянутих випадків змінюється незначно у межах 3…5 % від максимального значення. Тому доцільним є також підбір потужності силового приводу круга згідно з технічними параметрами робіт, що виконуються.

Потужність, що витрачається на подачу, може бути обрахована за формулою

$$N_{\text{п}} = P_{\text{п}} v_{\text{п}} = \frac{D}{4} q \cdot b \frac{v_{\text{п}}^2}{v_0} \times$$

$$\times \left[\frac{2l_{\text{к}}}{\mu D} + \sin^2\left(\frac{2l_{\text{к}}}{D}\right) - \frac{1}{2\mu} \sin\left(\frac{4l_{\text{к}}}{D}\right) \right]. \qquad (22)$$

Доволі невелика величина $\frac{v_{\text{п}}^2}{v_0}$ у виразі (22) призводить до того, що потужність, яка витрачається на подачу при роботі з відрізними абразивними армованими кругами, є незначною.

Таким чином, отримані основні залежності для визначення величини навантаження та місця його прикладання при роботі відрізних абразивних армованих кругів з урахуванням особливостей та умов їх роботи.

Виведені співвідношення дають змогу більш детально досліджувати процеси різання робочих середовищ, механізм спрацювання інструменту, його міцнісні параметри та теплофізичні процеси, а також обґрунтовано підійти до вибору та проектування відрізних кругів та їх приводів.

[1] Обладнання для монтажних робіт: Підручник / *Ю.Д. Абрашкевич, Л.Є. Пелевін, В.П. Рашківський* . – К.: КНУБА, 2016. – 232 с.

[2] *Абрашкевич Ю.Д., Пелевін Л.Є., Мачишин Г.М.* Зменшення енергетичних витрат при різанні металопрокату на монтажних ділянках. //Промислове будівництво та інженерні споруди. – 2017. – № 2. – С. 43–46.

[3] Дослідження теплових процесів в абразивному армованому крузі при різанні металопрокату/ *Ю. Абрашкевич, Г.Мачишин, О.Човнюк*, Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини / Всеукр. зб. наук. праць. – К.: КНУБА, – 2017. – Вип. 90 . – С. 59–66.

[4] *Ю.Д. Абрашкевич, Г.М. Мачишин, В.П. Тишковець*. Вплив зовнішніх факторів на ефективне використання абразивного інструмента // Промислове будівництво та інженерні споруди. – 2018. – № 2 . – С. 44–47.

Надійшла 15.07.2019 р.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО АСПИРАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ ЛИТЕЙНОГО ДВОРА И БУНКЕРНОЙ ЭСТАКАДЫ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ №3 НА ЧАО «МК «АЗОВСТАЛЬ»



Е.И. Гезенцвей
начальник отдела строительного проектирования ООО «Метинвест Инжиниринг», г. Днепр



Е.С. Иосилевич
ведущий инженер отдела строительного проектирования ООО «Метинвест Инжиниринг», г. Днепр, к.т.н.



В.И. Переверзев
генеральный директор ООО «Криворожская Строительная Компания», г. Кривой Рог

Доменное производство является крупнейшим источником загрязнения окружающей среды. С отходящими технологическими газами и вентиляционным воздухом в окружающую среду выбрасывается большое количество токсичных твердых и газообразных веществ, а также пыли.

Согласно приказу Министерства охраны окружающей природной среды № 309 от 27.06.2006 г. выброс массовой концентрации твердых веществ ограничивается до 50 мг/м^3. В связи с этим модернизация действующих и строительство новых аспирационных систем на всех стадиях производства – важная экологическая задача отечественных металлургических заводов.

Система аспирации комплекса доменной печи предназначена для очистки воздуха от трех крупных источников: литейного двора доменной печи; бункерной эстакады и загрузочного устройства доменной печи.

Аспирация литейного двора предназначена для локализации и отсоса газов и пыли, образующихся при выпуске чугуна и шлака из доменной печи. Система обеспечивает отсос от леток для выпуска чугуна, включая участок главного желоба, примыкающий к печи, от мест слива чугуна и шлака, от укрытий главного желоба в районе скиммера, шлаковых желобов.

Аспирация бункерной эстакады локализует и отсасывает пыль от технологического оборудования, используемого при транспортировании, сортировке и дозировании шихтовых материалов.

Аспирация загрузочного устройства обеспечивает отсос загрязненного воздуха от мест загрузки шихтовых материалов в печь.

Аспирация доменной печи представляет собой разветвленную систему воздуховодов с различной формой (круглой, квадратной, прямоугольной) и размерами поперечного сечения, которые определяются аэродинамическим расчетом, а также обусловлены стесненными условиями доменного цеха, наличием большого количества прилегающих конструкций и оборудования. Из воздуховодов, обеспечивающих отсос от непосредственных источников запыления, загрязненный воздух поступает в сборные воздуховоды большого диаметра, транспортирующие его к очистным фильтрам. И далее уже очищенный воздух поступает в выбросную трубу и выбрасывается в атмосферу. Постоянный поток в аспирационной системе обеспечивается тягодутьевыми машинами.

В 2019 году для доменной печи № 3 на ЧАО «МК «Азовсталь» была запроектирована и смонтирована аспирационная установка непрерывного действия, включающая в себя два рукавных фильтра и систему подводящих воздуховодов.

Сборные воздуховоды аспирации литейного двора ∅3800 мм и аспирации бункерной эстакады ∅3200 мм расположены друг над другом на общих опорах. Опирание воздуховодов осуществляется на систему скользящих и неподвижных опорных частей.

Конфигурация трассы воздуховодов была обусловлена необходимостью передачи выбро-

© Гезенцвей Е.И., Иосилевич Е.С., Переверзев В.И.

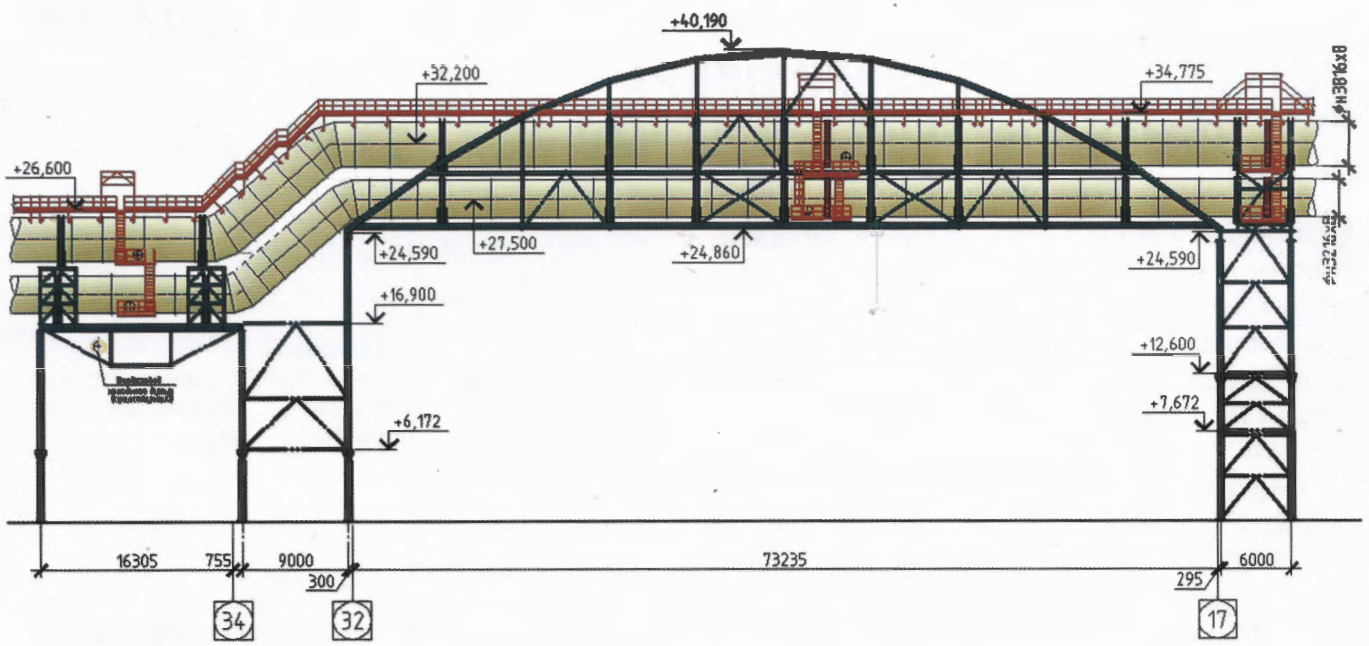


Рис. 1. Общий вид арочного пролетного строения

сов к рукавным фильтрам по кратчайшему расстоянию. Проектирование системы усложнялось насыщенностью участка трассы железнодорожными путями, трубопроводами, различными сооружениями и устройствами, строительство которых осуществлялось в разное время, что создало весьма стесненные условия площадки строительства новой трассы.

Также необходимо было определить возможные места расположения промежуточных опор и прохода над зданием литейного двора соседней доменной печи № 2, где установить опоры на земле было невозможно. В связи с этим, проектом было предусмотрено пролетное строение в виде двух арок, связанных между собой в единый пространственно-связевой блок, внутри которого расположены воздуховоды (проект ООО «Метинвест Инжиниринг»). Расстояние между опорами арок составляет 73,83 м, отметка низа конструкций 24.860 мм (рис. 1).

Конструктивная форма опор продиктована их значительной высотой и расположением оси трассы газоходов по оси железнодорожных путей, что также усложнило проектирование и сооружение фундаментов. В результате опоры были выполнены из нескольких ярусов (рис. 2 и 3).

Описываемое сооружение рассматривалось как единая система, расчетно-конструктивные требования к которой заключались в удовлетворении условий прочности и жесткости как всего комплекса в целом, так и отдельных его элементов.

Кроме собственного веса самого пролетного строения, сооружение воспринимает весьма значительные нагрузки от веса воздуховодов и технологических воздействий, составляющие вертикальные нагрузки:

- для воздуховода аспирации литейного двора $\varnothing_н$ 3816×8:
  - собственный вес металлоконструкций – 8,5 кН/м;
  - заполнение производственной пылью (в соответствии с технологическим заданием заполнение составляет 20 % – поперечного сечения при объемном весе пыли 20 кН/м^3) – 50 кН/м;
  - отложения пыли снаружи воздуховода – 2,2 кН/м;
  - нормативная технологическая температура транспортируемой среды – 120 °С;
- для воздуховода аспирации литейного двора $\varnothing_н$ 3216×8:
  - собственный вес металлоконструкций – 7 кН/м;
  - заполнение производственной пылью – 35,4 кН/м;
  - нормативная технологическая температура транспортируемой среды – 60 °С;

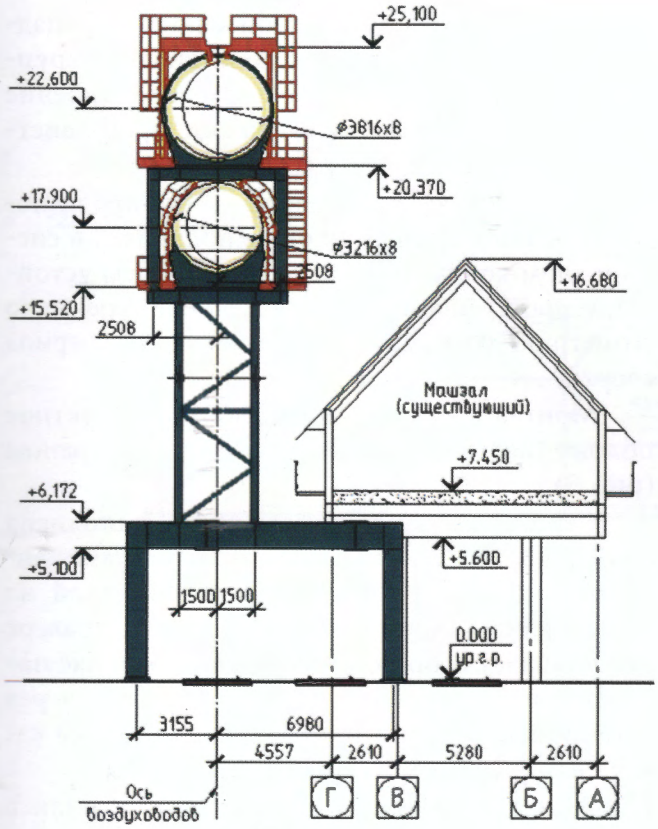


Рис. 2. Поперечный разрез трассы аспирационных воздуховодов

- нормативное разрежение внутри воздуховодов – 4,5 кПа;
- нагрузки от сопутствующих площадок обслуживания и кабельной трассы – 8,4 кН/м.

Таким образом, суммарная распределенная вертикальная нагрузка на пролетное строение составила около 115 кН/м. Поскольку воздуховоды опираются на систему неподвижных и скользящих опор, последние выполнены с применением фторопластовых прокладок, что позволило снизить коэффициент трения скольжения с $\mu = 0{,}3$ до $\mu = 0{,}1$ и, таким образом, уменьшить горизонтальные нагрузки на сооружение.

Для компенсации температурных деформаций на воздуховодах установлены тканевые компенсаторы.

Кроме указанных выше технологических воздействий, система воспринимает также климатические и сейсмические воздействия. Конструкции системы и ее элементы рассчитывались на самое невыгодное сочетание нагрузок.

Учитывая полученные усилия, а также предполагаемое применение монтажных кранов большой грузоподъемности для монтажа крупными блоками, необходимо было учесть

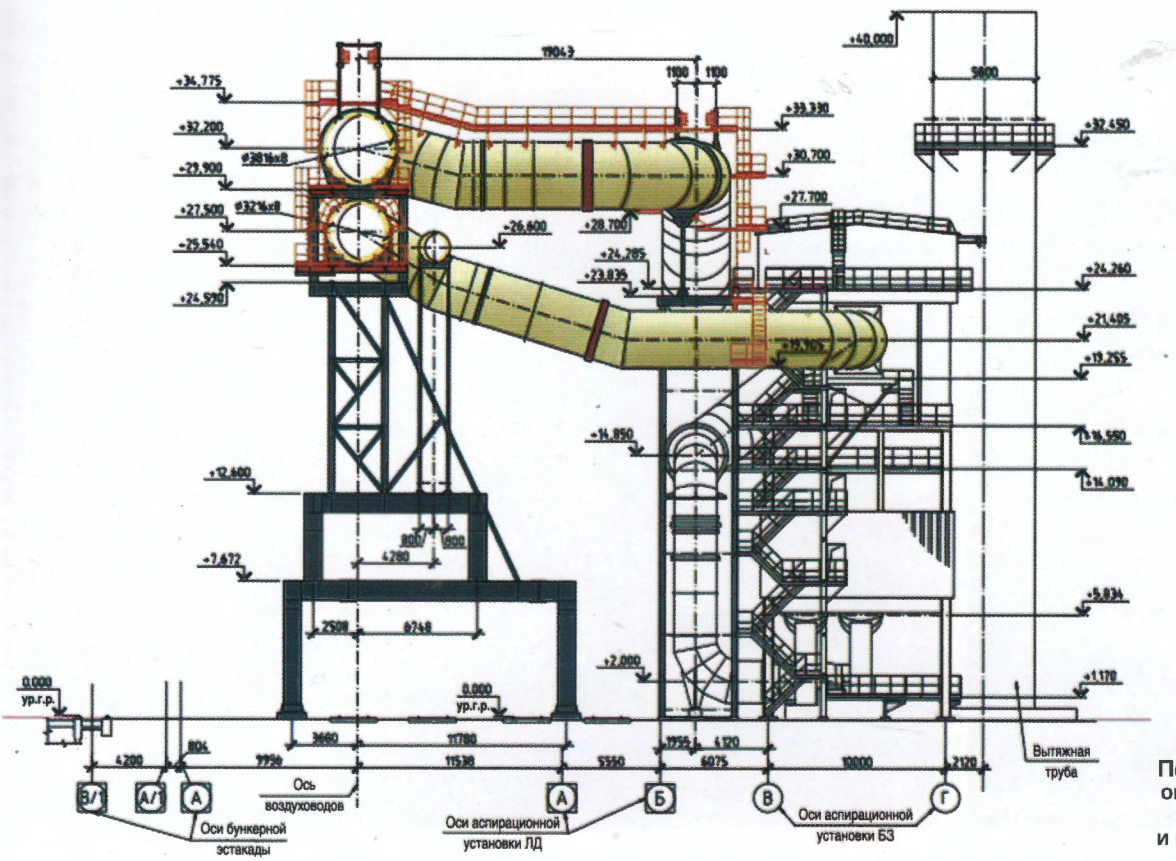


Рис. 3. Подвод аспирационных воздуховодов к фильтру и выбросной трубе

создание конструктивов определенного предельного веса, что обусловило применение для пролетного строения высокопрочной стали класса С440 марки 06Г2Б согласно ТУ У 27.1-26416904-150:2005.

Контрольная сборка арочного пролетного строения выполнена на заводе-изготовителе, после чего конструкции были разобраны и россыпью доставлены на строительную площадку.

Монтаж металлоконструкций был осуществлен ООО «Криворожская Строительная Компания» (далее ООО «КСК»).



Рис. 4. Сборка арочного пролетного строения на строительной площадке

Непосредственно на строительной площадке, на специально отведенном месте для укрупнительной сборки, арочное пролетное строение было собрано целиком в единый пространственный блок весом 136 т (рис. 4).

Укрупнительная сборка арочного пролетного строения в единый блок выполнялась в специальном кондукторе, обеспечивающем устойчивое пространственное положение и проектную геометрию составных частей блока на период сборки.

Монтаж укрупненного блока в проектное положение был осуществлен одним краном (рис. 5).

Строповка укрупненного блока выполнена с помощью системы траверс и систем самоцентрирующихся стропов с общей нагрузкой на крюк крана 149,9 т (рис. 6). Система траверс представляет собой одну продольную и две поперечные траверсы, к концам которых через шарнирные захваты присоединена система самоцентрирующихся стропов.

Воздуховоды внутри арки монтировались после ее надежного проектного крепления на опорах.

Отдельные укрупненные блоки воздуховодов длиной до 24 м подавались с двух противоположных концов арочного пролетного строения, а затем затягивались в проектное положение с последующим креплением в районе седел.

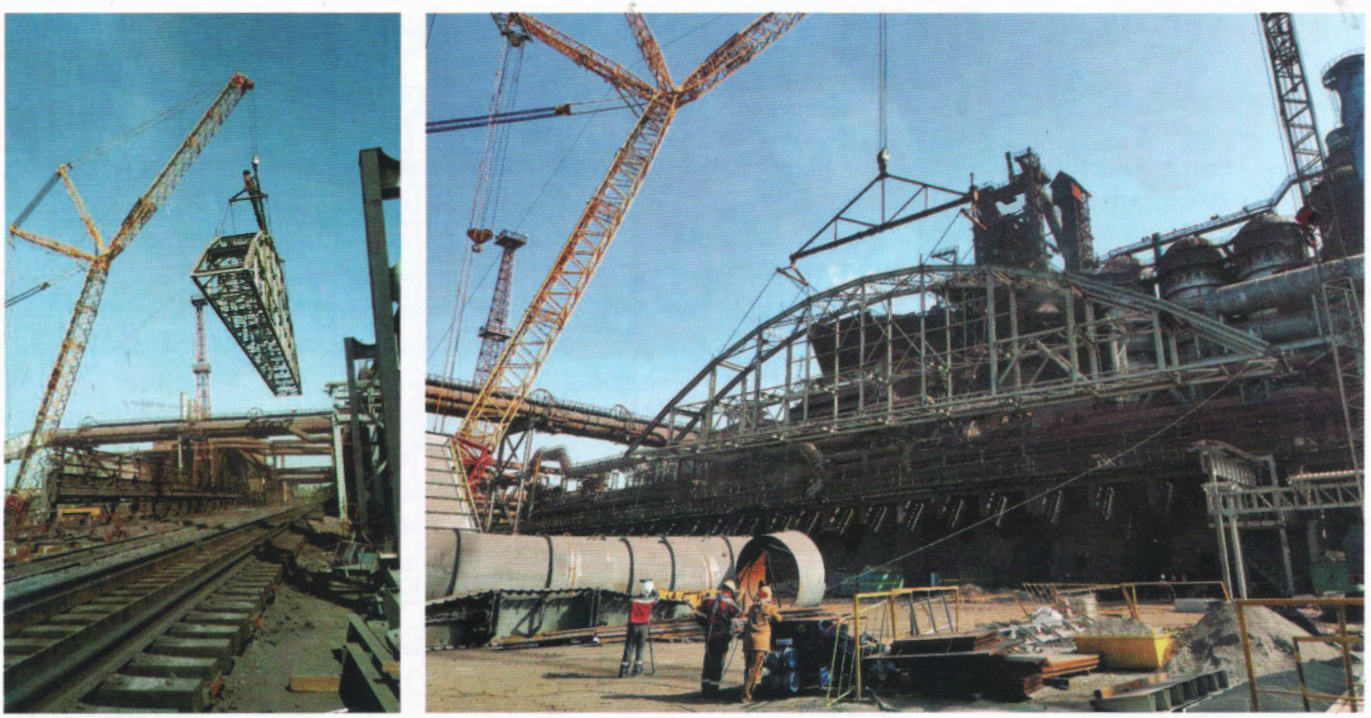


Рис. 5. Монтаж арочного пролетного строения

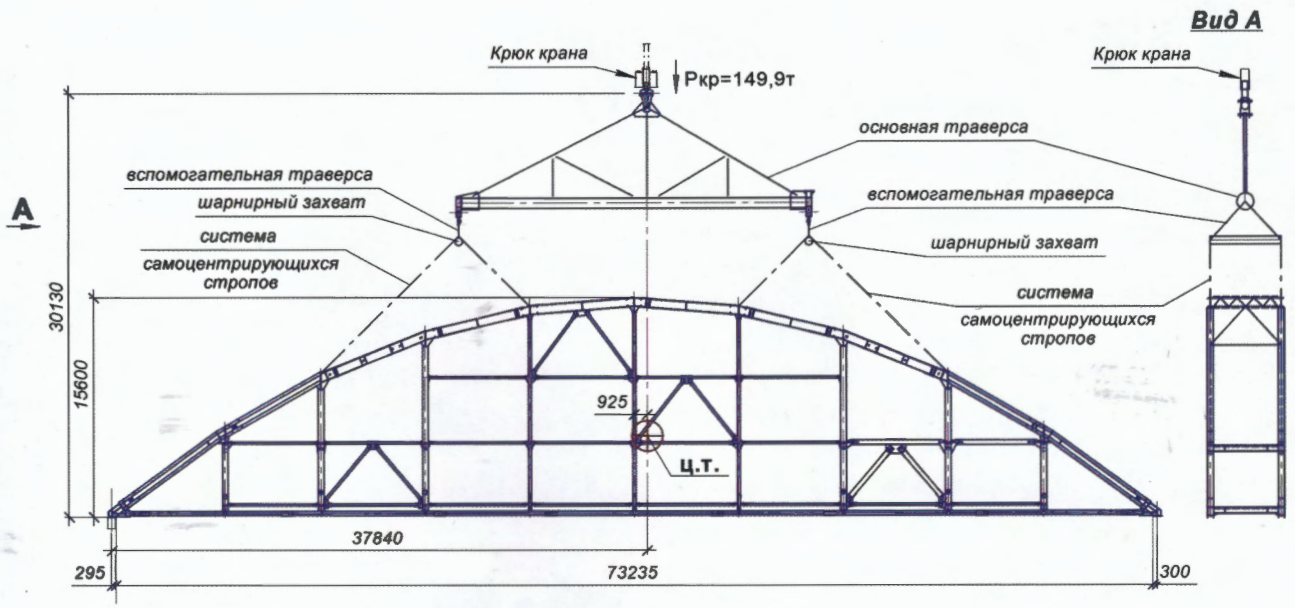


Рис. 6. Схема строповки блока арочного пролетного строения



Рис. 7. Общий вид конструкции с установленными технологическими трубопроводами

Все монтажные приспособления, а также технологические карты по укрупнительной сборке, монтажу арочного пролетного строения, перемещению блоков воздуховодов внутри пролетного строения были запроектированы ООО «КСК» и согласованы с ООО «Метинвест Инжиниринг» (рис. 7).

Эффект от внедрения аспирационной системы с арочным пролетным строением:

- Экономия материально-технических ресурсов и сокращение времени строительства за счет прокладки трассы воздуховодов по кратчайшему к фильтрам пути.
- Улучшение условий труда технологического персонала и, как результат, снижение риска возникновения нештатных ситуаций из-за «человеческого фактора».
- Создание условий для улучшения экологических показателей работы комплекса доменной печи.
- Уменьшение вероятности выхода из строя технологического оборудования.
- Снижение затрат электроэнергии на каждую тонну уловленной пыли.

[1] *Любин А.Е.* Надземные промышленные трубопроводы металлургических предприятий. Металлические конструкции. – К.: Изд-во «Сталь», 2013.

[2] *Стрелецкий Н.С.* Курс металлических конструкций. Ч.III. Металлические конструкции специальных сооружений. – М.: Стройиздат Наркомстроя, 1944.

[3] *Сахновский М.М.* Технологичность строительных сварных конструкций. – К.: Изд-во «Будівельник», 1970.

Надійшла 24.06.2019 р.

ЕЛЕКТРОННО-МІКРОСКОПІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ГІДРАТАЦІЇ C_2S, C_3S



І.І. Ніконець
Національна академія сухопутних військ імені П. Сагайдачного, НДЛ аналізу і прогнозування надзвичайних ситуацій, к.т.н.



І.М. Мартинюк
Національна академія сухопутних військ імені П. Сагайдачного, НДЛ аналізу і прогнозування надзвичайних ситуацій, к.б.н.



Є.М. Шматов
Національна академія сухопутних військ імені П. Сагайдачного, НДЛ аналізу і прогнозування надзвичайних ситуацій



О.М. Стадійчук
Національна академія сухопутних військ імені П. Сагайдачного, НДЛ аналізу і прогнозування надзвичайних ситуацій, к.х.н.

Для виконання досліджень з метою вивчення процесу гідратації від моменту замішування водою до одного року були використані мінерали C_3S та C_2S. Для цього було застосовано електронно-мікроскопічний аналіз методом платинових реплік.

Дослідження реплік показали, що відкол C_2S являє собою окремі щільно упаковані зерна невизначеної форми. На зразках C_2S, гідратованого до 30 хв, змін на поверхні відколу не виявлено. Через одну годину (рис. 1, а) на зернах з'являються горбики розміром до 40 А, кількість і розмір яких різко збільшуються до чотирьох годин гідратації (рис. 1, б).

Найчіткіше мікроструктура каменю C_2S виявляється у віці 28 діб (рис. 2). У цьому віці вона складається з окремих шарів, які з'єднуються в блоки.

З віком твердіння каменю C_2S відбувається процес збиральної рекристалізації, у результаті якого голчасті кристали спочатку збираються у дрібні, а потім у крупні кристали. Подальше ущільнення призводить до утворення моноліту (рис. 3), що сприяє підвищенню міцності C_2S.

Таким чином, дослідження свідчать про наявність новоутворень за умов реакції C_2S з водою. Таким новоутворенням є C_2SH_2, який впродовж усього періоду гідратації сприяє процесу збиральної рекристалізації й утворенню щільної та міцної мікроструктури.

Відкол негідратованого C_3S являє собою окремі щільно упаковані зерна злегка округлої форми.

Через 10 с витримування C_3S у воді на більшій частині його поверхні з'являються центри кристалізації новоутворень у вигляді окремих горбиків.

При подальшому витримуванні C_3S у воді збільшення розміру горбиків відбувається дуже швидко (рис. 4).

За рахунок нашарування голчастих кристалів утворюються окремі кристалоагрегати. У разі дотикання кристалоагрегатів відбувається поступове зрощування їх і утворення шару. Шари, орієнтовані в одному напрямку, утворюють блоки.

До року камінь C_3S складається з ущільненої маси і пор (рис. 5). Пори заповнені кристалами гідрооксиду кальцію у вигляді подовжених призм, а ущільнена маса сформована з окремих блоків-агрегатів.

Кожний блок-агрегат складається з окремих шарів, а кожний шар – із паралельно орієнтованих голчастих кристалів – гідросилікатів кальцію.

Порівнюючи дослідження гідратації основних клінкерних мінералів, можна дійти висновку, що первинний період гідратації C_3S аналогічний первинному періоду гідратації C_2S, однак процес протікає значно швидше.

Обидва процеси проходять на поверхні початкової фази, яка в подальшому визначає мікроструктуру каменю.





Рис. 1. Мікрофотографія репліки з поверхні C_3S після перебування у воді протягом однієї години (а) та протягом чотирьох годин (б)



Рис. 2. Мікрофотографія репліки зі сколу каменю C_2S, який тверднув у воді 28 діб



Рис. 3. Мікрофотографія репліки зі сколу каменю C_2S, який тверднув у воді один рік



Рис. 4. Мікрофотографія репліки з поверхні C_3S після перебування у воді протягом трьох хвилин



Рис. 5. Мікрофотографія репліки зі сколу каменю C_3S, який тверднув один рік

Якщо горбики росту на поверхні C_3S утворюються одразу після дотику мінералу з водою, то на поверхні C_2S – після 1–6 годин. Склад голчастих кристалів в обох випадках різний.

У результаті з віком спостерігається поступове ущільнення структури омонолічування каменю C_2S, у той час як структура каменю C_3S залишається без змін.

Надійшла 28.03.2019 р.

ДО ВІДОМА ДОПИСУВАЧІВ ЖУРНАЛУ !

Вимоги щодо публікації статей:

- Текст статті в електронному виді, авторська довідка (для наукових статей ще анотація мовою статті та англійською, ключові слова, УДК), підготовлені у Microsoft Word та фото авторів.
- Ілюстрації надаються підготовленими у Adobe Photoshop або Microsoft Word, Excel чи на паперових носіях для сканування. Формат надання – tif, eps, jpg, pcx, doc, docx – 300 dpi.
- Авторська довідка має містити наступні дані: прізвище, ім'я та по батькові повністю, місце роботи, посада, науковий ступінь, вчені звання, а також номер контактного телефону та електронну адресу.

ЖУРНАЛ МОЖНА ПЕРЕДПЛАТИТИ У БУДЬ-ЯКОМУ ВІДДІЛЕННІ ДП «ПРЕСА» (передплатний індекс – 98848) АБО ЗАМОВИТИ У РЕДАКЦІЇ ЖУРНАЛУ

Видавець ТОВ «Укрінсталькон ім. В.М. Шимановського»

Рекомендовано до друку вченою радою ТОВ «Укрінсталькон ім. В.М. Шимановського» (протокол № 3 від 29.08.2019 р.)

Адреса редакції та видавця: вул. В. Шимановського, 2/1, Київ, 02125, ТОВ «Укрінсталькон ім. В.М. Шимановського»

тел. (044) 516-52-85, 543-98-36 e-mail: redakpbis@urdisc.com.ua

Оригінал-макет підготовлений редакцією журналу «Промислове будівництво та інженерні споруди»

Комп'ютерна верстка та дизайн – **Цапро Т.І.**

Дизайн обкладинки – **Артюшенко В.С.**

Підписано до друку 29.08.2019 р. Формат 60 × 84/8. Папір крейдяний. Друк офсетний. Ум.-друк. арк. 8,1. Тираж 300 прим.

Віддруковано ТОВ «Поліпрінт», вул. Лугова, 1-А, м. Київ, 04074, тел. 464-17-91

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 1250 від 22.02.2003 р.

* **Оформлення, стиль та зміст журналу є об'єктом авторського права і захищається законом**
* **Передрук розміщених у журналі матеріалів дозволяється тільки за письмовою згодою редакції**
* **Відповідальність за підбір та висвітлення фактів у статтях несуть автори**
* **За зміст реклами відповідає подавач**
* **Редакція не завжди поділяє думку авторів**
* **Редакція залишає за собою право редагувати та скорочувати подані матеріали**