ISSN 1996-8159

ПБС

2'2020

ПРОМИСЛОВЕ БУДІВНИЦТВО ТА ІНЖЕНЕРНІ СПОРУДИ



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

ПБС
2'2020

ПРОМИСЛОВЕ БУДІВНИЦТВО ТА ІНЖЕНЕРНІ СПОРУДИ

Виходить 4 рази на рік

Заснований у листопаді 2007 року

ЗМІСТ

МОСТОВІ СПОРУДИ

О.В. Шимановський, В.В. Шалінський
ОБСТЕЖЕННЯ КОНСТРУКЦІЙ АВТОПРОЇЗДУ ПО ПРОГОНОВИХ БУДОВАХ ГРЕБЛІ ДНІПРОГЕС, ЗВЕДЕНИХ У 1977 р. 2

О.В. Шимановський, В.В. Шалінський
ТЕРМІНОВІ ПРОТИАВАРІЙНІ ЗАХОДИ НА АВТОПРОЇЗДІ ПО СПОРУДАХ ГРЕБЛІ ДНІПРОГЕС 8

НОРМАТИВНА БАЗА

В.П. Адріанов
ЄВРОКОДИ В СИСТЕМІ НОРМАТИВНО-ПРАВОВОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БУДІВНИЦТВА 11

СЕРТИФІКАЦІЯ ПЕРСОНАЛУ

О.М. Галінський
ОРГАНІЗАЦІЙНО-ПРАВОВІ АСПЕКТИ ДОБРОВІЛЬНОЇ СЕРТИФІКАЦІЇ ПЕРСОНАЛУ У БУДІВНИЦТВІ 15

НАУКА – ВИРОБНИЦТВУ

О.В. Родченко
КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОЕКТУВАННЯ ДВОШАРОВИХ ЖОРСТКИХ АЕРОДРОМНИХ ПОКРИТТІВ 19

С.Ю. Максимов, В.Д. Макаренко, Ю.Л. Винников, К.В. Чичулина
ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ РЕЗЕРВУАРНОЙ НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЙРОСЕТЕВОГО АНАЛИЗА 24

О.А. Бужин, А.І. Березовський, Ю.В. Березовська
МОДИФІКАЦІЯ РОЗМІРІВ У КООРДИНАЦІЙНО-МОДУЛЬНІЙ СИСТЕМІ 31

ПРОСТОРОВІ КОНСТРУКЦІЇ

Е.И. Гезенцвей, В.И. Олевский, А.В. Олевский
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОЧНОСТИ КОЖУХА ДОМЕННОЙ ПЕЧИ МОДЕРНИЗИРОВАННОЙ КОНСТРУКЦИИ ИЗ СТАЛИ 10Г2ФБ И ТРАДИЦИОННОЙ ИЗ СТАЛИ 09Г2С 36

Е.И. Гезенцвей, Д.О. Банников
ПОВЫШЕНИЕ ЖИВУЧЕСТИ СТАЛЬНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ ТЕРМОУПРОЧНЕННЫХ СТАЛЕЙ 42

БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ

І.І. Ніконець, І.М. Мартинюк, Є.М. Шматов, О.М. Стаднічук
МІКРОСТРУКТУРА ЦЕМЕНТНОГО КАМЕНЮ У ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ВИРОБАХ 46

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

Київ • 2020

© Промислове будівництво та інженерні споруди, 2020

ОБСТЕЖЕННЯ КОНСТРУКЦІЙ АВТОПРОЇЗДУ ПО ПРОГОНОВИХ БУДОВАХ ГРЕБЛІ ДНІПРОГЕС, ЗВЕДЕНИХ У 1977 р.



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

Однією з найвизначніших інженерних гідротехнічних споруд, будь-коли зведених на теренах України, завжди вважалася введена в експлуатацію у 1932 р. гребля ДніпроГЕС у м. Запоріжжі. Крім безпосередньо виробництва електроенергії її особливою рисою являється те, що вона одночасно слугує важливою ланкою транспортного сполучення між правим та лівим берегами р. Дніпро завдяки влаштуванню за всією її довжиною автодорожнього переїзду (рис. 1). Зазначений переїзд містить низку споруд (зліва направо): міст через аванкамеру завдовжки 319,76 м (ділянка I–II); автопроїзд по спорудах греблі завдовжки 666,00 м, який складається з виконаних у 1932 і 1977 роках прогонових будов (ділянка II–III, рис. 2); естакаду спряження греблі з лівим берегом завдовжки 111,50 м (ділянка III–IV); земляну вставку завдовжки 136,57 м (ділянка IV–V) та естакаду над шлюзами завдовжки 352,00 м (ділянка V–VI). Отже, загальна довжина переїзду 1585,82 м.

Стислий опис виконаних у 1977 р. конструкцій автопроїзду. Розташований на бичках греблі автомобільний проїзд із радіусом кривини близько 600 м до реконструкції 1977 р. мав ширину 7,5 м. Його несними конструкціями були розрізні прогонові будови, які перекривали прогони між бичками греблі й складалися з чотирьох сталевих клепаних суцільних балок і розміщених на них залізобетонних плит проїзної частини. Ці прогонові будови були використані при реконструкції автопроїзду, в результаті чого ширина останнього збільшилась до 15,9 м (рис. 3). Водночас було влаштовано тротуар завширшки 2,25 м із низової сторони греблі та службовий прохід завширшки 0,75 м із верхової сторони.

У процесі реконструкції під існуючі прогонові будови були заведені сталеві консольні ригелі, що потім встановлювалися на бичках греблі та прикріплювалися до неї за допомогою анкерних тяжів із тросів ∅ 68 мм, пропущених у завчасно пробурених у бичках свердловинах, які, після попереднього натягу тяжів, ін'єктувалися цементним розчином. Сталеві ригелі прийняті коробчастого перерізу без монтажних стиків, а сталеві прогонові будови розширюваної частини – розрізними з прогонами ≈15,5 м конструктивно виконаними з двох головних балок заввишки 1000 мм, поперечних балок із кроком 2000 мм й поздовжніх ребер із кроком 400–575 мм. Причому цікавим тут є те, що поперечні балки та поздовжні ребра водночас слугують конструктивними елементами сталевої ортотропної плити проїзної частини.

Задля зменшення кількості деформаційних швів верхні листи ортотропної плити були зварені на монтажі, створивши у такий спосіб безперервну площину проїзної частини з кроком деформаційних швів близько 100 м. Всі опорні частини нових прогонових будов прийняті згідно з проектом інституту «Союздорпроект» гумовими, шаруватими. До того ж цим проектом визначено, що навантаження від гальмування автомобілів одночасно сприймаються всіма опорними частинами шестипрогонового укрупненого блока. Так само було взято до уваги, що прогонові будови 1932 і 1977 років мають значну різницю у жорсткостях. Оскільки ця різниця могла б створити умови для негативного впливу однієї прогонової будови на іншу, то з метою уникнення такого впливу передбачено влаштування суцільного поздовжнього деформаційного шва між цими двома конструктивами (див. рис. 3), який додатково виконує функцію розподільної смуги між авторухом двох напрямків. Причому поздовжній деформаційний шов, а також поперечні шви між укрупненими блоками прийняті пружинного типу.



Рис. 1. Загальний вигляд автодорожнього переїзду по спорудах греблі ДніпроГЕС

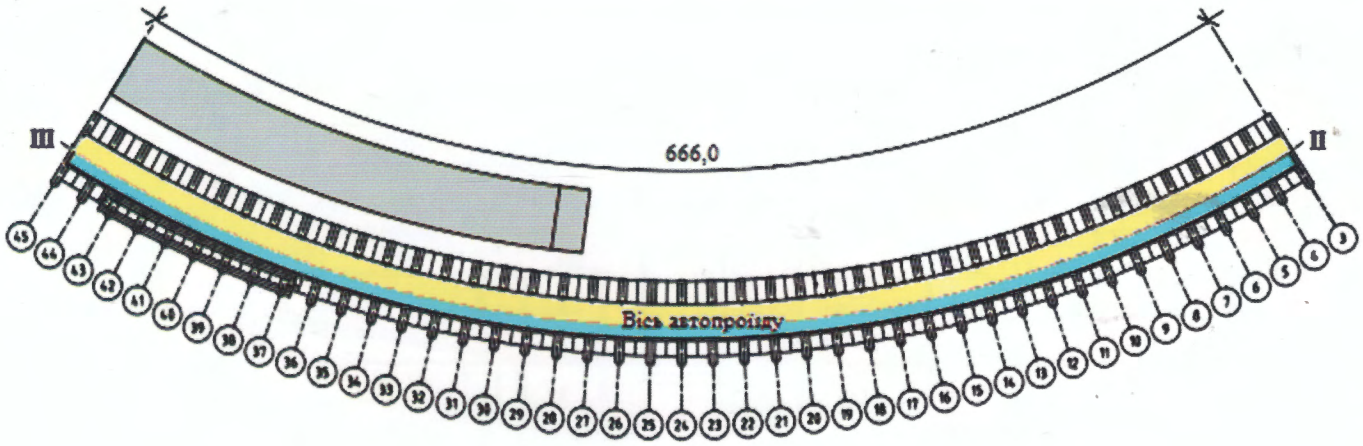


Рис. 2. План автодорожнього переїзду по спорудах греблі ДніпроГЕС:
блакитний колір – прогонові будови 1932 р.; жовтий колір – прогонові будови 1977 р.; сірий колір – будівля ГЕС – 2;
II – початок автопроїзду; **III** – кінець автопроїзду

У 90-ті роки минулого століття виникла необхідність у проведенні ремонту сталевих ригелів, яка була викликана трьома важливими чинниками. Перший з них являв собою значне (в декілька разів) збільшення вертикальних рухомих навантажень від автотранспорту (особливо великотоннажних автомобілів). Другий був пов'язаний з корозійними пошкодженнями самих ригелів, що призвело до часткової втрати їхнього поперечного перерізу. А третій, напевно найголовніший, – полягав у прогресуючій динаміці розвинення наскрізних тріщин у бетонних бичках греблі. Тому після розроблення декількох варіантів ремонтних робіт було прийнято рішення щодо підсилення ригелів шляхом підведення під їхні консолі жорстких підкосів (рис. 4).

Результати обстеження виконаних у 1977 р. конструкцій автопроїзду. За результатами проведеного у січні–лютому 2020 р. обстеження конструкцій автопроїзду була виявлена низка дефектів їх конструктивних елементів, які полягають у наступному.

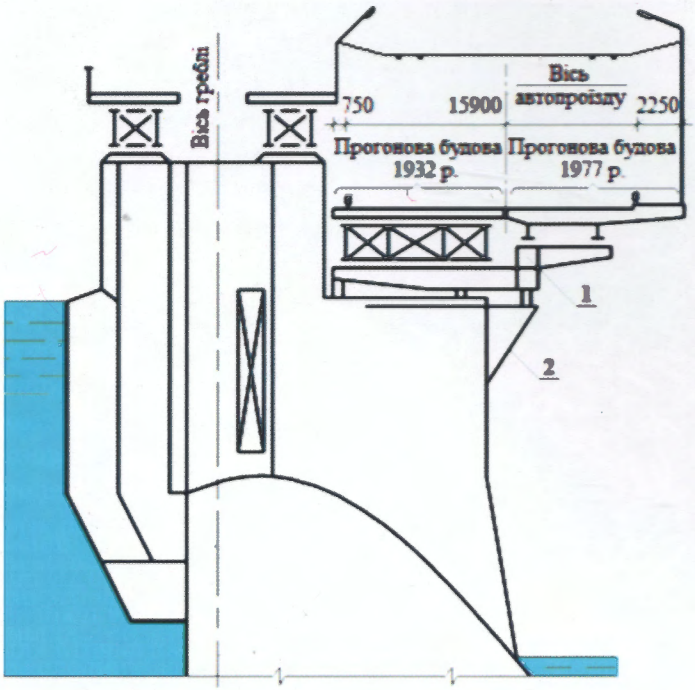


Рис. 3. Поперечний переріз греблі після реконструкції автопроїзду в 1977 р.:
1 – ригель; **2** – підкіс

Прогонові будови. Загальними дефектами, властивими всім прогоновим будовам, є значне пошкодження антикорозійного покриття (тріщини, міхури, злущення) та, як наслідок цього, – корозія металу з незначним ослабленням поперечних перерізів (рис. 5). У місцях приварки конструкцій деформаційних швів та в місцях отворів у плиті для перетину зварних швів наявні плями поверхневої корозії з ослабленням перерізу до 5 %, спучуванням та відшаруванням антикорозійного захисту з виникненням корозійних виразок. Також спостерігається корозія металу ортотропної плити в місцях пропалення металу, яке сталося під час демонтажу – монтажу поздовжнього деформаційного шва у 2010 році (рис. 6).

Опорні ригелі. Необхідно зазначити, що корозія насамперед вразила конструкції опорних ригелів під деформаційними швами внаслідок замокання та тривалого застою води в елементах з'єднань стінок і поясів ригелів, оскільки перевлаштування деформаційних швів не було проведено вчасно.

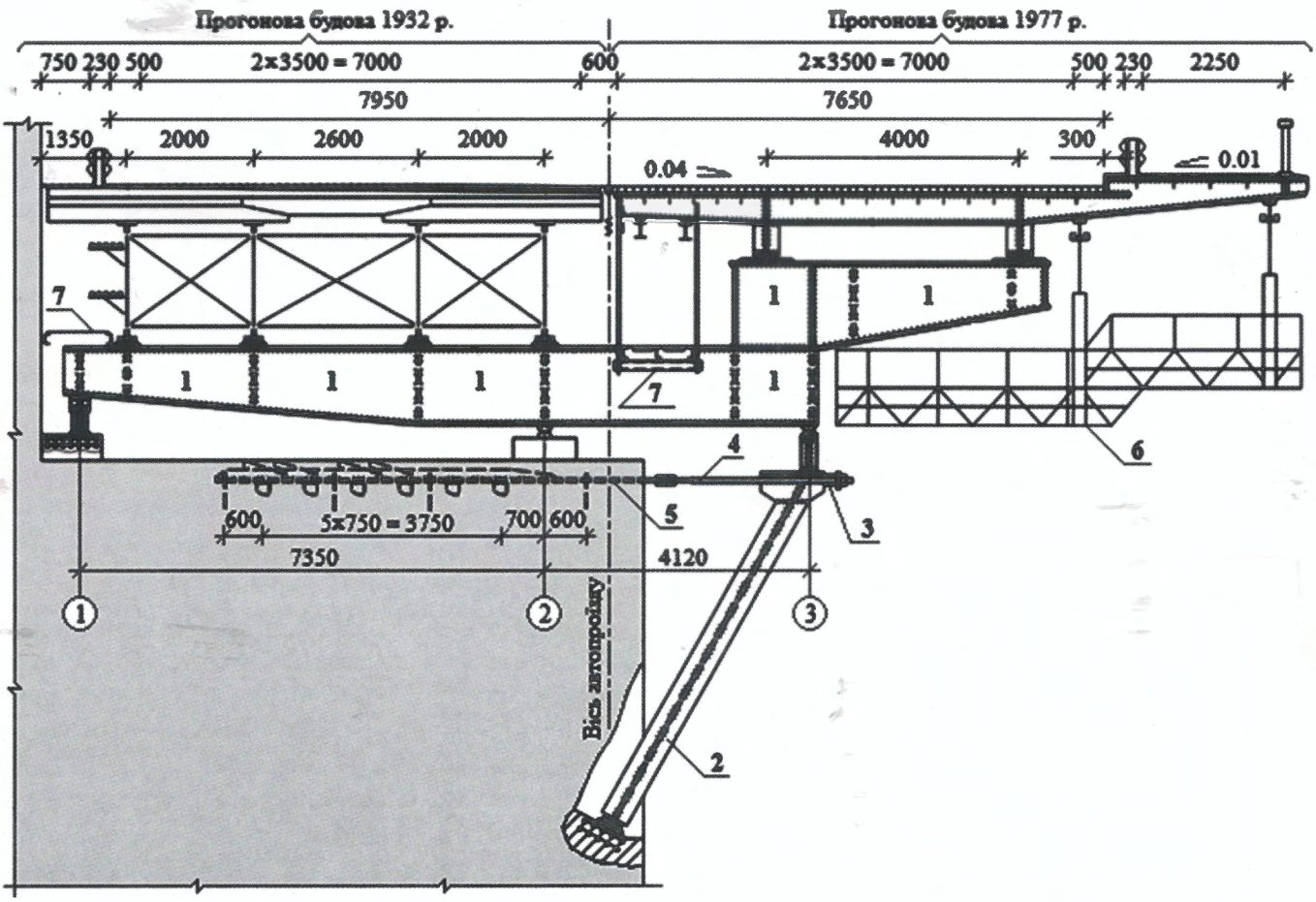


Рис. 4. Поперечний переріз прогонових будов після реконструкції автопроїзду у 1977 р.:
1 – ригель; **2** – підкіс; **3** – траверса; **4** – тяж; **5** – затяжка; **6** – пересувний оглядовий візок; **7** – оглядовий прохід;
(1), (2), (3) – осі обпирання ригеля



Рис. 5. Корозія конструкцій прогонової будови

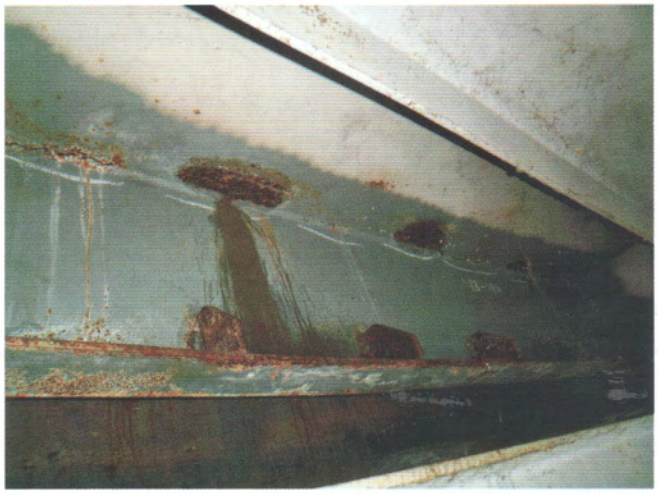


Рис. 6. Корозія металу ортотропної плити в місцях пропалення металу



Рис. 7. Бруд, сміття на поверхні ригелів, ворохи непотрібних кабелів, іржаві кронштейни та місця їх кріплення до ригеля на бичку № 3

Особливої уваги потребує технічний стан ригелів на бичках № 3 і № 45 через накопичення значної кількості непотребу: бруду, сміття, ворохів непотрібних кабелів, а також іржавих кронштейнів і місць їх кріплення до ригелів (рис. 7) – всі ці фактори, на превеликий жаль, прискорюють розвиток корозійних процесів опорних ригелів. А от найнебезпечнішими з виявлених дефектів виявилися тріщини та корозійні розшарування нижнього поясу ригеля на бичку № 3, що призвело не тільки до утворення наскрізних дір, а й до значного (до 50 %) ослаблення поперечного перерізу його нижнього поясу (рис. 8; 9).

Опорні частини. При обстеженні опорних частин виявлені наступні дефекти: поверхнева корозія опорних частин ригелів; часткова відсут-

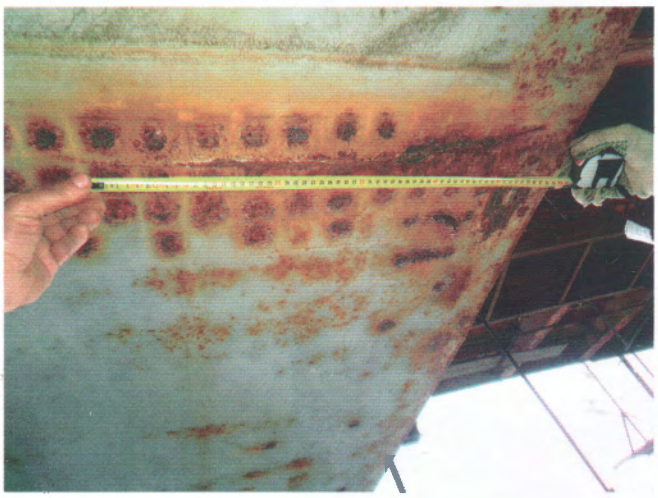


Рис. 8. Корозійна тріщина (довжина ~ 650 мм) у нижньому поясі ригеля на бичку № 3 зі сторони аванкамери



Рис. 9. Корозійна тріщина (довжина ~ 450 мм) у нижньому поясі ригеля на бичку № 3 зі сторони греблі

ність захисних кожухів опорних частин ригелів (рис. 10); поздовжні тріщини в гумових опорних частинах прогонових будов, поверхнева корозія опорних ребер, металевих листів та болтів опорних частин (на бичку № 3); засміченість ригелів та опорних частин прогонових будов (бички № 3 та № 45).



Рис. 10. Поверхнева корозія опорних частин ригелів. Відсутні захисні кожухи

Проїзна частина та тротуари. Дефекти перильної огорожі зводяться до тріщин і деформацій в окремих конструктивних елементах, відривів та корозії елементів заповнення, а у бар'єрній огорожі наявні деформації й тріщини окремих елементів та корозія стояків.

Покриття проїзної частини перебуває у задовільному стані та суттєвих дефектів наразі не має. Що ж стосується тротуарного покриття, то воно має тріщини поверхні, руйнування біля перил й стійок бар'єрної огорожі та засміченість тротуару.

На жаль, ще одну проблему для технічного стану переїзду створюють небезпечні дефекти ліхтарних щогл, а саме: зрізана ліхтарна щогла над бичком № 45 (рис. 11) і корозія металу щогл із незначною втратою перерізу.

В частині ж дефектів деформаційних швів, які безпосередньо впливають на безпечний рух автотранспорту, привернемо увагу до того, що вони зводяться до пошкодження (розривів) неопренового компенсатора над бичком № 21, відсутності з'єднання неопренових компенсаторів поздовжнього деформаційного шва з поперечними над бичками № 9, 15, 45 і засміченості всіх швів. В результаті маємо те, що відсутність з'єднання неопренових компенсаторів є причиною постійного попадання вологи крізь них, що призводить до пришвидшення корозійних руйнувань нижче розташованих металоконструкцій.

Що ж стосується дефектів допоміжних конструкцій, які використовуються задля забезпечення належної експлуатації автопроїзду по спорудах греблі, зазначимо, що вони практично тотожні тим дефектам, які вже були описані вище для його несних конструкцій. Наприклад, оглядові пристосування мають корозію елементів оглядових площадок (рис. 13), деформацію заповнення перил і відсутність значної кількості їх стійок, що спричиняє певну небезпеку при виконанні обстежень конструкцій автопроїзду. А пересувні візки взагалі знаходяться у неробочому стані, що викликаний наступними дефектами (рис. 14): механізми пересування (редуктори, котки) вкриті продуктами корозії, з огляду на що їх рухомість унеможливлюється; несні металоконструкції візків та кріплення дощатого настилу практично повністю



Рис. 11. Зрізана ліхтарна щогла



Рис. 12. Відсутність з'єднання поперечного та поздовжнього неопренових компенсаторів



Рис. 13. Корозія елементів оглядових площадок



Рис. 14. Корозія несних елементів візка; частково відсутній дощатий настил і елементи огорожі; механізми пересування візка заблоковані через корозію

зруйновані корозією; монорейки, по яких рухаються візки, мають значні корозійні пошкодження (подекуди наскрізні) та значні деформації в місцях деформаційних швів.

За результатами обстеження та виконаних розрахунків відповідно до [1] основні елементи моста віднесено до наступних експлуатаційних станів:

- прогонові будови – стан 3 (працездатний);
- металеві опорні ригелі – стан 5 (непрацездатний);
- перильна огорожа – стан 4 (обмежено працездатний);
- бар'єрна огорожа – стан 3 (працездатний);
- стовпи освітлення – стан 3 (працездатний);
- мостове полотно – стан 3 (працездатний);
- деформаційні шви – стан 3 (працездатний);
- система водовідводу – стан 4 (обмежено працездатний);
- оглядові пристосування – стан 4 (обмежено працездатний);
- пересувні візки – стан 5 (непрацездатний).

Таким чином, за рейтингом основних конструктивних елементів автопроїзд у цілому перебуває у стані 5 – непрацездатний.

Виходячи з вище викладеного, задля створення умов для подальшої безпечної експлуатації автопроїзду та недопущення аварій, насамперед, необхідно невідкладно виконати ремонт опорного ригеля на бичку № 3 за окремо розробленим проектом. Причому до завершення будівельних робіт із підсилення ригеля на бичку № 3 експлуатація автопроїзду можлива лише виключно в обмеженому режимі та за умови постійного моніторингу технічного стану конструкцій автопроїзду. До того ж необхідно обмежити навантаження від автотранспорту на крайній правій смузі на прогонових будовах 1977 р. та мосту через аванкамеру при русі транспорту з правого берега р. Дніпро на лівий. Зокрема, обмежитись на цій смузі руху лише пропуском легкових автомобілів вагою до 3 т. А для лівої смуги руху автотранспорту по прогонових будовах 1977 р. та мосту через аванкамеру ввести наступні обмеження: для автомобільного навантаження в колоні – 12 тс; для окремих транспортних засобів – 17 тс при допустимому навантаженні на вісь автомобіля – 7 тс.

Всі ж інші дефекти хоча і не є такими аварійно-небезпечними у порівнянні з дефектами ригеля на бичку № 3, проте теж вимагають усунення в найближчому майбутньому. В протилежному випадку, вони з часом теж можуть призвести до аварійно-небезпечної ситуації.

Резюмуючи викладене, ще раз привернемо увагу до того незаперечного факту, що довготривала відсутність належного експлуатаційного утримання мостових споруд у кінцевому результаті призводить до важких наслідків та є причиною появи аварійно-небезпечних ситуацій, які, як правило, вимагають значних коштів для усунення їх наслідків.

[1] ДСТУ-Н Б В.2.3-23:2012. Настанова з оцінювання і прогнозування технічного стану автодорожніх мостів. – Київ: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2013. – 45 с.

Надійшла 04.05.2020 р.

ТЕРМІНОВІ ПРОТИАВАРІЙНІ ЗАХОДИ НА АВТОПРОЇЗДІ ПО СПОРУДАХ ГРЕБЛІ ДНІПРОГЕС



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

З попередньої статті випливає, що при виконанні робіт із обстеження та паспортизації автодорожнього переходу через гідротехнічні споруди ДніпроГЕС (рис. 1) було зафіксовано низку дефектів конструкцій автопроїзду по спорудах греблі, серед яких найбільш небезпечними виявилися корозійні пошкодження ригеля над бичком № 3 греблі. Внаслідок цих корозійних пошкоджень нижній пояс ригеля значно втратив поперечний переріз (до 50 %), що призвело до утворення у ньому тріщин та корозійних розшарувань*. Що ж стосується головного чинника такого стану ригеля, то він полягає у тривалому впливі вологи та розчинів агресивних протиожеледних соляних сумішей внаслідок незадовільного технічного стану та негерметичності розташованого вище деформаційного шва. Слід зазначити, що даний ригель слугує опорою одразу для трьох мостових споруд (виконаних у 1932 і 1977 роках автопроїздів по спорудах греблі й моста через аванкамеру) тим самим фактично відіграючи роль їх «ключового» конструктивного елемента з усіма потенційними негативними наслідками, які можуть бути спричинені його можливим руйнуванням.

В опорному ригелі на протилежній стороні греблі (тобто над бичком № 45) так само були виявлені подібні корозійні пошкодження, однак із тією суттєвою різницею, що поки що вони не призвели до виникнення тріщин в елементах ригеля. Проте, наявні умови експлуатації ригеля та характер пошкоджень беззаперечно свідчать, що в недалекому майбутньому його стан може стати подібним нинішньому стану ригеля над бичком № 3.

З метою ліквідації існуючої аварійної ситуації та підсилення конструкції ригеля над бичком № 3 ТОВ «Укрінсталькон ім. В.М. Шимановського» терміново було розроблено проект необхідних протиаварійних ремонтних заходів, здійснення яких передбачено провести невідкладно у чотири послідовних етапи. Стосовно ж підсилення ригеля над бичком № 45 зауважимо, що



Рис. 1.
Автопроїзд по спорудах греблі ДніпроГЕС:
1 – автопроїзд, який виконано у 1977 році;
2 – автопроїзд, який виконано у 1932 році;
3 – міст через аванкамеру;
4 – місце розташування опорного ригеля над бичком № 3;
5 – місце розташування опорного ригеля над бичком № 45

* Див. рис. 8 та рис. 9 на стор. 5 попередньої статті

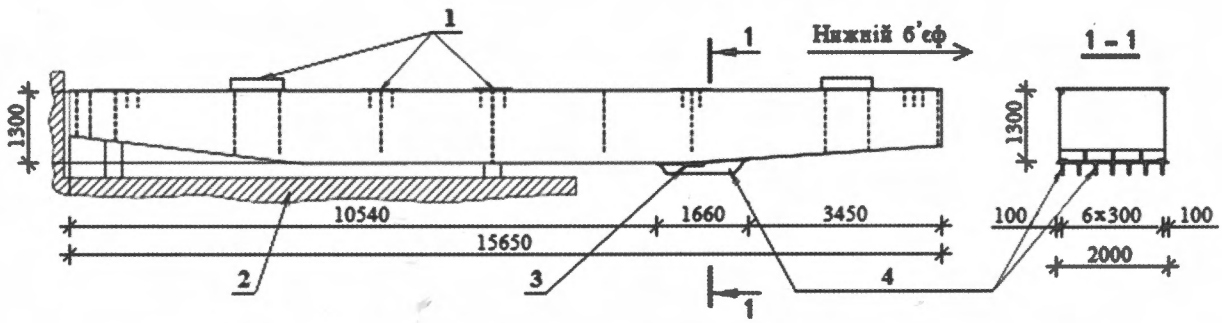


Рис. 2. Перший етап підсилення ригеля:

1 – місця обпирання прогонових будов; **2** – бичок; **3** – місце розташування тріщин у нижньому поясі; **4** – елементи підсилення (сталеві ребра)

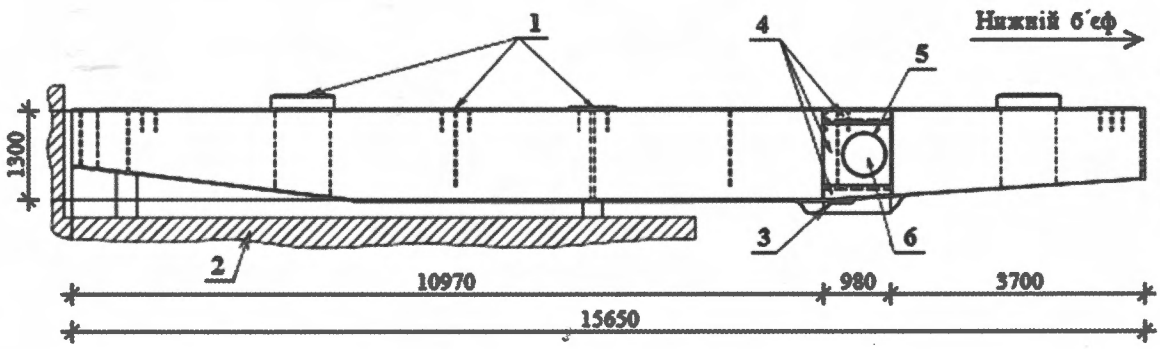
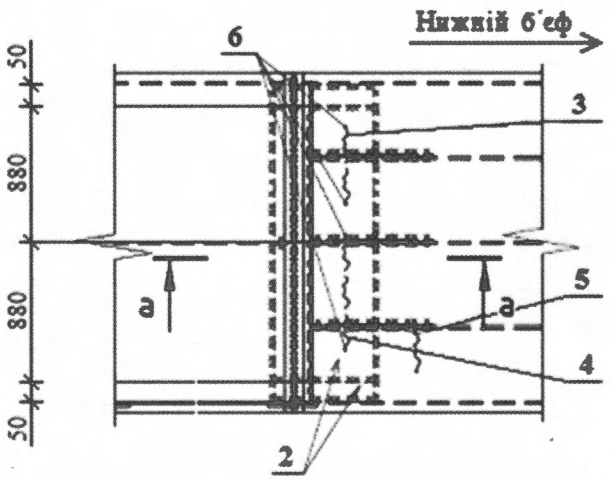


Рис. 3. Другий етап підсилення ригеля:

1 – місця обпирання прогонових будов; **2** – бичок; **3** – місце розташування тріщин у нижньому поясі; **4** – листи підсилення стінки ригеля; **5** – обичайка; **6** – оглядовий отвір



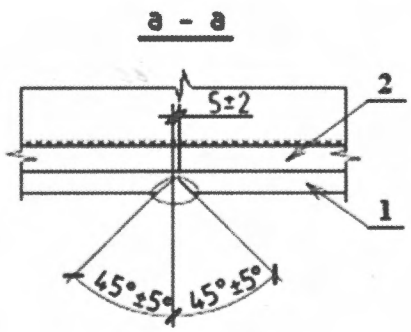


Рис. 4. Третій етап підсилення ригеля:

1 – пояс ригеля;
2 – листи підсилення пояса ригеля;
3 – тріщина завдовжки 450 мм;
4 – тріщина завдовжки 650 мм;
5 – два отвори ∅ 8 мм;
6 – чотири отвори ∅ 8 мм

його планується провести в аналогічний спосіб за винятком нижнього поясу, оскільки у ньому відсутні наскрізні корозійні тріщини.

Отже, на першому етапі робіт підсилюється нижній пояс ригеля ззовні (рис. 2). Задля цього спочатку виготовляються металоконструкції підсилення (сталеві ребра) з супутньою перевіркою їх геометрії за шаблоном. Одночасно поверхня ригеля з метою очищення піддається піскоструменевій обробці до чистого металу в місцях примикання елементів підсилення та накладання зварних швів. А далі провадиться монтаж елементів підсилення нижнього поясу.

До речі, при виконанні піскоструменевої обробки і накладанні зварних швів під час монтажу елементів підсилення (як і при проведенні всіх наступних етапів робіт) необхідно в обов'язковому порядку дотримуватися двох умов, які стосуються відсутності, по-перше, вібрації (коливань) конструкції і, по-друге, тимчасового навантаження на вище розташованих прогонових будовах.

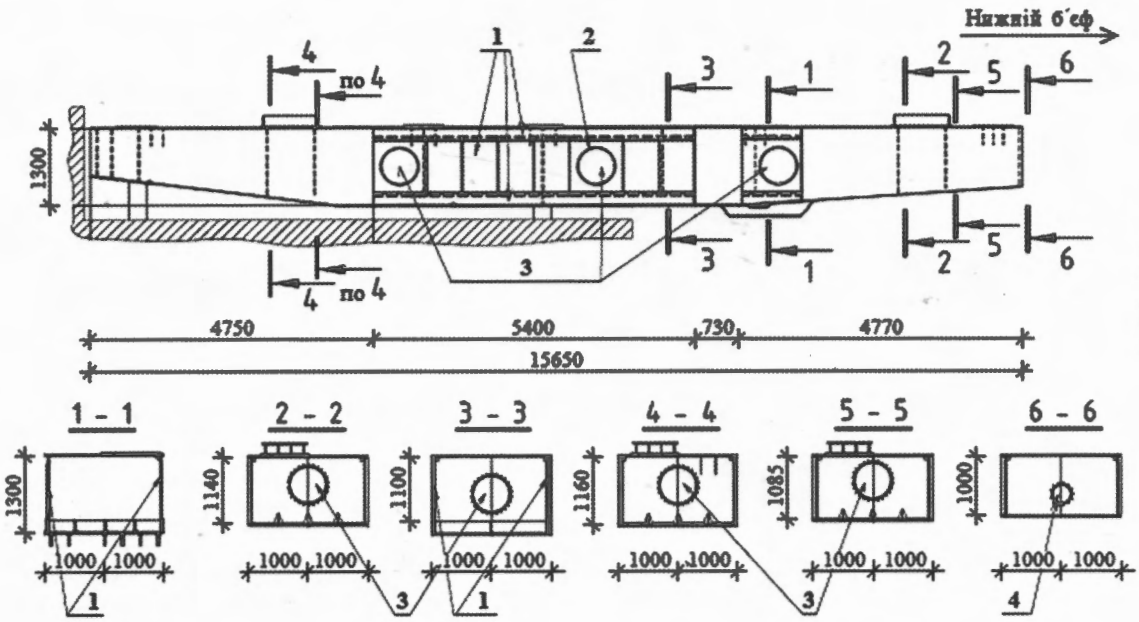


Рис. 5. Четвертий етап підсилення ригеля:
1 – листи підсилення стінки ригеля;
2 – обичайка;
3 – оглядовий отвір;
4 – вентиляційний отвір

Другий етап робіт передбачає влаштування оглядового (технологічного) отвору в стінці ригеля з попереднім підсиленням стінки в місці над розташуванням тріщин нижнього поясу (рис. 3). Для цього спочатку виконується монтаж листів підсилення стінки з попередньо вирізаним отвором. Потім вирізається оглядовий отвір в існуючій стінці ригеля, використовуючи накладки (листи підсилення стінки ригеля) як кондуктор після їх приварювання. А наприкінці отвір окантовується обичайкою з труби 630 × 8 на зварці.

На третьому етапі проводиться підсилення нижнього поясу ригеля зсередини, використовуючи для цього оглядовий отвір, влаштований на попередньому етапі ремонтних робіт (рис. 4). Спершу відбувається підготовка внутрішньої поверхні нижнього поясу, а саме – зачистка місць значних корозійних руйнувань нижнього поясу та ребер від залишків скородованого металу і зварних швів; потім у кінцях тріщин із розкриттям менш 1 мм засвердлюються отвори ∅ 8 мм, а самі тріщини обробляються. Місця значних корозійних руйнувань зачищаються до плавних контурів. Після завершення підготовчих робіт монтуються листи підсилення поясу ригеля. При цьому, тріщини заварюються, а місця значних корозійних пошкоджень обварюються по контуру.

Четвертий етап включає в себе підсилення стінок із обох сторін ригеля, влаштування оглядових отворів в одній стінці ригеля, а також влаштування оглядових та вентиляційного отворів в його діафрагмах. Схема розташування вказаних отворів наведена на рис. 5.

Таким чином, після завершення всіх вище перелічених робіт ригель не тільки відновить проектну несну здатність, але й завдяки влаштованим технологічним отворам значно спростить свою подальшу експлуатацію та матиме всі необхідні конструктивні умови для унеможливлення повторювання подібних аварійних ситуацій в майбутньому.

Висновки.

Виходячи з вище викладеного, можна дійти наступних висновків:

- недотримання правил експлуатації транспортних споруд та несвоєчасне проведення необхідних ремонтних заходів призводить до зниження довговічності конструкцій та негативно впливає на безпеку експлуатації споруд, а в окремих випадках – до виникнення аварійних ситуацій;
- при проектуванні мостових споруд треба уникати замкнутих коробчастих несних конструкцій, оскільки у випадку потрапляння всередину конструкції вологи, вона там буде накопичуватися та сприяти корозії металу. Відсутність вентиляції та доступу всередину конструкції унеможливлять контроль за станом антикорозійного захисту всередині конструкції та можливість усунення її наслідків. Виходячи з цього, рекомендується в несних мостових конструкціях коробчастого перерізу завжди передбачати оглядові та вентиляційні отвори.

Надійшла 19.05.2020 р.

ЄВРОКОДИ В СИСТЕМІ НОРМАТИВНО-ПРАВОВОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БУДІВНИЦТВА



В.П. Адріанов
заступник генерального директора
з науково-технічної політики
ТОВ «Укрінсталькон
ім. В.М. Шимановського»

Єврокод (Evrocode) – затверджена Європейським комітетом із стандартизації (CEN) редакція європейського стандарту із проектування споруд і будівель з метою надання йому презумпції відповідності основним вимогам механічного опору і стійкості, безпеки використання та пожежної безпеки, включаючи довговічність, Директиви щодо будівельних виробів (89/106 ЄЕС).

Історія створення Єврокодів бере свій початок у 1975 р., коли Комісія Європейської спільноти розпочала програму дій у галузі будівництва і взяла на себе ініціативу встановити систему узгоджених технічних правил для проектування будівель і споруд, у тому числі:

- надати загальні проектні критерії і методи для виконання встановлених вимог механічного опору і стійкості та вогнестійкості;
- забезпечити загальне розуміння щодо проектування будівель і споруд між власниками, операторами та користувачами, проектувальниками, підрядниками і виробниками будівельних виробів;
- сприяти обміну будівельними послугами між державами-членами ЄС;
- сприяти торгівлі і використанню конструктивних компонентів і комплектів у державах-членах ЄС;
- стати загальною основою для досліджень і розвитку у будівельному секторі;
- здійснити підготовку загальних допоміжних засобів і програмного забезпечення для проектування.

Публікація комплекту першого покоління європейських кодів була здійснена у 80-х роках минулого століття. У 1989 р. Комісія і держави-члени ЄС вирішили надати Єврокодам статусу європейських стандартів та передати CEN права з їх підготовки та публікації.

Протягом 1992–1998 рр. була проведена робота з узгодження усіх аспектів методів розрахунків Єврокодів між країнами ЄС, і вже в остаточному вигляді стандарти з проектування будівельних конструкцій у складі 10 Єврокодів, що складаються з 58 частин, були офіційно опубліковані у період з 2002 по 2006 роки (рис. 1).

Наразі система Єврокодів є домінантою нормативної бази Європейського Союзу, яка створювалась науковим загалом найбільш розвинутих країн світу, є відкритою системою із адекватним реагування на розвиток науки і техніки і тому широко використовується при проектуванні будівельних конструкцій будівель і споруд у багатьох країнах за межами ЄС.

Вітчизняна нормативна база у будівництві почала зближуватись з нормативною базою Європейського Союзу після схвалення 12.02.2005 р. Кабінетом міністрів України плану дій «Україна – ЄС», на основі якого були сформовані базові

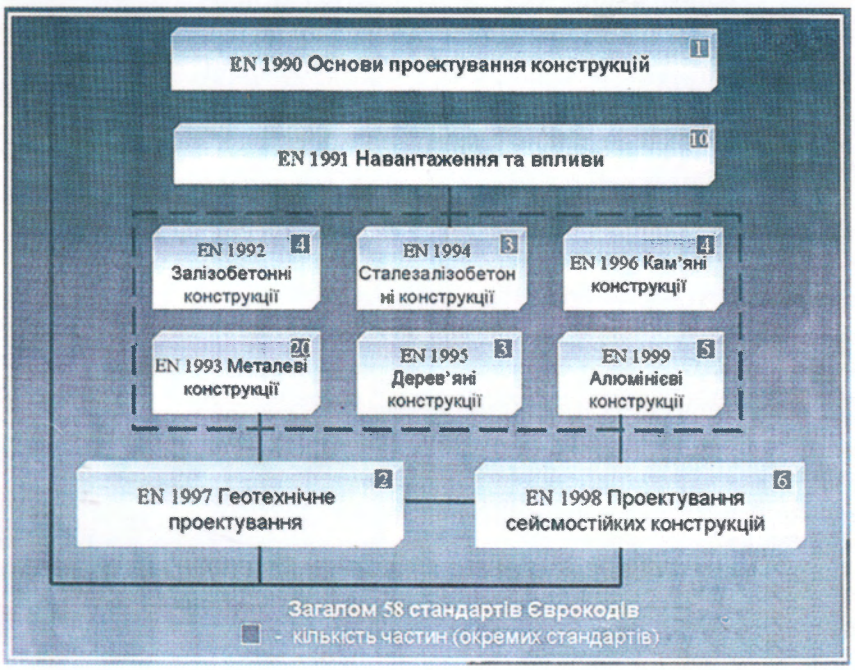


Рис. 1. Європейські стандарти з проектування будівельних конструкцій

© Адріанов В.П.

засади формування і подальший розвиток технічного регулювання у будівництві з урахуванням європейського досвіду і закріплені потім у наступних рішеннях Уряду:

- Постанова КМУ від 01.02.2006 р. № 240 «Про затвердження Правил підтвердження придатності нових будівельних виробів для застосування»;
- Постанова КМУ від 20.12.2006 р. № 1764 «Про затвердження Технічного регламенту будівельних виробів і споруд», який розроблено з урахуванням вимог Директиви Ради Європи від 21.12.1998 р. (89/106 ЄЕС).

У 2008 р. вперше за роки незалежності України Кабінет міністрів своїм розпорядженням від 22.02.2008 р. № 366-р та 27.02.2008 р. № 383 визначив одне із головних пріоритетних завдань для Мінрегіонбуду – забезпечити оновлення нормативної бази у сфері проектування, будівництва та промисловості будівельних матеріалів, адаптованої до вимог Європейського Союзу.

Наприкінці 2008 р. було прийнято 13 стандартів-настанов, розроблених на основі Керівних документів Ради Європи, в тому числі ДСТУ-Н Б А.1.1-77:2007 «Керівний документ L щодо застосування і використання Єврокодів», у якому визначено перелік вимог для впровадження Єврокодів у систему створення об'єктів будівництва.

Базовим нормативним документом із поєднання європейського досвіду із практикою проектування об'єктів і споруд в Україні стали прийняті Мінрегіонбудом державні будівельні норми ДБН А.1.1-94:2010 «Проектування будівельних конструкцій за Єврокодами. Основні положення».

Ці норми:

- встановлюють порядок імплементації і правила застосування Єврокодів в Україні у відповідності з ДСТУ-Н Б А.1.1-77;
- розповсюджуються на проектування за Єврокодами залізобетонних, сталевих, сталезалізобетонних, кам'яних, дерев'яних, алюмінієвих конструкцій, протипожежне та геотехнічне проектування і при дії сейсмічного навантаження;
- мають слугувати керівним документом для розроблення нормативних документів, що імплементують Єврокоди, а також Національний додаток, і призначення параметрів, що включаються на національному рівні.

Вони встановлюють, що при імплементації Єврокодів:

- Національний орган із стандартизації затверджує Єврокод або його відповідну частину як Національний стандарт, опублікований перекладений (ідентичний) текст або схвалює одну із мовних версій (англійську, німецьку, французьку);
- Національний стандарт, який впроваджує Єврокод, має складатися з Національної титульної сторінки, Національної передмови, тексту Єврокоду і Національного додатка (рис. 2);
- Національні параметри враховують особливості географічних і кліматичних умов, умов життя, встановлюваних рівнів безпеки, визначаються на національному рівні і наводяться у Національному додатку до ДСТУ-Н, який імплементує відповідну частину Єврокоду.



Рис. 2. Структура ДСТУ-Н, що імплементує Єврокод

ДБН А.1.1-94:2010 встановлює наступні умови одночасної дії імплементованих стандартів Єврокодів із державними будівельними нормами, в тому числі:

- період існування Єврокодів та чинних національних документів починається з прийняття пакетів ДСТУ-Н з Національним додатком, що імплементують відповідні частини;
- під час періоду співіснування пакети з частин ДСТУ-Н, що імплементують Єврокоди, діють на рівні з відповідними чинними національними нормативними документами;
- застосування при проектуванні будівель і споруд пакета з частин, що імплементують Єврокоди, або чинних національних нормативних документів повинно бути обумовлено в завданні на проектування;

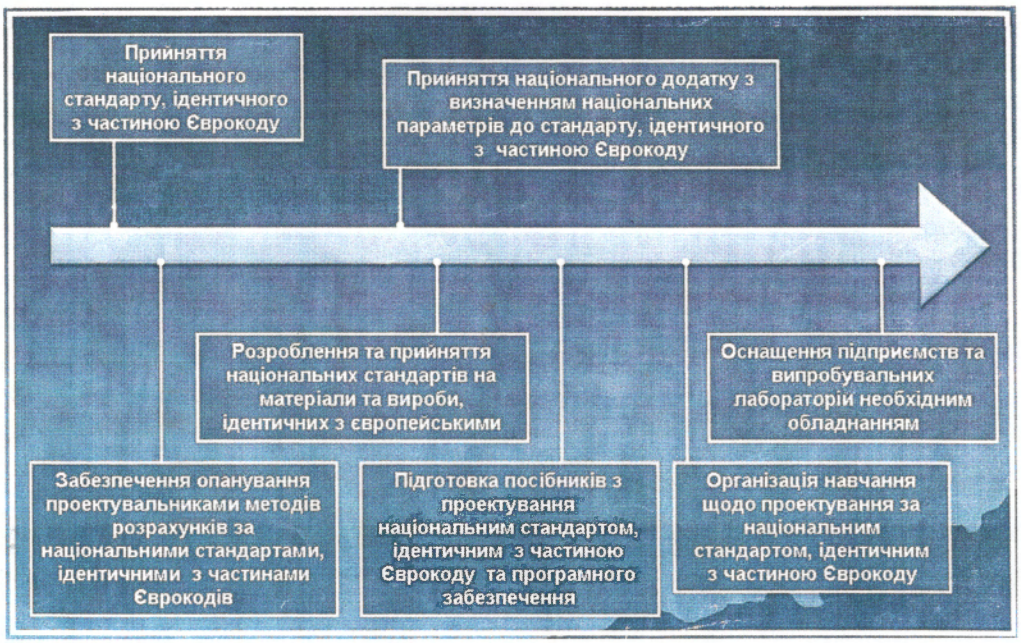


Рис. 3. Заходи з впровадження національних документів, гармонізованих з частиною Єврокоду в Україні

- проектування будівель і споруд із застосуванням ДСТУ-Н, що імплементують Єврокоди, надає презумпцію відповідності до усіх європейських законодавчих вимог щодо механічного опору і стійкості, вогнестійкості і довговічності.

У 2009 р. була розпочата активна фаза з гармонізації в Україні усіх частин Єврокодів, а також із визначення на національному рівні параметрів для розроблення Національних додатків до національних стандартів, які імплементують відповідну частину Єврокоду.

До цієї роботи був залучений широкий загал відомих у галузі вчених і фахівців науково-дослідних і проектних інститутів, підрозділів Національної академії наук України, вищих навчальних закладів будівельного напрямку та інших фахівців.

З метою єдиного методичного підходу до підготовки ідентичних національних стандартів шляхом перекладу під керівництвом відомих вчених д.т.н. Гордеєва В.М. та д.т.н. Перельмутера А.В. було підготовлено Термінологічний словник, складений на основі термінології та понять, що використовуються в європейських нормативних документах.

У 2013 р. робота з гармонізації і затвердження національних стандартів, що імплементують усі 58 частин Єврокодів, була завершена. Одночасно у Технічних комітетах стандартизації розпочалась активна актуалізація нормативних документів шляхом перекладу і прийняття міжнародних і європейських стандартів, посилання на які містяться у Єврокодах.

На початок 2014 р. в Україні на основі положень Законів України «Про будівельні норми», «Про стандартизацію», «Про технічні регламенти та оцінку відповідності», Постанови КМУ від 23.05.2011 р. № 547 «Про затвердження Порядку застосування будівельних норм, розроблених на основі національних технологічних традицій та будівельних норм, гармонізованих з нормативними документами Європейського Союзу», а також імплементації Єврокодів та гармонізації європейських стандартів на продукцію будівельного призначення були створенні умови для реалізації необхідних заходів із апробації і впровадження положень Єврокодів у вітчизняну практику проектування будівель і споруд (рис. 3).

Задля забезпечення опанування проектувальниками методів розрахунків за національними стандартами, ідентичними з частинами Єврокодів, із залученням професійних об'єднань бізнес-спільноти був підготовлений значний перелік Посібників для проектування за Єврокодами, до якого увійшли такі практичні Посібники:

- із проектування сейсмостійких конструкцій відповідно до Єврокоду 8;
- із розрахунку залізобетонних конструкцій на вогнестійкість відповідно до Єврокоду 2;
- із розрахунку сталевих конструкцій на вогнестійкість відповідно до Єврокоду 3;
- із розрахунку сталевих конструкцій будівель відповідно до Єврокоду 3;
- із розрахунку несних і огороджувальних конструкцій із сталевих холодноформованих профілів відповідно до Єврокоду 3 та інші посібники та приклади розрахунків.

Імплементовані Єврокоди та наведені Посібники щодо їх застосування стали основою для розроблення необхідних навчальних методик з опанування студентами вищих навчальних закладів будівельного профілю сучасних методів розрахунків будівельних конструкцій за європейськими стандартами.

Із провідними вітчизняними розробниками програмного продукту для потреб будівельної галузі «ЛІРА» та «СКАД-СОФТ» була розпочата робота із підготовки нових програмних комплексів для розрахунку та проектування будівельних конструкцій із застосуванням європейських нормативних документів.

У багатьох містах України були організовані семінари, конференції та практичні заняття з ознайомлення проектувальників та інших учасників будівельного ринку із особливостями застосування Єврокодів при проектуванні будівель і споруд.

Вкрай важливим питанням є впровадження Єврокодів в систему підготовки, атестації та сертифікації відповідальних виконавців окремих видів робіт (послуг), пов'язаних із створенням об'єктів архітектури. До відповідальних виконавців таких видів робіт (послуг) віднесено архітекторів, інженерів-проектувальників, інженерів технічного нагляду, експертів, а після внесення змін до Закону України «Про регулювання містобудівної діяльності» і інженерів-консультантів, які можуть здійснювати від імені замовника управління проектом, забезпечувати організаційне супроводження комплексу будівельних робіт та виконувати інші функції.

Усі ці фахівці повинні володіти необхідними знаннями щодо застосування Єврокодів при спорудженні будівель і споруд, запроектованих за європейськими нормами і бути в змозі забезпечити ефективне управління усіма наступними етапами їх життєвого циклу, чому також сприятиме і запроваджувальна система добровільної сертифікації персоналу будівельної галузі.

Щоб прийняті в Україні Єврокоди як національні стандарти запрацювали в повному обсязі, слід вирішити ряд проблем. Перш за все, необхідно прискорити гармонізацію міжнародних і європейських стандартів, посилання на які містяться в частинах Єврокодів. Наразі такі гармонізовані нормативні документи складають, біля 50 відсотків від загальної кількості.

По-друге – впровадити систему реагування на внесення змін у тексти Єврокодів у Європейському Союзі, оперативно гармонізувати такі зміни і в разі необхідності здійснювати коригування текстів Національних додатків до імплементованих частин Єврокодів.

По-третє – своєчасно вносити необхідні зміни у галузеву систему підготовки і перепідготовки фахівців будівельної галузі, які пов'язані із удосконаленням європейської гілки стандартизації.

По-четверте – усі учасники інвестиційного процесу – замовники, проектувальники, підприємства будіндустрії, постачальники, підрядники, органи експертизи, наглядові державні органи – повинні взяти на озброєння і виконувати вимоги гармонізації Єврокодів і європейських стандартів на будівельну продукцію.

Додатковим імпульсом у прискоренні впровадження сучасних європейських підходів до проектування об'єктів будівництва стали затверджені Кабінетом міністрів України зміни до порядку застосування будівельних норм, розроблених на основі національних технологічних традицій та будівельних норм, гармонізованих з нормативними документами Європейського Союзу в частині поширення його дії на об'єкти нового будівництва та реконструкції, які належать до усіх класів наслідків (відповідальності) СС1, СС2, СС3.

Реалізація сучасної моделі технічного регулювання у вітчизняній будівельній галузі, в основу якої покладені принципи, закріплені Директивою Ради Європи 89/106 ЄЕС (з 01.01.2013 р. Регламентом 305/2011) та Єврокодами, вимагає подальшої концентрації зусиль державних органів виконавчої влади, фахових галузевих об'єднань, науково-технічної і вузівської спільноти на вирішення всього комплексу питань, пов'язаних із підтримкою і подальшим розвитком існуючої нормативної бази фондоутворювальної галузі нашої країни.

Надійшла 05.05.2020 р.

ОРГАНІЗАЦІЙНО-ПРАВОВІ АСПЕКТИ ДОБРОВІЛЬНОЇ СЕРТИФІКАЦІЇ ПЕРСОНАЛУ У БУДІВНИЦТВІ



О.М. Галінський
директор Національного атестаційно-навчального центру, професор кафедри організації та управління будівництвом Київського національного університету будівництва та архітектури, д.т.н.

У ринкових умовах відповідно до міжнародної практики якість гарантується сертифікатом, що засвідчує відповідність фактичних параметрів продукції нормативним показникам. Об'єктом сертифікації, у тому числі добровільної, є як системи якості та управління якості, так і персонал. Сертифікація останнього є важливим напрямком державної політики для забезпечення конкурентоспроможності продукції, в тому числі у будівельній галузі, до якої, крім іншого, слід відносити не тільки завершені будівництвом об'єкти (будинки, будівлі, споруди будь-якого призначення, їх комплекси або частини, лінійні об'єкти інженерно-транспортної інфраструктури), а і проекти на ці об'єкти будівництва.

Перед замовниками (інвесторами) постають важливі завдання щодо управління об'єктами будівництва на всіх етапах їх життєвого циклу (проектування, будівництво, експлуатація та ліквідація), що потребує відповідного рівня компетентності.

У той же час збільшення обсягів будівництва та підвищення складності об'єктів будівництва потребує залучення на договірних засадах компетентних (атестованих) фахівців, сертифікованих як на обов'язковій, так і на добровільній основі.

Нормативно-правовим підґрунтям для здійснення сертифікації персоналу (фахівців) є Закон України «Про акредитацію органів з оцінки відповідності» [1], яким передбачено, що Національний орган України з акредитації може акредитувати органи з оцінки відповідності, у тому числі органи з акредитації персоналу, а сама акредитація базується на таких основних принципах: забезпечення рівності прав, загальнодоступність, прозорість діяльності з акредитації, добровільність акредитації, професійна компетентність виконавців робіт тощо.

Закон України «Про технічні регламенти та оцінку відповідності» [2] визначає також правові та організаційні засади здійснення добровільної оцінки відповідності. Згідно зі статтею 1 цього Закону орган із сертифікації (у т.ч. із сертифікації персоналу) – це орган з оцінки відповідності, який є третьою стороною та управляє схемами сертифікації.

Статтею 17 Закону України «Про архітектурну діяльність» [3] до останнього часу була передбачена тільки обов'язкова атестація «відповідальних виконавців окремих видів робіт (послуг), пов'язаних із створенням об'єктів архітектури».

Ця професійна атестація проводиться центральним органом виконавчої влади, що реалізує державну політику у сфері архітектури або за рішенням цього органу (Мінрегіону України) повноваження щодо проведення професійної атестації можуть бути делеговані саморегулівним організаціям у сфері архітектурної діяльності.

Постановою Кабінету міністрів України [4] відповідальними виконавцями таких видів робіт (послуг) визнано архітекторів, інженерів-проектувальників, інженерів технічного нагляду та експертів, виконавців робіт, головних державних інспекторів, головних інспекторів будівельного нагляду та інші посадові особи, які виконують функції із здійснення державного архітектурно-будівельного контролю, та передбачено порядок їх обов'язкової професійної атестації з видачею кваліфікаційного сертифіката.

Але обов'язкова професійна атестація фахівців не охоплює всіх видів робіт (послуг) у галузі будівництва, які потребують висококваліфікованих сертифікованих виконавців. Цю проблему вирішує нещодавно прийнятий Закон України № 199-IX [5], яким передбачено внесення змін до деяких законів України, у тому числі зміни, якими добровільна сертифікація фахівців у сфері архітектурної діяльності прирівнюється до обов'язкової сертифікації.

Так, пп. 3 п. 6 розділу I Закону 199-1X внесено зміни до статті 17 Закону України «Про архітектурну діяльність», а саме:

© Галінський О.М.

«До виконавців робіт, які пройшли професійну атестацію відповідно до цієї статті, прирівнюються особи, які отримали сертифікати за напрямом професійної атестації в органах з сертифікації персоналу, акредитованих відповідно до Закону України «Про акредитацію органів з оцінки відповідності», та включені до Єдиної державної електронної системи у галузі будівництва.

Органи з сертифікації персоналу протягом трьох робочих днів від дня видачі відповідних сертифікатів направляють в електронній формі перелік осіб, які отримали такі сертифікати, до центрального органу виконавчої влади, що забезпечує формування та реалізує державну політику у галузі будівництва, архітектури, містобудування.

Центральний орган виконавчої влади, що забезпечує формування та реалізує державну політику у сфері будівництва, архітектури, містобудування, не пізніше наступного робочого дня з дня отримання переліку осіб, які отримали сертифікати в органах з сертифікації персоналу, вносить відповідні відомості до Єдиної державної електронної системи у галузі будівництва».

Це положення набуває чинності з 01.12.2020 р.

Крім того пп. 5 п. 6 розділу I того ж Закону внесено зміни до статті 27 Закону України «Про архітектурну діяльність», у якій тепер зазначено, що:

«доручати виконання окремих видів робіт (послуг), пов'язаних із створенням об'єктів архітектури, особам, які мають відповідний кваліфікаційний сертифікат або отримали сертифікат за напрямом професійної атестації в органах з сертифікації персоналу, акредитованих відповідно до Закону України «Про акредитацію органів з оцінки відповідності», та включені до Єдиної державної електронної системи у сфері будівництва».

Це положення вводиться в дію з 01 березня 2020 р. крім слів: *«та включені до Єдиної державної електронної системи у галузі будівництва»*, які набувають чинності з 01 грудня 2020 р.

У зв'язку з тим, що, станом на 01 березня 2020 року ще не буде діяти Єдина державна електронна система у галузі будівництва (Електрона Система), пп. 4 п. 9 розділу II Закону 199-1X передбачено положення, яке вступає в силу з 01 березня 2020 року: *«до запровадження Єдиної державної електронної системи у галузі будівництва особи, які отримали сертифікати за напрямом професійної атестації в органах з сертифікації персоналу, акредитованих відповідно до Закону України «Про акредитацію органів з оцінки відповідності», можуть виконувати окремі види робіт (послуг), пов'язані із створенням об'єкта архітектури, з дня їх включення до Реєстру атестованих осіб на підставі заяви та відповідного сертифіката, які подаються такими особами до центрального органу виконавчої влади, що реалізує державну політику у сфері архітектури. Строк включення осіб, які отримали сертифікати за напрямом професійної атестації в органах з сертифікації персоналу, акредитованих відповідно до Закону України «Про акредитацію органів з оцінки відповідності», до Реєстру атестованих осіб становить п'ять робочих днів з дня отримання заяви та відповідного сертифіката».*

Вже протягом двох років в Україні проходить добровільна сертифікація фахівців за відносно новою професією «інженер-консультант (будівництво)».

Ця професія була запроваджена зміною № 6 до національного класифікатора ДК 003:2010 «Класифікатор професій» [6] та зміною № 11 [7] до розділу 1 «Керівники, професіонали, фахівці» Довідника кваліфікаційних характеристик професій працівників (Випуск 64. «Будівельні, монтажні та ремонтно-будівельні роботи»), у якому передбачено чотири категорії інженера-консультанта (будівництво) із зазначенням відповідних кваліфікаційних вимог:

інженер-консультант (будівництво) – провідний,
інженер-консультант (будівництво) – I категорії,
інженер-консультант (будівництво) – II категорії
та інженер-консультант (будівництво).

Нормативно-правові підстави діяльності інженера-консультанта були також визначені в період 2016–2018 років у низці документів, починаючи з Постанови Кабінету міністрів щодо вимог з контролю якості при будівництві автомобільних доріг і закінчуючи листом Мінрегіону України щодо складання договору на надання послуг інженером-консультантом [8, 9, 10, 11].

У зв'язку із необхідністю забезпечення якості робіт із будівництва і ремонту автомобільних доріг і зростаючим обсягом цих робіт, які виконуються у тому числі за договорами FIDIC із залученням коштів закордонних інвесторів, Президентом України 19 липня 2019 року було підписано Указ № 1529/2019 [12], яким підвищена роль інженера-консультанта і надано доручення Кабінету міністрів України забезпечити до 01 січня 2020 року: *«встановлення обов'язку для замовників будівництва, реконструкції та ремонту*

автомобільних доріг залучати на конкурсних засадах незалежного інженера-консультанта у сфері дорожнього будівництва (FIDIC) на етапах закупівель, виконання робіт, гарантійного обслуговування».

Згідно з кваліфікаційними вимогами до інженера-консультанта ІІ, І та провідної категорій, визначених у [7], а також враховуючи перелік базових послуг [13], що розроблені Міждержавною гільдією інженерів консультантів, і які незалежний інженер-консультант (суб'єкт господарювання) може надавати за договором із замовником, інженер-консультант (будівництво) повинен мати, серед іншого, кваліфікаційний сертифікат інженера технічного нагляду.

Враховуючи це, а також виходячи з міжнародного досвіду та практики реалізації в Україні інвестиційних проектів із залученням коштів міжнародних фінансових організацій та з метою підсилення ролі інженера-консультанта (будівництво) у забезпеченні якості реалізації будівельних проектів, Законом України № 199-IX [5] внесено зміни до статті 11 Закону України «Про архітектурну діяльність», згідно з якою: *«Технічний нагляд забезпечується замовником та здійснюється особами, які мають кваліфікаційний сертифікат», а «Обов'язок щодо здійснення технічного нагляду може бути покладений замовником на спеціалізовану організацію чи спеціаліста з технічного нагляду або на інженера-консультанта, з визначенням у договорі підряду їхніх повноважень. Зразкові форми договорів про здійснення технічного нагляду та надання інженерно-консультаційних послуг у будівництві затверджуються центральним органом виконавчої влади, що забезпечує формування державної політики у сфері архітектури».*

Зважаючи на важливість ролі інженера-консультанта у реалізації будівельних проектів Законом України № 199-IX [5] (пп. 1та пп. 8 п. 13 розділу І) внесено зміни також у Закон України «Про регулювання містобудівної діяльності» [14], у статті 1 якого надано термінологічне визначення професії «інженер-консультант»: *«інженер-консультант – фахівець із кваліфікаційним рівнем, підтвердженим органом із сертифікації персоналу, акредитованим у відповідній сфері згідно із законом, та/або суб'єкт господарювання, що має у своєму складі таких фахівців, який здійснює управління проектом, забезпечує організаційне і консультаційне супроводження комплексу робіт, пов'язаних із створенням об'єкта архітектури, приймає від імені замовника відповідні рішення та виконує інші функції, визначені договором»*, а у статті 37 «Дозвіл на виконання будівельних робіт» зазначено, що до заяви на отримання «Дозволу…», крім інших документів, які включають копії документів про призначення осіб, відповідальних за виконання будівельних робіт, та осіб, які здійснюють авторський і технічний нагляд, додається *«інформація про інженера-консультанта (у разі його залучення)».*

Згідно з прикінцевими положеннями Закону № 199-IX [5] зміни у Закони України щодо інженера-консультанта набирають чинності з 01 березня 2020 р.

Зазначені вище значні зміни у законодавстві України щодо прирівнювання добровільної сертифікації до обов'язкової, а також підвищення ролі інженерів-консультантів, сертифікованих на добровільній основі, є як ніколи актуальними і пов'язані з необхідністю досягнення економічних і соціальних цілей держави, підвищення ефективності вітчизняної економіки, у тому числі будівельної галузі, що нерозривно пов'язано з підвищенням кваліфікації фахівців.

Якщо розглядати добровільну сертифікацію фахівця за професією «інженер-консультант» для можливості включення його даних до Реєстру атестованих осіб, а в подальшому до Електронної Системи, то підвищувати кваліфікацію (спеціальну підготовку) фахівець має у навчальному центрі будівельної галузі (НЦБГ) з наступним складанням кваліфікаційного екзамену в атестаційному центрі будівельної галузі (АЦБГ), компетентність яких підтверджується органом із сертифікації персоналу будівельної галузі (ОСП БГ), який акредитовано відповідно до Закону України «Про акредитацію органів з оцінки відповідності» [1] Національним агентством з акредитації України (НААУ) згідно з вимогами ISO/IEC 17024:2012 [15].

Тільки за такої схеми ОСП БГ може виступати третьою стороною, що підтверджує компетентність фахівців будівельної галузі, які бажають проходити добровільну сертифікацію, у тому числі інженера-консультанта, надавати послуги відповідно до його кваліфікації.

Обов'язково слід зазначити і те, що Національне агентство з акредитації України, яке засвідчило компетентність ОСП БГ щодо проведення сертифікації персоналу будівельної галузі, є асо-

ційованим членом та підписантом двосторонньої Угоди [16] з Європейською кооперацією з акредитації (ЄА) в галузі «Сертифікація персоналу», відповідно до якої сторони Угоди (ЕА та НААУ) зобов'язуються: визнавати дію їх національно визнаних схем акредитації, що відповідають доречним стандартам серії ISO/IEC 17000 та документам ЕА; приймати на рівній основі сертифікати, видані їх акредитованими органами із сертифікації; сприяти прийняттю сертифікатів, виданих їх акредитованими органами із сертифікації, усіма користувачами в своїх країнах.

Висновки.

1. Сертифікація персоналу, у тому числі добровільна, є важливим напрямком державної політики для забезпечення конкурентоспроможності та підвищення якості робіт у будівельній галузі.

2. Зміни до Закону України «Про архітектурну діяльність», зазначені у Законі України № 199-IX, щодо прирівнювання добровільної сертифікації фахівців у сфері архітектурної діяльності до обов'язкової сертифікації, дають змогу широко залучати висококваліфікованих фахівців до надання послуг із супроводження та контролю якості робіт у будівництві.

3. Зміни до Законів України «Про архітектурну діяльність» та «Про регулювання містобудівної діяльності» щодо інженера-консультанта, зазначені у Законі України № 199-IX, надають термінологічне визначення професії «інженер-консультант» та можливість здійснювати технічний нагляд нарівні із спеціалістом із технічного нагляду у разі визначення у договорі підряду їхніх повноважень, що підвищує роль інженера-консультанта при реалізації проектів, у тому числі тих, що фінансуються за рахунок закордонних інвесторів.

4. Для виконання фахівцями окремих видів робіт (послуг), пов'язаних із створенням об'єкта архітектури, їх добровільна сертифікація має здійснюватись «третьою стороною» – органом з сертифікації персоналу будівельної галузі, компетентність якого обов'язково має бути підтверджена Національним агентством з акредитації України, що надає змогу включення інформації про такого фахівця з 01 березня 2020 року до Реєстру атестованих осіб Мінрегіону України, а в подальшому до Єдиної державної електронної системи у галузі будівництва.

5. Відповідно до Угоди між Європейською кооперацією з акредитації та Національним агентством з акредитації України, сертифікати, видані органами із сертифікації персоналу, які акредитовані НААУ відповідно до вимог стандартам серії ISO/IEC 17000, у тому числі сертифікати інженерів-консультантів (будівництво), мають прийматися на рівній основі у відповідних європейських країнах.

[1] Закон України «Про акредитацію органів з оцінки відповідності» від 17 травня 2001 року № 2407-III.

[2] Закон України «Про технічні регламенти та оцінку відповідності» від 15 січня 2015 року № 124-VIII.

[3] Закон України «Про архітектурну діяльність» від 20 травня 1999 року № 687-XIV.

[4] Постанови Кабінету міністрів України від 23 травня 2011 р. № 554.

[5] Закон України «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо удосконалення порядку надання адміністративних послуг у сфері будівництва та створення Єдиної державної електронної системи у сфері будівництва» від 17 жовтня 2019 року № 199-IX.

[6] Про затвердження Зміни № 6 до національного класифікатора України ДК 003:2010 / Міністерство економічного розвитку і торгівлі України, 2017. – (Наказ № 1542 від 08.08.2017).

[7] Про внесення змін до Довідника кваліфікаційних характеристик професій працівників Випуск 64 «Будівельні, монтажні та ремонтно-будівельні роботи» / Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2017. – (Наказ № 192 від 08.08.2017).

[8] Про затвердження вимог щодо проведення контролю якості робіт з нового будівництва, реконструкції та капітального ремонту автомобільних доріг загального користування. / Кабінет Міністрів України, 2016. – (Постанова Кабінет Міністрів України № 1065 від 28 грудня 2016 р. зі змінами згідно Постанова Кабінет Міністрів України № 846 від 08.11.2017).

[9] Про затвердження Мінімальних вимог з охорони праці на тимчасових або мобільних будівельних майданчиках. / Міністерство соціальної політики України, 2017. – (Наказ № 1050 від 23.06.2017).

[10] Правила визначення вартості будівництва: Зміна 2. ДСТУ Б Д.1.1-1:2013.

[11] Лист Мінрегіону України від 22.11.2018 №7/15.1/11185-18.

[12] Указ Президента України «Про деякі заходи щодо створення умов для розвитку та підвищення якості автомобільних доріг» від 19.07.2019 № 1529/2019.

[13] Ціноутворення у будівництві // Збірник офіційних документів і роз'яснень. – К.: НВФ «ІНПРОЕКТ», 2017. – Вип. 12.

[14] Закон України «Про регулювання містобудівної діяльності» від 17 лютого 2011 року № 3038-VI

[15] Міжнародний стандарт ISO/IEC 17024:2012 «Оцінка відповідності. Загальні вимоги до органів, що здійснюють сертифікацію персоналу».

[16] Угода щодо взаємного прийняття сертифікатів сертифікації персоналу між сторонами, що підписали Багатосторонню Угоду, та Національним агентством з акредитації України від 25 листопада 2009 року.

Надійшла 04.05.2020 р.

УДК 625.717.02

КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОЕКТУВАННЯ ДВОШАРОВИХ ЖОРСТКИХ АЕРОДРОМНИХ ПОКРИТТІВ

Запропоновано комп'ютерну програму «Аеродром 380» для проектування двошарових жорстких аеродромних покриттів на дію основних опор повітряного судна Airbus 380 з урахуванням як розрахункових критеріїв розтягувальних напружень на верхній та нижній поверхнях цементобетонної плити двошарового жорсткого аеродромного покриття.

«Aerodrome 380» software is offered for two-layered airfield rigid pavement design under impact of Airbus 380 main landing gears with accounting as design factors tensile bending stresses at the top and bottom of cement concrete slab of two-layered airfield rigid pavement.

Ключові слова: жорстке аеродромне покриття, повітряне судно, основна опора, коефіцієнт накопичення руйнувань від утоми.



О.В. Родченко
доцент кафедри комп'ютерних технологій будівництва Національного авіаційного університету,
к.т.н., доцент

В Україні традиційними жорсткими аеродромними покриттями міжнародних аеропортів є двошарові монолітні цементобетонні покриття на штучній основі, укріпленій в'яжучим (рис. 1), ось чому удосконалення проектування жорстких покриттів є важливим особливо для розрахунку аеродромних конструкцій на дію основних опор широкофюзеляжних повітряних суден, таких як А380-800 (вагові варіанти WV000-009).

При дії на одну цементобетонну плиту двох шестиколісних опор літака А380-800 виникає значне розтягувальне напруження на верхній поверхні плити, що призводить до появи поздовжніх тріщин у зоні між поперечними швами із штировими з'єднаннями [1, 2].

Для проектування двошарових монолітних цементобетонних аеродромних покриттів на дію колісних навантажень від основних опор літака А380-800 була побудована спеціалізована комп'ютерна програма «Аеродром 380» [3].

У програмі «Аеродром 380» згинальний момент визначається при дії однієї чотириколісної опори повітряного судна А380-800 по центру плити:

$$M_{\text{int}} = \frac{V_{WG} k_d \gamma_f}{4}\left[0{,}1154 - 0{,}0902 \ln\left(\frac{\sqrt{\frac{V_{WG} k_d \gamma_f}{4000 \cdot \pi p_a}}}{l}\right)\right] -$$

$$-\frac{V_{WG} k_d \gamma_f}{4}\left[0{,}1506 \ln\frac{1{,}35}{l} + 0{,}00873 \ln\frac{1{,}7}{l}\right] +$$

$$+\frac{0{,}0018 \cdot V_{WG} k_d \gamma_f e^{\frac{1{,}7}{l}}}{4}, \qquad (1)$$

де V_{WG} – максимальне вертикальне навантаження на основну опору під крилом, кН [4]; k_d – коефіцієнт динамічності [5]; γ_f – коефіцієнт розвантаження [5]; p_a – тиск у пневматиках, МПа [4]; l – пружна характеристика плити, м.

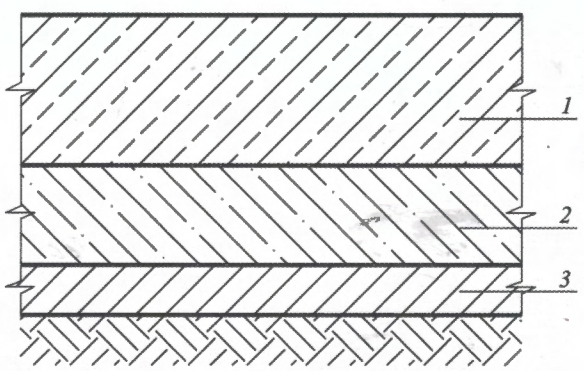


Рис. 1. Двошарове монолітне цементобетонне аеродромне покриття:
1 – верхній шар із монолітного цементобетону; **2** – нижній шар із пісного бетону; **3** – укріплена штучна основа

Розтягувальні напруження у крайовій зоні на верхній поверхні верхнього шару покриття, що виникають при дії всіх основних опор А380-800, визначаються за допомогою розробленої емпіричної формули

$$\sigma_{T,up} = \sigma_{up}(0{,}048 \ln K_s + 0{,}457), \qquad (2)$$

де σ_{up} – розтягувальні напруження на нижній поверхні цементобетонної плити, МПа, K_s – коефіцієнт постелі природної основи, МН/м^3.

Максимальне розтягувальне напруження у крайовій зоні на нижній поверхні цементобетонної плити при дії колісного навантаження по краю плити покриття:

© Родченко О.В.

$$\sigma_{up} = \frac{0{,}006E_{up}h_{up}}{E_{up}h_{up}^3 + E_{lw}h_{lw}^3 + E_{sb}h_{sb}^3} \cdot M_{\text{int}}k \times$$

$$\times\left[1-0{,}167\left(0{,}791-0{,}141\ln\frac{E_{up}h_{up}^3 + E_{lw}h_{lw}^3}{E_{sb}h_{sb}^3}\right)\right], \quad (3)$$

де E_{up} – модуль пружності верхнього шару, МПа; E_{lw} – модуль пружності нижнього шару, МПа; E_{sb} – модуль пружності штучної основи, МПа; h_{up} – товщина верхнього шару, м; h_{lw} – товщина нижнього шару, м; h_{sb} – товщина штучної основи, м; M_{int} – центральний згинальний момент, кН·м/м; k – перехідний коефіцієнт.

Максимальне напруження у крайовій зоні на верхній поверхні нижнього шару аеродромного покриття визначається за формулою

$$\sigma_{T,lw} = \sigma_{lw}(0{,}088\ln K_s + 0{,}439), \quad (4)$$

де σ_{lw} – максимальне розтягувальне напруження у крайовій зоні на нижній поверхні нижнього шару покриття, МПа; K_s – коефіцієнт постелі, МН/м^3.

Максимальне розтягувальне напруження у крайовій зоні на нижній поверхні нижнього шару двошарового покриття визначається за формулою

$$\sigma_{lw} = \frac{0{,}006E_{lw}h_{lw}}{E_{up}h_{up}^3 + E_{lw}h_{lw}^3 + E_{sb}h_{sb}^3} \cdot M_{\text{int}}k \times$$

$$\times\left[1-0{,}167\left(0{,}791-0{,}141\ln\frac{E_{lw}h_{lw}^3 + E_{up}h_{up}^3}{E_{sb}h_{sb}^3}\right)\right], \quad (5)$$

де E_{lw} – модуль пружності нижнього шару покриття, МПа; E_{up} – модуль пружності верхнього шару, МПа; E_{sb} – модуль пружності штучної основи, МПа; h_{lw} – товщина нижнього шару покриття, м; h_{up} – товщина верхнього шару, м; h_{sb} – товщина штучної основи, м; M_{int} – центральний згинальний момент, кН·м/м; k – перехідний коефіцієнт.

Товщину цементобетонної плити аеродромного покриття при дії навантаження від основних опор надважкого широкофюзеляжного літака А380-800 з використанням як розрахункових критеріїв максимальних розтягувальних напружень на нижній та верхній її поверхнях пропонується визначати в ході ітераційного процесу, в основу якого покладено концепцію руйнування від утоми. Руйнування від утоми цементобетонного покриття (розвиток тріщини у розрахунковому перерізі цементобетонної плити) відбувається, коли коефіцієнт накопичення руйнувань або сума пошкоджень така, що дорівнює одиниці.

$$D_{B,up} = \frac{N \cdot \text{T}}{C_{B,up} \cdot P(V_{WG})};$$

$$D_{T,up} = \frac{N \cdot \text{T}}{C_{T,up} \cdot P_T}; \quad (6)$$

$$D_{B,lw} = \frac{N \cdot \text{T}}{C_{B,lw} \cdot P(V_{WG})};$$

$$D_{T,lw} = \frac{N \cdot \text{T}}{C_{T,lw} \cdot P_T}, \quad (7)$$

де $D_{B,up}$ – коефіцієнт накопичення руйнувань від утоми при використанні як розрахункового критерію розтягувального напруження у крайовій зоні на нижній поверхні верхнього шару двошарового жорсткого аеродромного покриття; $D_{T,up}$ – коефіцієнт накопичення руйнувань від утоми при використанні як розрахункового критерію розтягувального напруження у крайовій зоні на верхній поверхні верхнього шару; $D_{B,lw}$ – коефіцієнт накопичення руйнувань від утоми при використанні як розрахункового критерію розтягувального напруження у крайовій зоні на нижній поверхні нижнього шару покриття; $D_{T,lw}$ – коефіцієнт накопичення руйнувань від утоми при використанні як розрахункового критерію розтягувального напруження у крайовій зоні на верхній поверхні нижнього шару; N – кількість злітних операцій за рік; T – розрахунковий термін експлуатації жорсткого аеродромного покриття (20 років); $C_{B,up}$ – кількість допустимих проходів повітряного судна А380-800 до відмови покриття при використанні як розрахункового критерію розтягувального напруження у крайовій зоні на нижній поверхні верхнього шару двошарового покриття; $C_{T,up}$ – кількість допустимих проходів повітряного судна А380-800 до відмови покриття при використанні як розрахункового критерію розтягувального напруження у крайовій зоні на верхній поверхні верхнього шару; $C_{B,lw}$ – кількість допустимих проходів повітряного судна А380-800 до відмови покриття при використанні як розрахункового критерію розтягувального напруження у крайовій зоні на нижній поверхні нижнього шару двошарового монолітного цементобетонного покриття; $C_{T,lw}$ – кількість допустимих проходів повітряного судна А380-800 до відмови покриття при використанні як розрахункового критерію розтягувального напруження у крайовій зоні на верхній поверхні нижнього шару; $P(V_{WG})$ – коефіцієнт, що виражає відношення кількості зльотів повітряного судна А380-800 до кількості проходів

за смугою охоплення при використанні як розрахункового критерію розтягувального напруження у крайовій зоні на нижній поверхні верхнього шару, є аналогом коефіцієнта *PCR*, наведеного у чинних нормах ФАА з проектування аеродромних покриттів [6]; P_T – коефіцієнт, що виражає відношення кількості зльотів повітряного судна А380-800 до кількості проходів за смугою охоплення при використанні як розрахункового критерію розтягувального напруження у крайовій зоні на верхній поверхні верхнього шару, приймається таким, що дорівнює 4,15, як для двоколісного тандему умовної опори (*PCR* = 4,15 [6]).

Допустима кількість проходів за смугою охоплення (значення допустимого числа циклів прикладання навантаження) для покриття визначається за формулою [7]

$$C = 10^{12[1-f]};$$
$$f = \frac{\sigma_{max}}{\gamma_c \overline{R}_{28}}, \quad (8)$$

де f – рівень відносної напруженості розрахункового перерізу цементобетонного покриття при прикладенні навантаження від опори *i*-го повітряного судна; σ_{max} – максимальне розрахункове напруження, МПа; γ_c – коефіцієнт умов роботи, приймається відповідно до чинних норм [5]; $\overline{R}_{28}$ – середнє значення міцності бетону на розтяг при вигині у віці 28 діб, МПа, приймається відповідно до чинних норм [8].

Проведено порівняльний розрахунок у програмі FAARFIELD (Federal Aviation Administration Rigid and Flexible Iterative Elastic Layered Design), що відповідає новій редакції стандарту Федеральної Авіаційної Адміністрації (ФАА) США [6]. Вона враховує дію нових конфігурацій основних опор літаків та збільшення умов навантаження на покриття. Для проектування жорстких аеродромних покриттів використовується скінченно-елементна модель. До складу FAARFIELD входять дві підпрограми: LEAF та NIKE3D_FAA, перша використовується для розрахунку нежорстких аеродромних покриттів, друга – для розрахунку тривимірної скінченно-елементної моделі жорсткого аеродромного покриття. Передача навантаження від колеса на жорстке покриття розподіляється за площею прямокутника, що забезпечує прийнятну апроксимацію передачі навантаження за площею еліпса. Властивість цементобетонної плити описується міцністю бетону на розтяг при згинанні, коефіцієнтом Пуассона та товщиною, властивості шарів штучної основи – модулем пружності, коефіцієнтом Пуассона та товщиною, ґрунтової основи – модулем пружності [9,10].

У таблиці 1 наведено основні характеристики розробленої програми «Аеродром 380», програми FAARFIELD та чинної нормативної методики [5].

Таблиця 1

Порівняння методик проектування жорстких аеродромних покриттів

Методика	Розрахунковий критерій – розтягувальне напруження		Розрахункова концепція	
	на нижній поверхні плити	на верхній поверхні плити	розрахункове повітряне судно	руйнування від утоми
СНиП 2.05.08-85	Так	Ні	Так	Ні
FAARFIELD	Так	Ні	Ні	Так
Аеродром 380	Так	Так	Так	Так

Проведено порівняльний розрахунок чотирьох варіантів конструктивного рішення двошарового жорсткого аеродромного покриття.

Перший варіант: географічне положення 48° північної широти; аеродромне покриття рульової доріжки (РД) – монолітне цементобетонне двошарове; клас цементобетону верхнього шару за міцністю на розтяг при згинанні B_{tb}4,4; клас пісного бетону нижнього шару на розтяг при згині B_{tb}1,6 (М100), товщина – 0,30 м; штучна основа завтовшки 0,25 м із грунтоцементу (E_{sb} = 4810 МПа); грунт природної основи покриття – суглинок природного залягання з коефіцієнтом постелі 60 МН/м^3; розрахунковий тип літака А380-800 WV001 (вага 512 т) [4]; число операцій за рік 5000. Порівнювалися прогнозований термін служби та товщина верхнього шару покриття, отримані в програмах «Аеродром 380» (два розрахункових критерії – розтягувальне напруження на нижній та верхній поверхнях плити) та FAARFIELD (розрахунковий критерій – розтягувальне напруження на нижній поверхні плити).

Другий варіант: географічне положення 48° північної широти; аеродромне покриття перону – монолітне цементобетонне двошарове; клас цементобетону верхнього шару за міцністю на розтяг при згинанні B_{tb}4,0; клас пісного бетону нижнього шару на розтяг при згині B_{tb}1,6 (М100), товщина – 0,20 м; штучна основа завтовшки 0,15 м із грунтоцементу (E_{sb} = 1950 МПа); грунт природної основи покриття – суглинок природ-

ного залягання з коефіцієнтом постелі 60 МН/м^3; розрахунковий тип літака А380-800 WV001 (вага 512 т) [4]; число операцій за рік 10000. Порівнювалися прогнозований термін служби та товщина верхнього шару покриття, отримані в програмах «Аеродром 380» (два розрахункових критерії – розтягувальне напруження на нижній та верхній поверхні плити) та FAARFIELD (розрахунковий критерій – розтягувальне напруження на нижній поверхні плити).

Третій варіант: географічне положення 49° північної широти; аеродромне покриття перону – монолітне цементобетонне двошарове; клас цементобетону верхнього шару за міцністю на розтяг при згинанні B_{tb}4,0; клас пісного бетону нижнього шару на розтяг при згині B_{tb}1,6 (М100), товщина – 0,30 м; штучна основа завтовшки 0,20 м із грунтоцементу (E_{sb} = 4810 МПа); ґрунт природної основи покриття – супісок пилуватий з коефіцієнтом постелі 50 МН/м^3; розрахунковий тип літака А380-800 WV001 (вага 512 т) [4]; число операцій за рік 5000. Порівнювалися прогнозований термін служби та товщина верхнього шару покриття, отримані в програмах «Аеродром 380» (один розрахунковий критерій – розтягувальне напруження на нижній поверхні плити) та FAARFIELD (розрахунковий критерій – розтягувальне напруження на нижній поверхні плити).

Четвертий варіант: географічне положення 50° північної широти; аеродромне покриття перону – монолітне цементобетонне двошарове; клас цементобетону верхнього шару за міцністю на розтяг при згинанні B_{tb}4,0; клас пісного бетону нижнього шару на розтяг при згині B_{tb}1,6 (М100), товщина – 0,25 м; штучна основа завтовшки 0,20 м із грунтоцементу (E_{sb} = 1950 МПа); ґрунт природної основи – суглинок пилуватий природного залягання з коефіцієнтом постелі 40 МН/м^3; розрахунковий тип літака А380-800 WV007 (вага 492 т) [4]; число операцій за рік 2000. Порівнювалися прогнозований термін служби та товщина верхнього шару покриття, отримані в програмах «Аеродром 380» (один розрахунковий критерій – розтягувальне напруження на нижній поверхні плити) та FAARFIELD (розрахунковий критерій – розтягувальне напруження на нижній поверхні плити).

Результати розрахунку двошарового жорсткого аеродромного покриття наведено у таблиці 2.

У програмі «Аеродром 380» товщина верхнього шару аеродромного покриття визначається в межах 310–450 мм, влаштування плити завтовшки понад 450 мм є технологічно неможливим. Товщина плити, визначена в програмі «Аеродром 380», є кратною 10 мм, а програма FAARFIELD визначає товщину з точністю до 0,1 мм, і вже інженер повинен округлити її в більшу сторону, щоб товщина була кратною 10 мм.

Таблиця 2

Результати розрахунку, отримані за допомогою програм FAARFIELD та «Аеродром 380»

№ з/п	Прогнозований термін служби, рік		Визначення товщини цементобетонної плити, мм		
	Аеродром 380	FAARFIELD	Аеродром 380	FAARFIELD	
				розрахункова	проектна
1	22,9	22,7	430	408,4	410
2	24,7	26,7	440	424,6	430
3	26,1	29,2	390	390,9	400
4	23,0	24,7	390	385,1	390

Розбіжність між результатами визначення товщини цементобетонної плити верхнього шару двошарового жорсткого аеродромного покриття, отриманими за допомогою FAARFIELD та розробленої програми «Аеродром 380» при використанні як розрахункового критерію розтягувального напруження на нижній поверхні плити, знаходиться в межах 1,3 % (див. табл. 2), що свідчить про достовірність запропонованої методики. При використанні як розрахункового критерію розтягувального напруження на верхній поверхні плити термін служби покриття менше, ніж при використанні розтягувального напруження на нижній поверхні (див. табл. 2).

Висновки

1. Отримано емпіричні формули для визначення розтягувального напруження на верхній поверхні верхнього та нижнього шару монолітного двошарового жорсткого аеродромного покриття.

2. Програма «Аеродром 380» забезпечує розрахунок монолітного двошарового жорсткого аеродромного покриття на дію основних опор літака А380-800 та враховує два розрахункових критерії – розтягувальне напруження на нижній та верхній поверхні плити.

3. Порівняння результатів розрахунку у комп'ютерній програмі «Аеродром 380» та у програмі FAARFIELD показало розбіжність: при визначенні товщини монолітної цементобетонної плити верхнього шару – 0,2 % – 1,3 % (один розрахунковий критерій – розтягувальне напруження на нижній поверхні плити), при визначенні товщини монолітної цементобетонної плити верхнього

шару – 3 % – 5 % (два розрахункових критерії – розтягувальне напруження на нижній та верхній поверхнях плити).

4. Прогнозований термін служби двошарового жорсткого аеродромного покриття, визначений у програмі «Аеродром 380», на 7 % – 12 % менше ніж при розрахунку у FAARFIELD, що пояснюється урахуванням двох розрахункових критеріїв у розробленій комп'ютерній програмі «Аеродром 380».

[1] *Родченко О.В.* Вплив сучасних та перспективних літаків на двошарові та одношарові жорсткі покриття аеродромів / О.В. Родченко // Будівництво України. – 2007. – №9. – С. 36–40.

[2] *Родченко О.В.* Вдосконалення проектування жорстких аеродромних покриттів на дію навантажень від опор літаків типу А380 // Будівництво України. – 2010. – № 5. – С. 40–43.

[3] А.с. Україна. Комп'ютерна програма «Аеродром 380» / *Родченко О.В.* (Україна). – № 57948 ; дата реєстр. 30.12.14.

[4] A380. Airplane Characteristics For Airport Planning. – Airbus S.A.S., France, 2019. – 327 p.

[5] СНиП 2.05.08-85. Аэродромы. – М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1985. – 59 с.

[6] Advisory Circular 150/5320-6F. Airport Pavement Design and Evaluation,US Department of Transportation, Federal Aviation Administration, 2016. USA Standard.

[7] *Степушин А.П.* К обоснованию сроков службы жёстких аэродромных покрытий из цементобетона / А.П. Степушин // Проектирование, строительство и эксплуатация сооружений аэропортов: сб. науч. трудов МАДИ (ТУ). – М., 2001. – С. 12–28.

[8] Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия : ГОСТ 26633-91-2012. – М. : НИИЖБ Госстроя СССР, 1991. – 25 с.

[9] FAARFIELD – New FAA Airport Thickness Design Software [Електронний ресурс] / Izydor Kawa, David R. Brill, Gordon F. Hayhoe // 2007 FAA Worldwide Airport Technology Transfer Conference. Atlantic City, New Jersey, April, 2007. – Atlantic City, 2007. – 15 p. – Режим доступу: http://www.airporttech.tc.faa.gov/naptf/att07/2007/Papers/P07077%20Kawa%20et%20al.pdf

[10] Introducing FAARFIELD 1.41: Latest Updates to FAA Airport Pavement Design Procedures [Електронний ресурс] / David R. Brill // IX ALACPA Seminar on Airport Pavements, Quito, Ecuador, 30 May 2018. – Quito, 2018. – 50 p. – Режим доступу: https://alacpa.org/D-BRILL-FAARFIELD%201_4-AC%20150_5320-6F-ALACPA2018.pdf

Надійшла 14.04.2020 р.

Інформація

УКРАЇНСЬКИЙ ІНСТИТУТ СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ ІМЕНІ В.М. ШИМАНОВСЬКОГО — БАЗОВА ОРГАНІЗАЦІЯ МІНРЕГІОНУ УКРАЇНИ З НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ У БУДІВНИЦТВІ — ЗДІЙСНЮЄ РОБОТУ ЩОДО УДОСКОНАЛЕННЯ НОРМАТИВНОЇ БАЗИ У БУДІВНИЦТВІ

У СФЕРІ НОРМУВАННЯ

на замовлення Асоціації «Український центр сталевого будівництва» розпочата підготовка нових галузевих будівельних норм «Силоси сталеві із гофрованою стінкою для зерна. Норми проектування».

У СФЕРІ СТАНДАРТИЗАЦІЇ

на виконання дорожньої карти до Меморандуму між Мінрегіоном, BRDO, УЦСБ, КБУ та Громадською спілкою «Міждержавна Гільдія інженерів-консультантів» щодо впровадження інформаційного моделювання будівель (BIM) при створенні об'єктів архітектури введені у дію з 01.04.2020 р. наступні гармонізовані європейські і міжнародні стандарти:

- ДСТУ EN ISO 12006-2:2020 (EN ISO 12006-2:2020, IDT; ISO 12006-2:2015, IDT) Зведення будівель. Структура інформації про об'єкти будівництва. Частина 2. Основні принципи класифікації - Вперше;
- ДСТУ EN ISO 12006-3:2020 (EN ISO 12006-3:2020, IDT; ISO 12006-3:2015, IDT) Зведення будівель. Структура інформації про об'єкти будівництва. Частина 3. Структура об'єктно-орієнтованої інформації – Вперше;
- ДСТУ EN ISO 16757-1:2020 (EN ISO 16757-1:2019, IDT; ISO 16757-1:2015, IDT) Структури даних електронних каталогів товарів для будівельних послуг. Частина 1. Поняття, архітектура та модель – Вперше
- ДСТУ EN ISO 16757-2:2020 (EN ISO 16757-2:2019, IDT; ISO 16757-2:2016, IDT) Структури даних електронних каталогів товарів для будівельних послуг. Частина 2. Геометричні параметри – Вперше
- ДСТУ ISO/TS 12911:2020 (ISO/TS 12911:2012, IDT) Загальні принципи розроблення стандартів будівельного інформаційного моделювання (BIM) – Вперше
- ДСТУ ISO 15686-1:2020 (ISO 15686-1:2011, IDT) Будівлі та об'єкти нерухомого майна. Планування терміну служби. Частина 1. Основні принципи та методологія – Вперше
- ДСТУ ISO 15686-2:2020 (ISO 15686-2:2012, IDT) Будівлі та об'єкти нерухомого майна. Планування терміну служби. Частина 2. Методи прогнозування терміну служби – Вперше
- ДСТУ ISO 15686-3:2020 (ISO 15686-3:2002, IDT) Будівлі та об'єкти нерухомого майна. Планування терміну служби. Частина 3. Аудит і перевіряння експлуатаційних показників – Вперше
- ДСТУ ISO 15686-4:2020 (ISO 15686-4:2014, IDT) Будівлі та об'єкти нерухомого майна. Планування терміну служби. Частина 4. Планування терміну служби з використанням будівельного інформаційного моделювання – Вперше
- ДСТУ ISO 15686-5:2020 (ISO 15686-5:2017, IDT) Будівлі та об'єкти нерухомого майна. Планування терміну служби. Частина 5. Оцінювання вартості життєвого циклу – Вперше
- ДСТУ ISO 15686-7:2020 (ISO 15686-7:2017, IDT) Будівлі та об'єкти нерухомого майна. Планування терміну служби. Частина 7. Оцінювання характеристик для зворотного зв'язку стосовно даних про термін служби, отриманих на практиці – Вперше
- ДСТУ ISO 15686-8:2020 (ISO 15686-8:2008, IDT) Будівлі та об'єкти нерухомого майна. Планування терміну служби. Частина 8. Нормативний термін служби та обчислення терміну служби – Вперше
- ДСТУ ISO 15686-9:2020 (ISO 15686-7:2008, IDT) Будівлі та об'єкти нерухомого майна. Планування терміну служби. Частина 9. Настанова з оцінювання даних про термін служби – Вперше
- ДСТУ ISO 15686-10:2020 (ISO 15686-10:2010, IDT) Будівлі та об'єкти нерухомого майна. Планування терміну служби. Частина 10. Періодичність оцінювання функціональних характеристик – Вперше
- ДСТУ ISO 16354:2020 (ISO 16354:2013, IDT) Рекомендації щодо створення бібліотек даних та об'єктних модулів – Вперше
- ДСТУ ISO 22263:2020 (ISO 22263:2008, IDT) Структура інформації про будівельні споруди. Основи управління інформацією про будівельний об'єкт – Вперше

УДК 621.791.01.669

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ РЕЗЕРВУАРНОЙ НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЙРОСЕТЕВОГО АНАЛИЗА

В статье представлены наиболее значимые причины отказа стальных резервуаров. Выделен фактор коррозионного износа, как один из самых важных в процессах деградации резервуарной стали. Показана возможность применения нейросетевого анализа для прогнозирования характера трещиностойкости низкоуглеродистой стали, предназначенной для изготовления нефтяных резервуаров. С использованием метода нейросетевого анализа определены области коррозионно-механической трещиностойкости резервуарной стали.

This article presents the most significant reasons for the failure of steel tanks. Identified the factor of corrosion wear as one of the most important factors in the tank steel degradation. The paper shows the possibility of using neural network analysis to predict the nature of crack resistance of low-carbon steel intended for the manufacture of oil reservoirs. Using the neural network analysis method, the areas of corrosion and mechanical crack resistance of reservoir steel were determined.

Ключевые слова: трещиностойкость, резервуарная сталь, нейросетевой анализ, коррозия.



С.Ю. Максимов
старший научный сотрудник, зав. отделом «Физико-механические исследования свариваемости конструкционных сталей» Института электросварки имени Е.О. Патона Национальной академии наук Украины, д.т.н.



В.Д. Макаренко
профессор кафедры нефтегазовой инженерии и технологий Национального университета «Полтавская политехника имени Юрия Кондратюка», д.т.н., профессор



Ю.Л. Винников
профессор кафедры нефтегазовой инженерии и технологий Национального университета «Полтавская политехника имени Юрия Кондратюка», д.т.н., профессор



К.В. Чичулина
доцент кафедры экономики, предпринимательства и маркетинга, глава Рады молодых ученых Национального университета «Полтавская политехника имени Юрия Кондратюка», лауреат государственной премии Президента Украины для молодых ученых, к.т.н.

Известно, что организация качественного и бесперебойного технологического процесса переработки большого количества нефти предполагает наличие значительных объемов резервуарных емкостей [1, 5–8]. Несмотря на снижение объемов перекачки, вызванное сокращением добычи нефти, основная часть резервуарного парка продолжает активно эксплуатироваться. Наличие в достаточных объемах запаса резервуарных емкостей позволяет в новых экономических условиях получать дополнительную прибыль от товаротранспортных операций и дает преимущества в сферах управления и принятия решений руководством нефтедобывающих, транспортирующих и перерабатывающих компаний и фирм. Поэтому вопросам обеспечения эксплуатационной надежности резервуарных парков придается важное значение.

В настоящее время нормативный срок эксплуатируемых резервуаров уже превышен или близок к предельному. Например, распределение резервуаров, эксплуатируемых НАК «Укрнафтогаз», по продолжительности эксплуатации имеет следующий вид: на 01.01.2010 г.: со сроком эксплуатации менее 10 лет – 40 %; 10–20 лет – 28 %; 20–30 лет – 24 %; более 30 лет – 8 %; на 01.01.2017 г.: менее 10 лет – 6 %; 10 – 20 лет – 43 %; 20–30 лет – 41 %; более 30 лет – 10 %.

Нормативный срок эксплуатации 20–30 лет для резервуаров в отечественных нормативах был установлен исключительно из экономических соображений [2–3]. Однако, известны случаи многолетней безаварийной работы резервуаров, построенных еще по проектам В.Г. Шухова в 1978 г. и в более позднее время. Металлографические исследования резервуарных сталей после длительной эксплуатации показали незначительные изменения в их свойствах [4]. Анализ стандартов Американского нефтяного института [5, 6] также показал, что такое понятие, как нормативный срок эксплуатации резервуаров в них отсутствует. С 1996 г. Гостехнадзор Украины ввел новый порядок аттестации резервуаров, исчерпывающих свой нормативный срок эксплуатации. Таким образом, теоретически срок эксплуатации резервуаров теперь не ограничивается. С увеличением срока службы сокращаются промежутки его освиде-

тельствования и ужесточаются требования к оценке индивидуального остаточного ресурса.

Проанализировав динамику старения резервуарного парка, можно сделать вывод, что к 2030 г. срок эксплуатации примерно 90 % резервуаров превысит нормативный, поэтому уже сейчас необходимо принимать экстренные меры по восстановлению эксплуатационной пригодности большей части существующего резервуарного парка [5–7].

Согласно литературным данным [5–8] и результатам многолетних наблюдений авторов данного исследования к основным причинам разрушения резервуаров можно отнести: коррозионный износ днища, низкую коррозионно-механическую трещиностойкость нижних поясов вертикальной стенки резервуаров, заводские и монтажно-сварочные дефекты.

К коррозионным повреждениям относится коррозия сварных соединений и основного металла, сильно проявляющаяся под действием циклических и вибрационных нагрузок. Поэтому становится очевидной необходимость изучения коррозионно-механической трещиностойкости резервуарных сталей при изменении напряженно-деформированного состояния РВС в условиях воздействия коррозионно-активных сред и минусовых температур.

Существующие научно-технические и конструкторско-технологические разработки в области повышения безопасного эксплуатационного ресурса промышленных резервуаров и трубопроводов обнаруживают противоречия и неопределенность, отсутствие количественных научно обоснованных практических рекомендаций по оптимальному выбору резервуарных сталей и способов их защиты от коррозионных повреждений применительно к изменившимся условиям эксплуатации металлоконструкций, необходимость комплексного и системного изучения природы и механизмов коррозионных процессов и определения оптимальных антикоррозионных и инженерно-технических мер при сооружении и эксплуатации стальных резервуаров и трубопроводов.

Известно [15–17], что в процессе длительной эксплуатации существенно изменяются механические характеристики эксплуатируемых конструкций в связи с усталостью металла, вызванной его сероводородной деградацией.

Не решенной проблемой остается необходимость разработки расчетно-экспериментальных методов оценки остаточного рабочего ресурса нефтяного оборудования с учетом деградации резервуарной стали в процессе длительной эксплуатации. Однако, следует отметить, что большой объем экспериментального материала и, зачастую, противоречивость информации по коррозионному разрушению, полученной с помощью традиционных методик, приводит к необходимости поиска новых, альтернативных методов ее эффективного анализа. Задачи оценки и прогнозирования коррозионного поведения сталей являются ключевыми в общей проблеме управления эксплуатационной надежностью нефтяных резервуаров. Возможности их решения заключаются в применении новых информационных технологий, составной частью которых являются интеллектуальные средства обработки информации, такие как искусственные нейронные сети (ИНС), которые позволяют создать качественно новые аппаратные и программные средства, существенно расширяющие классы решаемых задач и повышающие эффективность анализа и прогнозирования.

Задачи исследования. В работе исследуется трещиностойкость резервуарной стали с переменным содержанием модифицирующей микродобавки церия с применением нейросетевого анализа.

Объектом исследования служила резервуарная низкоуглеродистая сталь марки ВСт3сп (ГОСТ 380-88), в процессе выплавки которой добавляли церий. Интерес к использованию этого редкоземельного элемента вызван тем, что он обладает рядом свойств, реализация которых на практике позволила бы, на наш взгляд, существенно улучшить механические свойства стали и в целом трещиностойкость резервуарных конструкций.

Модифицирующие добавки находились в порошкообразном металлическом виде; химический и гранулометрический состав их соответствовал ГОСТам и ТУ, приведенным в работе [8]. Стальные слитки выплавляли в индукционной высокочастотной печи (базовая сталь – ВСт3сп). В процессе выплавки в расплавленную ванну добавляли церий, но в каждом случае требуемый химический состав (степень раскисления) опытных сталей корректировали дополнительным введением ферросплавов – ферромарганца и ферросилиция. Из полученных слитков изготовляли образцы для испытаний. Переменное содержание серы (от 0,011 % до 0,050 %) регулировали за счет добавки в ванну окалины, ржавчины, ферросплавов и введения марганца металлического.

Изготовленные образцы подвергали механическим испытаниям, в частности, определяли следующие параметры трещиностойкости: критическую интенсивность напряжений K_{1C}, характеризующую сопротивляемость металла хрупкому разрушению [9]. Кроме этого определяли ударную вязкость на образцах с надрезом по Шарпи (*KCV*) [10].

Для определения характеристик K_{1C} и *KCV* готовили образцы требуемых размеров [9, 10]. Усталостные трещины в образцах создавали с помощью гидропульсатора CDM-10 (Германия) при частоте нагружения 10…15 Гц и коэффициенте асимметрии цикла r = 0,1…0,2. Испытания с целью определения параметров вязкости разрушения проводили на установке модели «Инстрон» (Великобритания) по стандартным методикам [10].

Для изучения процесса разрушения использовали призматические образцы размером 120×20×12 мм, у которых посередине длины механическим способом наносили один краевой полукруглый надрез типа Менаже глубиной 1 мм в плоскости, перпендикулярной к действию главного напряжения при изгибе образца. Образцы испытывали при 20 °С в жестком режиме нагружения изгибом до заданных начальных амплитуд деформаций E_a = 0,4 % и 0,7 % с трапецеидальной формой цикла. Длительность полуцикла растяжения составляла 24 ч, продолжительность цикла сжатия – t = 20 мин.

Учитывая, что сера вызывает сульфидное растрескивание металла, эксплуатируемого в агрессивных средах, нами проводились испытания образцов на сульфидное растрескивание (показатель A_p) по методике, соответствующей стандарту NACE TM-01-77 [12]. В качестве среды служил насыщенный сероводородом раствор, содержащий 5 % NaCl и 0,5 % уксусной кислоты. При этом содержание H_2S составляло 50 г/л. Начальное значение pH = 3,8, конечное – 4,1. Температура среды +22 °С, базовое время испытаний – 680 ч. Все образцы испытывали при напряжении, равном 0,8 предела текучести металла (сталь ВСт3сп), который определяли при разрыве трех образцов на воздухе. На образцах посередине вырезали кольцевую проточку.

Испытания проводили методом непрерывной деформации до разрушения (с малой скоростью $\varepsilon = 2 \cdot 10^{-6}$ с$^{-1}$) в коррозионной среде [11].

Очевидно, что назрела острая необходимость в поиске новых методов эффективного анализа трещиностойкости. Решение этой задачи связано с новыми информационными технологиями, важное место среди которых занимают искусственные нейронные сети (ИНС) [13].

Из работ [13–15] известно, что метод нейросетевого моделирования применим к изучению коррозионно-механических процессов, которые в большинстве своем представляют как многофакторные системы, характеризующиеся совокупностью коррозионно-механических параметров (критерии трещиностойкости, работа зарождения и распространения трещины, прочностные и вязкопластические показатели), нелинейно изменяющихся с изменением характеристик среды и материалов (концентрация, температура, pH, химический состав стали и др.).

Авторами впервые предпринята попытка создания и обучения ИНС на основе ограниченного набора экспериментальных данных с целью получения недостающих сведений для корректного прогнозирования коррозионно-механического поведения резервуарной стали ВСт3сп, как наиболее распространенной в строительстве РВС. Нейронные системы должны предсказывать характеристические критерии трещиностойкости стали, контактирующей с активными средами и находящейся под действием циклических нагрузок.

В данной работе использовали ИНС с тремя выходами, т.е. ее структура включает (рис.1): 1 – слой нейронов – рецепторов (входной слой), осуществляющий прием информации извне; 2 – слой ассоциативных нейронов (скрытый); 3 – слой выходных нейронов, формирующих реакцию сети на внешний стимул. Согласно [14, 15], как правило, одного скрытого слоя достаточно для решения подобных задач.

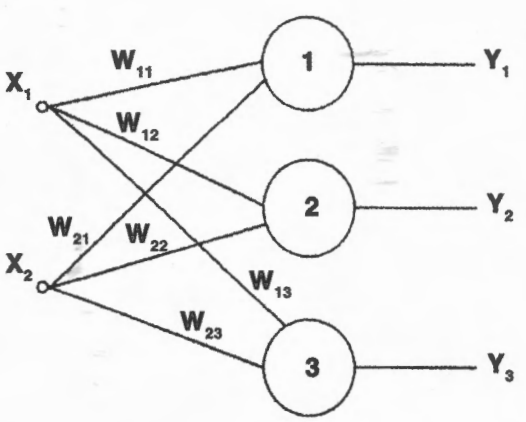


Рис. 1. Структурная схема нейросети:
X_1 и X_2 – входные сигналы (значения концентраций церия и серы в металле); Y_1, Y_2, Y_3 – выходные сигналы (показатели трещиностойкости K_{1C}, *KCV*, A_p)

Для выбора оптимального числа нейронов в скрытом слое ИНС использовали, в соответствии с рекомендациями [15], нейрогенетический алгоритм, который обеспечивает быстрый поиск оптимальной структуры [14]. Для исследуемого критерия трещиностойкости анализировали 25 вариантов сети.

На предварительном этапе при обучении выбранной ИНС выбор экспериментальных данных случайным образом разделялся на подмножество – обучающее (70 % данных используется непосредственно для обучения) и тестов (30 % данных используется для контроля способности ИНС к обобщению информации).

Обучение ИНС состояло из нескольких циклов, на каждом из которых определялась ошибка наборов экспериментальных данных в обучающем и тестовом подмножестве по отношению к результатам, полученным с использованием ИНС. При этом оценивали не только абсолютную величину ошибки, но и тенденцию к ее изменению в процессе обучения сети. Обучение прекращали в случае достижения минимума ошибки на тестовом подмножестве. Выбор алгоритма обучения определяли, в основном, быстротой достижения и качеством оптимальных параметров обучения ИНС.

Созданные ИНС были реализованы с помощью пакета Statistica Neural Network. С использованием обученных ИНС были построены обобщенные зависимости критериев трещиностойкости стали ВСт3сп от количества растворенных в ней церия и серы и на их основе выполнен инженерный прогноз деформационного поведения резервуарных сталей.

С помощью Visual Basic обученные ИНС интегрировали в Excel в виде программных модулей, что позволило быстро анализировать большие массивы данных и визуализировать результаты работы ИНС стандартными средствами без разработки интерфейса пользователя и системы «ввода–вывода» данных. Результаты экспериментальных исследований параметров трещиностойкости (K_{1C}, KCV, A_p) опытной резервуарной стали ВСт3сп, содержащей переменную концентрацию микродобавки церия, приведены на рис. 2. Влияние переменного содержания серы на те же параметры трещиностойкости представлены на рис. 3.

Прежде всего следует отметить, что данные, приведенные на рис. 2 и рис. 3, получены в ограниченном диапазоне условий, материалов и сроков испытаний, что не позволяет провести масштабный анализ зависимостей критериев трещиностойкости от концентрации растворенных в металле ингредиентов – церия и серы. Очевидным является лишь наличие определенно симбатных (нелинейных) связей между переменными.

В то же время анализ данных на рис. 2 однозначно свидетельствует о следующем. С увеличением содержания в опытных сталях модифицирующей микродобавки церия улучшаются параметры вязкости сталей, в частности, повышаются значения критического коэффициента интенсивности напряжений K_{1C} и ударной вязкости KCV, причем во всем интервале исследуемых температур (от +20 °С до –30 °С).

Эта же тенденция наблюдается и при исследовании на коррозионное сульфидное растрескивание в коррозионной среде (рис. 2, в).

Данные на рис. 2 указывают на резкое снижение параметров трещиностойкости (K_{1C}, KCV) с увеличением содержания в опытных сталях концентрации растворенной серы, в связи с чем требуется ограничение ее в пределах 0,020 % … 0,025 %. Такая же тенденция характерна и для разрушения в зависимости от концентрации серы: низкое содержание серы (менее 0,025 %) благоприятно влияет на стойкость против сульфидного растрескивания.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о сложной зависимости параметров трещиностойкости от содержания в исследуемых сталях модифицирующей микродобавки церия (рис. 2) и вредной примеси – серы (рис. 3). Поэтому, в таком случае воспользуемся для анализа экспериментальных данных нейросетевым моделированием.

Известно [14], что структура и методы обучения ИНС зависят от качественного массива экспериментальных данных, подаваемых на вход ИНС, и сложности изучаемых коррозионно-механических процессов. Результаты компьютерных экспериментов по выбору структуры ИНС и ее последующему обучению позволили выбрать оптимальное число нейронов в скрытом слое, причем ошибка обучения и тестирования выбранной структуры ИНС, несмотря на различный алгоритм обучения, несущественно отличается при анализе критериев трещиностойкости (в качестве примера в табл. 1 приведены результаты обучения и тестирования ИНС по критерию трещиностойкости K_{1C}).

Среднеквадратичные ошибки обучения и тестирования составляют соответственно 0,6 % – 2,7 % и 2,5 % – 5,2 % и свидетельствуют о хорошей обученности ИНС и их способности с дос-

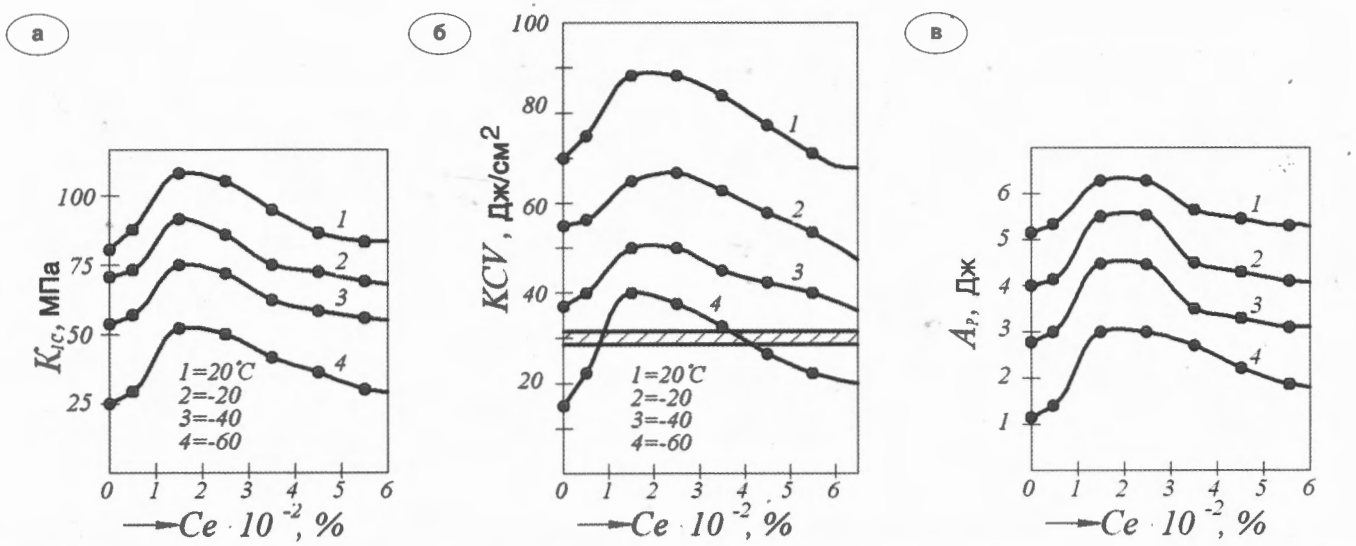


Рис. 2. Влияние модифицирующей микродобавки церия на параметры трещиностойкости опытных резервуарных сталей при испытании в широком интервале температур:

а – $K_{1C} = f(Ce)$; **б** – $KCV = f(Ce)$; **в** – $A_p = f(Ce)$.
Цифровое обозначение: **1** – (+)20 °С; **2** – (–)10 °С; **3** – (–) 20 °С; **4** – (–)30 °С

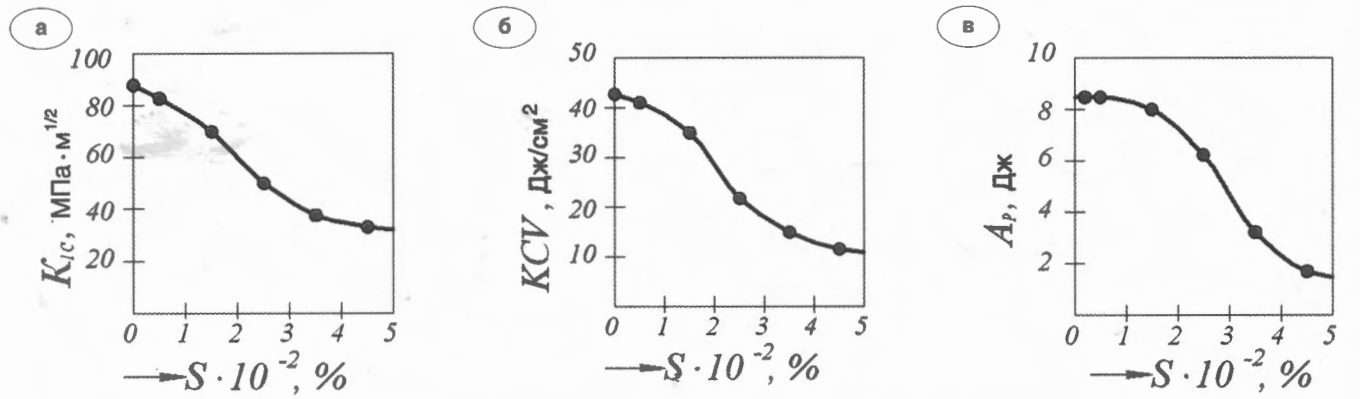


Рис. 3. Влияние концентрации растворенной в металле серы на параметры трещиностойкости опытных резервуарных сталей:

а – $K_{1C} = f(S)$; **б** – $KCV = f(S)$; **в** – $A_p = f(S)$. Температура испытания: –30 °С

Таблица 1

Оптимальные параметры ИНС для прогнозирования критерия трещиностойкости K_{1C} и ошибка ИНС при обучении и тестировании

Критерий трещиностойкости на выходе сети	Количество нейтронов в скрытом слое сети	Ошибка обучения сети	Ошибка тестирования сети	Алгоритм обучения	Число циклов обучения
K_{1C}	6	0,0079	0,0456	ЛМ	340
	8	0,0057	0,0382	ССГ	295

Примечание. ЛМ – Левенберга-Марквардта; ССГ – спуск по сопряженным градиентам.

таточно малой ошибкой предсказывать значения показателя трещиностойкости.

При оценке влияния каждого из входных параметров (концентрация модифицирующей добавки церия и примеси серы) на качество критерием значимости фактора служила степень ухудшения работы ИНС в случае его отсутствия [14]. Чувствительность каждой переменной в отдельности обучающего и тестового подмножества оценивали по трем параметрам – «Ранг», «Ошибка» и «Отношение». Значения этих параметров и их роль при проведении обучающих и тестовых операций подробно описаны в работах [14, 15].

Из данных таблицы 2 видно, что сильнее всего на показатель K_{1C} влияет концентрация серы в металле и значительно слабее концентрация церия.

Таким образом, наиболее значимым входным параметром для рассматриваемого показателя оказывается концентрация в металле серы.

Таблица 2

Влияние концентрации церия и серы на показатель трещиностойкости K_{1C} резервуарной стали опытного производства

Параметр	Входные переменные			
	Обучение		Тестирование	
	концентрация		концентрация	
	Ce	*S*	*Ce*	*S*
Ранг	2	1	2	1
Ошибка	0,084	0,189	0,067	0,128
Отклонение	10,315	21,733	2,391	4,837

Обученные ИНС использовали для прогнозирования показателей коррозионно-механической трещиностойкости как внутри области экспериментально апробированных параметров, так и за ее пределами. Как видно из рис. 4, показатели трещиностойкости (K_{1C}, KCV, A_p) сложным образом зависят от концентрации церия и серы в испытываемых (экспериментальных) сталях резервуарного назначения, но тем не менее можно проследить некоторые общие закономерности.

Так, при совместном увеличении церия (0,025 %) и серы (0,020 % … 0,025 %) резко снижается коррозионно-механическая трещиностойкость резервуарной стали. Такая же тенденция наблюдается и в случае совместного одновременного увеличения в металле серы (свыше 0,025 %) и уменьшения церия (менее 0,015 % … 0,020 %). Наиболее высокие и стабильные значения параметров трещиностойкости достигаются при содержании церия в пределах 0,020 % … 0,025 % и серы не более 0,020 %. Эти данные хорошо согласуются с известными результатами исследований [8–10].

Обученные ИНС позволили проанализировать как соотносятся между собой концентрации церия и серы с позиции комплексного влияния на коррозионно-механическую трещиностойкость, в т.ч. лежащих вне пределов области экспериментов.

Анализ полученных результатов с помощью нейросетей позволил получить обобщенную диаграмму (рис. 5) предсказанных областей трещиностойкости резервуарных низкоуглеродистых сталей, экономно модифицированных микродобавкой церия и контактирующих с коррозионно-активными средами при минусовых температурах воздуха (до –30 °С).

Таким образом, ИНС позволили однозначно определить области коррозионно-механической трещиностойкости стали и показать, в каких случаях она склонна к образованию микротрещин при контакте с агрессивной средой и как на этот процесс совместно влияют церий и сера. Полученные данные позволяют сделать важный практический вывод: при эксплуатации низкоуглеродистой конструкционной стали в нейтральных средах при минусовых температурах ее склонность к трещинообразованию будет значительной при повышенном содержании серы в металле и отсутствии модифицирующих добавок. Добиться высокой трещиностойкости можно путем микролегирования стали модифицирующей добавкой церия, даже несмотря на относительно высокое содержание вредной примеси серы (0,03 % – 0,045 %). На основе зависимостей, аналогичных изображенным на рис. 5, можно, не проводя дополнительных исследований, качественно предсказывать коррозионно-механическую трещиностойкость резервуарной стали в конкретных условиях эксплуатации.

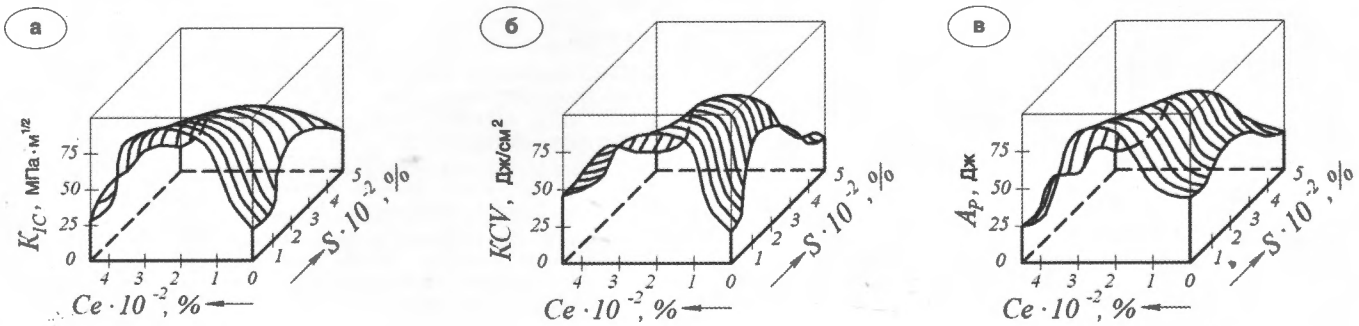


Рис. 4. Нейросетевой анализ параметров трещиностойкости опытных низкоуглеродистых резервуарных сталей с переменным содержанием модифицирующей микродобавки церия в зависимости от содержания серы в металле:
а – $K_{1C} = f(Ce; S)$; **б** – $KCV = f(Ce;S)$; **в** – $A_p = f(Ce;S)$. Температура испытания образцов –30 °С

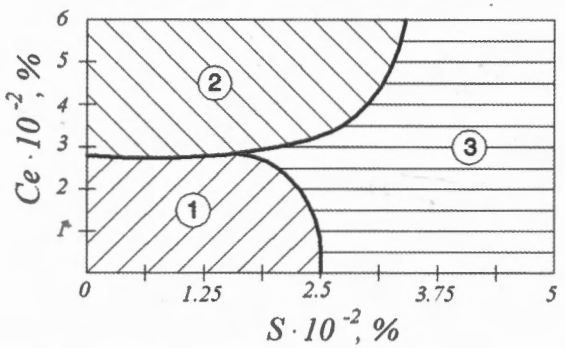


Рис. 5. Прогнозируемая нейросетью трещиностойкость резервуарных сталей, экономно модифицированных церием, с переменным содержанием серы:
1 – область высокой трещиностойкости; **2** – область средней трещиностойкости; **3** – область низкой трещиностойкости

Следует отметить, что данные на рис. 5 находятся в согласии с многочисленными известными случаями повреждений и разрушений резервуарных конструкций из низкоуглеродистых сталей, эксплуатируемых в экстремальных условиях нефтяных месторождений, а также в умеренных условиях нефтеперерабатывающих заводов Украины. Обученная ИНС позволяет расширить диапазон прогнозируемых значений факторов за пределы экспериментальных данных, в частности, предсказать значения показателей трещиностойкости сталей, содержащих такие элементы, как серу и церий в количествах, находящихся за пределами рассмотренных в данном исследовании. Естественно, ошибка прогноза, выдаваемого ИНС, будет увеличиваться по мере удаления от границ, определяющих экспериментальные данные.

Выводы.

1. Стальной резервуар в период эксплуатации подвержен деградации, т.е. происходит его физический износ, изменяются прочностные характеристики, накапливаются разнообразные дефекты и повреждения, причем все эти процессы носят ярко выраженный случайный характер. Среди причин отказа решающую роль играют: коррозионный износ, неравномерные осадки основания, дефекты геометрии цилиндрической стенки и трещиновидные дефекты. При этом наиболее значимым фактором в процессах деградации является коррозионный износ.

2. Применение нейросетевого анализа для прогнозирования характера трещиностойкости низкоуглеродистой стали, предназначенной для изготовления нефтяных резервуаров, позволяет адекватно прогнозировать характер сопротивления зарождению и росту коррозионно-механических трещин в зависимости от содержания в резервуарных низкоуглеродистых сталях легирующих элементов и вредных примесей.

3. С использованием метода нейросетевого анализа определены области коррозионно-механической трещиностойкости резервуарной стали и показано, что высокая трещиностойкость низкоуглеродистой стали достигается введением в ее состав 0,020 % – 0,025 % церия при одновременном ограничении концентрации серы до 0,020 %.

[1] *Кесельман Г.С.* Экономическая эффективность предотвращения коррозии в нефтяной промышленности. – М.: Недра, 1988. – 215 с.

[2] *Буренин В.А.* Прогнозирование индивидуального остаточного ресурса стальных вертикальных резервуаров: Дисс. докт. техн. наук. – Уфа , 1994. – 270 с.

[3] *Исима Т.* Исследование причин аварий при хранении нефти в резервуарах на предприятих фирмы «Мицубиси Сэкию»// Перевод с японского языка из журнала «Добоку Сэко». – 2005. – т.16 , №9. – С. 93–94.

[4] *Розенштейн И.М.* Аварии и надежность стальных резервуаров. – М.: Недра. – 1985. – 253 с.

[5] *Вайсман Л.Г., Головнева А.П.* Проблемы коррозии и защита резервуаров на промыслах Главтюменнефтегаза // Коррозия и защита в нефтегазовой промышленности. – 1982. – № 8. – С. 22–23.

[6] *Веревкин С.Н., Ржавский Е.Л.* Повышение надежности резервуаров, газгольдеров и их оборудования. – М.: Недра, 1980. – 248 с.

[7] *Егоров Е.А., Семенец С.С.* Основные этапы деградации нефтяных резервуаров в процессе эксплуатации // Вісник Придніпровської державної академії будівництва і архітектури. – Дніпропетровськ: ПДАБтаА. – 2000. – № 8. – С. 30–33.

[8] *Овчинников И.Г., Кудайбергенов Н.Б., Шеин А.А.* Эксплуатационная надежность и оценка состояния резервуарных конструкций. – Саратов: СГТУ, 1999. – 316 с.

[9] *Махутов Н.А.* Деформационные критерии разрушения. – М: Машиностроение. – 1981. – 272 с.

[10] РД-50-345-82. Определение характеристик трещиностойкости при циклическом нагружении. – М.: Изд. Стандартов. – 1983. – 96 с.

[11] МСКР-01-85. Методика испытания на стойкость против сероводородного коррозионного растрескивания. – М.: Изд-во ГКНТ СССР, 1985. – 4 с.

[12] NACE Standard TM01-77(90). Standard Test Method. Laboratory Testing of Metals Resistance to Sulfide Stress Cracking in H2S Environments // NACE. – Houston. P.O. BOX 218340. 1990. – 22 p.

[13] *Уоссерман Ф.* Нейрокомпьютерная техника: теория и практика. – М.: Мир. – 1992. – 183 с.

[14] *Горбань А.Н.* Обучение нейронных сетей. – М.: СП «ПараГраф». – 1991. – 156 с.

[15] Нейронные сети в Statistica Neural Network / Пер.с англ. – М.: Горячая линия. – Телеком. – 2000. – 182 с.

[16] *Makarenko V.D.* (2001) Effect of modifying additions on the ductility and plastic properties and the brittle strength of coldresistant, low-alloy steel / V.D. Makarenko, V.A. Beljaev, E.N. Galichenko, N.N. Prohorov // Welding International. – 2001. No. 15(1). P. 62–70.

[17] *Makarenko V.D.* Effect of modifying microadditions on the corrosion resistance of welded joints in low-alloy steel / V.D. Makarenko, V.A. Beljaev, E.N. Galichenko, N.N. Prohorov // Welding International. – 2001. No. 15(2). P. 78–85.

Надійшла 27.02.2020 р.

УДК 721.013

МОДИФІКАЦІЯ РОЗМІРІВ У КООРДИНАЦІЙНО-МОДУЛЬНІЙ СИСТЕМІ

Технологічні системи – це сукупність планових, організаційних, управлінських, науково-дослідних, дослідно-конструкторських і інжинірингових процесів, які є основою діяльності національного господарства. Основою розвитку системи є домінанта системності, що реалізується через уніфікацію – приведення до однаковості розмірів частин будівель і розмірів і форми їх конструктивних елементів, що оптимізує кількість типів і розмірів (типорозмірів) конструктивних елементів, що особливо важливо при їх заводському виготовленні. Основою уніфікації є єдина модульна система – система взаємного узгодження розмірів будівель і споруд та їх елементів і конструкцій, а також їх обладнання на основі кратності модуля. Для підвищення ефективності уніфікації встановлені укрупнені і дробові модулі. У типовій різноманітності архітектурно-будівельного проектування використовується досить незначний спектр модулів і типових елементів. Це позбавляє як архітектора, так і будівельника можливості оптимального вибору, за необхідності, взаємозаміни елементів і утрудняє можливість отримання необхідних підходів з архітектурно-будівельних і дизайнерських вирішень.

З огляду на вищевикладене, метою статті є оптимізація позначення укрупнених і дробових модулів координації розмірів, застосуванням десяткових кратних і частинних одиниць, що їх утворено за допомогою спеціально рекомендованих множників міжнародною системою одиниць, а їхні назви і позначення за допомогою відповідних префіксів. Розроблена методика дає можливість науково-прикладного використання модифікації розмірів модулів у координаційній системі в архітектурі, будівництві і у інших сферах економічної діяльності національного господарства України. Шляхи вирішення даного питання можуть мати як інші підходи, так і інші розв'язки.

Technological systems is a set of planning, organizational, management, research, development and engineering processes that are the basis of the national economy. The basis for the development of the system is the dominance of systematicity, which is realized through unification – bringing to a uniformity of sizes of parts of buildings and sizes and the shape of their structural elements, which optimizes the number of types and sizes (standard sizes) of structural elements, which is especially important in their factory manufacture. The basis of unification is a single modular system – a system of mutual harmonization of the size of buildings and structures and their elements and structures, as well as their equipment based on the multiplicity of the module. Enhanced and fractional modules are installed to improve the unification efficiency. In a typical variety of architectural and construction design, a rather small range of modules and typical elements is used. This deprives both the architect and the builder of the possibility of optimal choice, if necessary, the interchange of elements and makes it difficult to obtain the necessary approaches to architectural, construction and design solutions.

In view of the foregoing, the purpose of the article is to optimize the notation of enlarged and fractional size coordination modules, by applying decimal multiples and partial units formed by specially recommended multipliers to the international system of units, and their names and designations by appropriate prefixes. The developed technique gives the possibility of scientifically applied use of modification of the sizes of modules in the coordination system in architecture, construction and in other spheres of economic activity of the national economy of Ukraine. Ways of solving this issue may have other approaches as well as other solutions.

Ключові слова: модуль, укрупнені модулі, дробові модулі. множники, префікси.

Постановка проблеми. У типовому архітектурно-будівельному проектуванні поняття модульного принципу та модульної системи набувають більшого обсягу і змісту, що відповідають поняттю узагальненого модуля. З'являється резерв розвитку цих понять щодо вдосконалення власне принципу і системи, а також методів і властивостей, які будуть адекватними сучасній і перспективній практиці (спільно з принципом, методами і властивістю узагальненої змінюваності). Збільшення обсягу і розширення змісту поняття модуля і похідних від нього понять створює передумови для реалізації потенційних можливостей уніфікації та типізації як методів стандартизації в будівництві. Зокрема, можливе зниження багатономенклатурного виробництва збірних виробів за рахунок збільшення їх багатофункціонального застосування, отримання більш різноманітних архітектурно-конструктивних, архітектурно-функціональних та архітектурно-художніх форм будівель і споруд шляхом розширення областей використання стандартних виробів, а також різноманітності останніх. Можливе



О.А. Бужин
доцент кафедри безпеки об'єктів будівництва та охорони праці Черкаського інституту пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України, д.е.н., професор



А.І. Березовський
доцент, начальник кафедри безпеки об'єктів будівництва та охорони праці Черкаського інституту пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України, к.т.н.



Ю.В. Березовська
старший викладач-методист Черкаського інституту пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України

© Бужин О.А., Березовський А.І., Березовська Ю.В.

доповнення або зміна традиційної методики проектування, розрахунку та конструювання збірних виробів будівель і споруд, тому що в порівнянні з узагальненими поняттями стандартна модульна координація розмірів у будівництві представляється окремим випадком можливого безлічі упорядкованих правил [1, с. 156–157].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Певною мірою архітектура і наповнення її простору елементами предметного середовища дещо розійшлися у часі. Раціоналістичне рішення внутрішнього простору вимагало відповідного обладнання. У нагоді стала одна із основоположних складових типового проектування – уніфікація та модульна координація [2]. Типізація – багатократне застосування уніфікованих об'ємно-планувальних і конструктивних рішень у будівництві різних об'єктів, досягнення їх взаємної змінюваності на основі взаємозв'язку між проектами будівель, розмірами матеріалів, виробів, конструкцій, устаткуванні, що випускаються будівельною промисловістю. Така взаємна ув'язка досягається на основі єдиної модульної системи, в якій закладений принцип кратності всіх розмірів об'ємно-планувальних і конструктивних елементів будівель і споруд, будівельних виробів і устаткування, прирівняній величині, що зветься модулем [3, с. 9].

Згідно з вітчизняним Єдиним класифікатором, до головних критеріїв якості житла відносяться: матеріал стін; тип каркаса; матеріал перекриттів; висота приміщень (від підлоги до стелі); наявність та стан інженерного обладнання. До них слід також віднести:

- питання про модуль та домірність певних частин будівельних споруд;
- пошук естетичних пропорцій, що виходять з геометричної подоби, та
- розмірних чисельних рядів тощо.

Зокрема, поняття про модуль та його розміри були вихідними теоретичними положеннями типового проектування на початку індустріалізації. Оскільки потреби масового будівництва вимагали додаткових принципів геометричної домірності, концепції модуля було надано суттєвого наукового розвитку. Згодом основи типового проектування сформували стандартні положення Модульної координації розмірів у будівництві (МКРБ) [4]. Модульний метод формоутворення в архітектурі – один із найбільш поширених у зарубіжній практиці, часто є визначальним зовнішнім виглядом і конструктивним рішенням житлових будівель. Основною причиною зростання інтересу до модульних архітектурних форм є поширення екологічних ідей, прагнення до економічно виправданого будівництва з мінімальним нанесенням шкоди навколишньому середовищу. Ці якості (екологічність і економічність) повинні простежуватися не тільки у зовнішній оболонці будівлі, але, головним чином, і в структурних, функціональних зв'язках, що сприяють інтеграції окремих модулів житлового об'єкта в систему. Принадним є використання модульних елементів в інноваційному проектуванні житлових будинків, що дають змогу скоротити витрати часу на створення нових конструкцій. У деяких комбінаторних циклах модульні елементи застосовуються поряд з унікальними з метою створення більш різноманітних проектних рішень, для яких характерні такі особливості:

- цілісність і компактність форми;
- варіативність об'ємно-просторового рішення;
- гнучкість інтер'єрного простору;
- поліфункціональність;
- простота і стійкість конструкції;
- легкість зведення [5].

Типове архітектурно-будівельне проектування використовує досить обмежений діапазон модулів і типових елементів. Це не надає достатньої свободи вибору за необхідності заміни одного елемента іншим і ускладнює можливість отримання цікавих об'ємно-планувальних рішень [6].

Мета роботи. З огляду на вищевикладене метою статті є оптимізація позначення укрупнених і дробових модулів координації розмірів, застосовуючи десяткові кратні і частинні одиниці, що їх утворено за допомогою спеціально рекомендованих множників, а їхні назви і позначення за допомогою відповідних префіксів.

Результати дослідження. Геометрична фігура – одна з найважливіших характеристик для реалізації форми виробів, але лише окремий спосіб її організації. Наприклад, будівельна конструкція за змістом несна або захисна; несна здатність за формою виражена у вигляді уніфікованих рядів; за змістом – у вигляді величин. У взаємодії зміст і форма також можуть сходитися як протилежності. Так, модульна несна здатність конструкції за формою виражена в модульних символах і за змістом – в модульних значеннях цих символів. Отже, обидві свої цілі – якісно

кількісний склад і формозмістовне вираження стосовно до будівельних виробів промислового виробництва – найбільш загальним чином визначають, описують і пояснюють їх стан та розвиток. Діалектичний метод дослідження дає змогу також отримати відповідні практичні науково обґрунтовані визначення, зокрема, типізації та уніфікації, індустріалізації будівництва, одно- і різноманітності, збірності, штучності, монолітності тощо [1, с. 81, 82]. Модульна система удосконалюється з початку індустріалізації, пізніше представляється будівельними нормами і правилами як єдина модульна система, тобто єдина з територіальної спільності і нормативному керівництву. В даний час вона представлена державним стандартом як МКРБ, тобто додатково відображає її методологічний зміст як геометричний. Тобто весь період свого існування модульна система, вихідний в ній основний і похідні (укрупнені і дробові) модулі, правила прив'язки, категорії розмірів, габаритні параметри будівель і т.п. реалізує собою виключно геометричну основу – початок з тенденцією до укрупнення модульних розмірів у проектуванні, а значить, і серійного промислового виробництва збірних конструкцій. [1, с. 145]. Модульна система в архітектурі є основою типізації і уніфікації в будівництві (крок колон, прогони будівель, уніфіковані типові секції, типові проекти) і має мету – розробити та відібрати найкращі з технічної та економічної точок зору конструкції, окремі вузли, а також об'ємно-планувальні рішення будівель для багаторазового використання їх у будівництві. Вживання модуля додає комплексам, спорудам та їх частинам сумірність, полегшує уніфікацію і стандартизацію будівництва, зменшує терміни проектування і будівництва. Негативною стороною типізації і уніфікації є недостатня кількість індивідуальних типорозмірів будівельних конструкцій, що ускладнює проектування індивідуальних проектів. Модульна інтерференція – поняття порівняно нове, що відображає принцип взаємодії архітектурних просторів за певною системою, в основі якого організація архітектурного простору (квартири, будинки, садиби, мікрорайони, райони тощо) по відношенню до одного ідеального модуля, за який береться основна частина проектованого простору. Існує безліч модулів, вживаних при плануванні архітектурних просторів: обирається основний модуль, і всі простори приводяться до цього основного модуля. Дуже часто застосовують модуль «золотого перерізу», а також модульну діагональ і модульний трикутник, просторові конструкції тощо [7]. При варіабельному об'ємному параметрі вантажно-геометричний взаємозв'язок у системі забезпечує існування конструктивних рішень, що дають об'ємно-планувальну варіантність за рахунок конструктивно-функціональної варіантності, тобто є можливість отримувати різні габаритні схеми з однакових конструкцій під різні функціональні потреби і є доповненням модульної координації розмірів у будівництві множиною параметрів узагальненої модульної координації у будівництві і, зокрема, відповідно укрупнено-дробовим співвідношенням [8]. Згідно з наказом Мінрегіону про прийняття державного стандарту [9] набув чинності ДСТУ Б В.1.3-3:2011 «Модульна координація розмірів у будівництві. Загальні положення» [10, с. 4, 5], згідно з яким модульна координація розмірів у будівництві встановлює взаємне узгодження координації розмірів будівель і споруд, а також їх елементів, будівельних конструкцій виробів і елементів обладнання на основі застосування наступних модулів:

- модуль – умовна лінійна одиниця виміру, що вживається для координації розмірів будівель і споруд, їх елементів, будівельних конструкцій, виробів і елементів обладнання;
- основний модуль – прийнятий за основу для визначення інших, похідних від нього модулів:

• похідний модуль – кратний основному модулю, або становить його частину;

• укрупнений мультимодуль – похідний модуль, кратний основному модулю;

• дробовий субмодуль – похідний модуль, що становить частину основного модуля.

Укрупнені модулі (мультимодулі) мають розміри 3М, 6М, 12М, 15М, 30М і 60М і відповідно 300, 600, 1200, 1500, 3000 і 6000 мм. Дробові модулі (субмодулі) мають розміри 1/2М, 1/5М, 1/10М, 1/20М, 1/50М і 1/100М і відповідно 50, 20, 10, 5, 2 і 1 мм.

Розвиток міжнародного співробітництва в другій половині XX ст. зумовив необхідність розроблення нової системи одиниць вимірювань на заміну існуючої на той час системи (СГС, МКС та ін.). У 1945 р. Міжурядова генеральна конференція з мір та вагів прийняла таку систему, з 1960 р. уточнювала її і дала назву *System International unites* (Міжнародна система одиниць) з міжнародним скороченням SI (українською мовою – СІ).

SI має низку переваг над системами, які існували раніше: вона універсальна, охоплює всі галузі науки, техніки, господарства тощо. Тому вона набула визнання в багатьох країнах світу [11]. Назви і позначення одиниць, регламентовані стандартом [12], слід використовувати у нормативних документах, у всіх видах документації, що розробляється чи переглядається, на розроблюваних засобах вимірювальної техніки, в науково-технічних публікаціях, навчальній та довідковій літературі, у навчальному процесі всіх навчальних закладів. У межах SI до когерентної системи одиниць додано десяткові кратні і частинні одиниці, що їх утворено за допомогою спеціально рекомендованих множників, а їхні назви і позначення – з назв і позначень вихідних одиниць за допомогою відповідних префіксів. Множники, префікси та їхні позначення приведено у таблиці 1.

Позначення префікса, приєднане до позначення основної чи похідної одиниці SI, утворює нове позначення кратної чи частинної одиниці; воно може бути піднесене до додатнього чи від'ємного степеня.

Для удосконалення існуючої системи модульної координації розмірів можна застосувати позначення префікса стосовно додатнього чи від'ємного степеня (табл. 2). У таблиці запропоновано множники та префікси для модифікації розмірів модулів у загальній системі.

Таблиця 1

Множники, префікси та їхні позначення для кратних і частинних одиниць SI*

Префікс	Множник	Скорочене позначення		Префікс	Множник	Скорочене позначення	
		українське	міжнародне			українське	міжнародне
дека	10	да	da	деци	10^{-1}	д	d
гекто	10^{2}	г	h	санти	10^{-2}	с	c
кіло	10^{3}	к	k	мілі	10^{-3}	м	m
мега	10^{6}	М	M	мікро	10^{-6}	мк	μ
гіга	10^{9}	Г	G	нано	10^{-9}	н	n
тера	10^{12}	Т	T	піко	10^{-12}	п	p
пета	10^{15}	П	P	фемто	10^{-15}	ф	f
екса	10^{18}	Е	E	ато	10^{-18}	а	a
зета	10^{21}	З	Z	зепто	10^{-21}	зп	z
йота	10^{24}	Й	Y	йокто	10^{-24}	й	y

*Джерело таблиці [12]

Таблиця 2

Множники, префікси у координаційно-модульній системі*

Префікс	Множник	Скорочене позначення		Префікс	Множник	Скорочене позначення	
		українське	міжнародне			українське	міжнародне
дека	10	даМ	daM	деци	10^{-1}	дМ	dM
гекто	10^{2}	гМ	hM	санти	10^{-2}	сМ	cM
кіло	10^{3}	кМ	kM	мілі	10^{-3}	мМ	mM
мега	10^{6}	ММ	MM	мікро	10^{-6}	мкМ	μM
гіга	10^{9}	ГМ	GM	нано	10^{-9}	нМ	nM
тера	10^{12}	ТМ	TM	піко	10^{-12}	пМ	pM
пета	10^{15}	ПМ	PM	фемто	10^{-15}	фМ	fM
екса	10^{18}	ЕМ	EM	ато	10^{-18}	аМ	aM
зета	10^{21}	ЗМ	ZM	зепто	10^{-21}	зпМ	zM
йота	10^{24}	ЙМ	YM	йокто	10^{-24}	йМ	yM

*Таблиця розроблена на основі таблиці 1.

Таблиця 3

Модифікація стандартних розмірів модулів*

Укрупнені модулі (мультимодулі)				Дробові модулі (субмодулі)			
кількість модулів	розміри, мм	Скорочене позначення		кількість модулів	розміри, мм	Скорочене позначення	
		українське	міжнародне			українське	міжнародне
3М	300	3М	3М	1/2М	50	5дМ	5dM
6М	600	6М	6М	1/5М	20	2дМ	2dM
12М	1200	1,2даМ	1,2daM	1/10М	10	1дМ	1dM
15М	1500	1,5даМ	1,5daM	1/20М	5	5сМ	5cM
30М	3000	3,0даМ	3,0daM	1/50М	2	2сМ	2cM
60М	6000	6,0даМ	6,0daM	1/100М	1	1сМ	1cM

*Таблиця розроблена на основі стандарту [10] та таблиць 1 і 2.

Враховуючи розміри модулів, що приведені у національному стандарті – ДСТУ Б В.1.3-3:2011 «Модульна координація розмірів у будівництві. Загальні положення», їх модифікацію можна подати у вигляді таблиці 3.

Модифікація подачі розмірів модулів у будівництві, що запропоновано у таблиці 3, не протирічить вимогам відповідного стандарту і має право на застосування.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Завдяки розробленій модифікації з'явилась можливість більш широкого використання координаційно-модульної системи як у будівництві та архітектурі, так і в інших сферах діяльності національного господарства. Розширення вирішення даного питання може мати і інші алгоритми.

[1] *Романенко И.И.* Индустриализированные строительные системы: методология заменяемости и модульности / И.И. Романенко // – Харьков: ХНАГХ, 2008. -438 с. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://eprints.kname.edu.ua/10838/1/Монография_ХНАГХ_Романенко.pdf.

[2] *Житкова Н.Ю.* Архітектура і дизайн. єдність і протиріччя / Н.Ю. Житкова Сучасні проблеми архітектури та містобудування: Наук.-техн. збірник КНУБА, 2016. – Вип. 42. – С. 25–32. [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://library.knuba.edu.ua/books/zbirniki/01/201642.pdf .

[3] *Паска М.З., Галух Б.І., Басараб І. М., Драчук У.Р., Ромашко І.С.* Основи промислового будівництва і санітарної техніки: навч. посіб. / Паска М.З., Галух Б.І., Басараб І.М., Драчук У.Р., Ромашко І. С. – Львів : ЛНУВМ та БТ імені С.З. Гжицького, 2017. – 83 с. [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://repository.ldufk.edu.ua/handle/34606048/23051

[4] *Романенко І.І., Гордієнко С.М.* Індекс маси будівлі як аргумент застосування міжвидового каркаса у житловому будівництві / І.І. Романенко, С.М. Гордієнко // Научно-технический сборник «Коммунальное хозяйство городов». – № 90. – С. 134–139. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://eprints.kname.edu.ua/view/subjects/Vipusk90.html .

[5] *Смирнова О.В.* Приемы модульного формообразования инновационных жилых зданий / О.В. Смирнова // Традиції та новації у вищій архітектурно-художній освіті. – 2015. – Вип. 1. – С. 106–110. – [Електронний ресурс] Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Tnvakho_2015_1_21.

[6] *Романенко І.І., Мізяк М.І., Гордієнко С.М.* Варіантна житлова система на базі модифікацій міжвидового каркаса серії 1.020-1/87 / І.І. Романенко, М.І. Мізяк, С.М. Гордієнко // Научно-технический сборник «Коммунальное хозяйство городов» № 66 С. 184–0196. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://eprints.kname.edu.ua/view/subjects/ Vipusk66.html .

[7] *Банах В.А.* Аспекти модульної інтерференції взаємодій архітектурних просторів і архітектурного середовища / В.А. Банах, Ю.П. Єгоров, К.К. Архіпова, О.В. Гребенюк // Містобудування та територіальне планування. – 2014. – Вип. 51. – С. 7–13. – [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/MTP_2014_51_5 .

[8] *Гордієнко С.М.* Моделювання каркасних систем щодо їх адаптації до житлових будівель / С.М. Гордієнко // Научно-технический сборник «Коммунальное хозяйство городов». – № 86. – С. 140–146. [Електронний ресурс] Режим доступу: [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://eprints. kname.edu.ua/11105/1/140-146_C.pdf .

[9] Про прийняття національного стандарту ДСТУ Б В.1.3-3:2011 «Модульна координація розмірів у будівництві. Загальні положення» Наказ Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=52676] .

[10] Модульна координація розмірів у будівництві. Загальні положення ДСТУ Б В.1.3-3:2011 [Текст]. – Чинний від 2012-10-01. – К. : Мінрегіон України, 2012. – III, 16 с. [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://ik-architects.com/wp-content/uploads/2014/10/dstu_bv133-11_модульная-кординация-розмеров.pdf .

[11] Міжнародна система одиниць фізичних величин. Фармацевтична енциклопедія. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.pharmencyclopedia.com.ua/article/1454/mizhnarodna-sistema-odinic-fizichnix-velichin

[12] Державний стандарт України. Метрологія. Одиниці фізичних величин Основні одиниці фізичних величин міжнародної системи одиниць. Основні положення, назви та позначення. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://dnaop.com/html/29587/doc-ДСТУ_3651.0-97 .

Надійшла 30.04.2020 р.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОЧНОСТИ КОЖУХА ДОМЕННОЙ ПЕЧИ МОДЕРНИЗИРОВАННОЙ КОНСТРУКЦИИ ИЗ СТАЛИ 10Г2ФБ И ТРАДИЦИОННОЙ ИЗ СТАЛИ 09Г2С



Е.И. Гезенцвей
эксперт по строительному проектированию ООО «Метинвест Инжиниринг», г. Днепр



В.И. Олевский
заведующий кафедрой высшей математики Украинского государственного химико-технологического университета, член Общества промышленной и прикладной математики (SIAM), д.т.н., профессор, г. Днепр



А.В. Олевский
сертифицированный партнер Dassault Systemes SolidWorks (CSWA), Днепровский национальный университет имени Олеся Гончара, член Общества промышленной и прикладной математики (SIAM), г. Днепр

С целью обоснования изготовления самонесущего кожуха доменной печи толщиной 40–50 мм из экономно легированной марки стали были проведены расчеты прочности и малоцикловой усталости конструкции при технологических нагрузках и сравнение данных с расчетом параметров традиционной конструкции. Особенностью расчета является учет изменения механических характеристик материала при повышении температуры кожуха вследствие выгорания кладки. Основные численные расчеты проводились в программном комплексе САПР SolidWorks [1].

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ. Расчетная схема. Расчет статической прочности проводился для параметров доменной печи № 3 ЧАО «МК Азовсталь», упрощенная конструкция которой приведена на рис.1, а. Нагрузки принимались в следующем виде (рис. 1, б).

Нагрузки от собственного веса конструкции доменной печи. Учет веса конструкции доменной печи производился автоматически САПР SolidWorks с учетом плотности и размеров используемого материала.

Вес футеровки: горн и лещадь – 1450 т; шахта и распар – 620 т; фурменная зона и заплечики – 220 т. Вес футеровки автоматически распределялся в виде вертикально направленной распределенной нагрузки по площади внутренней поверхности соответствующих зон.

Давление газа и шихты в печи. Принималось равномерно распределенное внутреннее давление по нормали к стенке кожуха интенсивностью 10 т/м^2.

Нагрузки на кожух от оборудования: фурменные приборы с футеровкой – 24 шт по 6,6 т; термозонды – 4 шт по 0,7 т; контрольное оборудование – 2,5 т.

Нагрузка на купол печи: защитные плиты купола и газоходов – 30 т; атмосферные клапаны – 12,5 т.

Вес холодильных плит – 1560 т.

Нагрузка от загрузки шихты – 1380 т.

Вес засыпного аппарата с шихтой – 405 т.

Вес газоотвода грязного газа – 100 т.

Ветровая нагрузка – 30 т.

Крепление низа лещади – жесткое.

Термическая нагрузка.

При нормальной работе печи, отсутствии выгоревших холодильников изменения температуры кожуха происходят квазистатически и перепад температур по толщине кожуха незначителен. Термические нагрузки (рис. 2, а) имитировались различным по высоте равномерным нагревом зон печи, отличающихся интенсивностью теплового воздействия продуктов плавления (лещадь, горн, фурменная зона, заплечики, распар, шахта, колошник и купол) (рис. 2, б). Температура зон кожуха в начале кампании бралась в соответствии с таблицей 1 [2].

Таблица 1

Распределение и перепад температур по зонам

№ зоны	Расположение	Температура, °С
1	Шахта и распар	65–75
2	Заплечики	72–80
3	Фурменная зона	40–60
4	Горн и лещадь	30

После разгара кладки в течение 1–1,5 лет после начала кампании [3] происходит повышение температуры горна, заплечиков, фурменной зоны,

 © Гезенцвей Е.И., Олевский В.И., Олевский А.В.

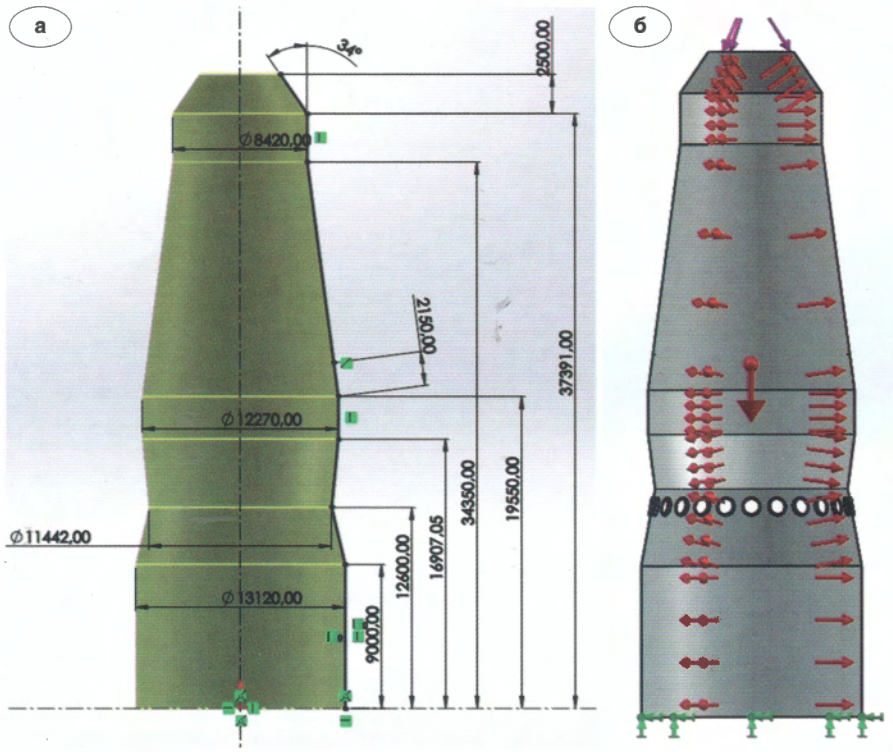


Рис. 1. Конструкция доменной печи (а) и нагрузки и крепление кожуха (б)

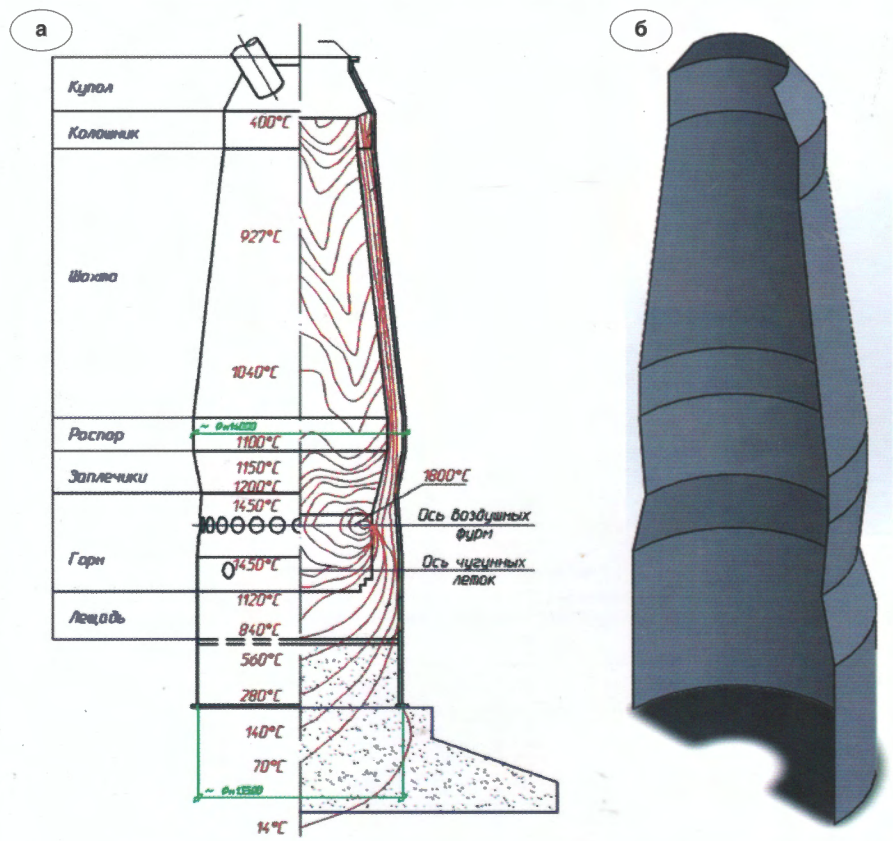


Рис. 2. Распределение тепловой нагрузки (а) и разделение зон (б)

распара и низа шихты с увеличением нижней температуры на некоторую постоянную и сохранением перепада температур между зонами (рис. 3).

Параметры численного расчета. Расчет статической прочности программным комплексом САПР SolidWorks проводился с параметрами сетки, приведенными на рис. 4, а. Свойства сталей 09Г2С и 10Г2ФБ вносились в программу отдельно в зависимости от температуры в диапазоне 16 °С–600 °С по результатам предварительно проведенных испытаний (рис. 4, б). Разбиение является максимальным для данной версии системы (рис. 4, в).

Расчет производился в линейной постановке путем последовательного наложения теплового и механического расчетов. Для анализа использовались результаты расчета приведенных по Мизесу напряжений (энергетическая теория прочности), перемещений и приведенных деформаций кожуха. Результаты выводились в виде рисунков с цветовым изображением уровня параметров.

Анализ результатов расчета. Расчет статической прочности проводился для двух типоразмеров кожуха: толщиной 50–60 мм для стали 09Г2С и толщиной 40–50 мм для стали 10Г2ФБ. Расчет при начальных температурных нагрузках с новой кладкой продемонстрировал практически одинаковый уровень напряжений (рис. 5, а, б) и перемещений (рис. 6, а, б) для этих двух типоразмеров. Напряжения в обоих случаях значительно ниже предела пластичности материалов для данной температуры. Наиболее нагруженной зоной является нижняя часть фурменных отверстий и близлежащая к ним зона.

Наибольшие перемещения возникают в районе заплечиков и горне, при этом для более тонкой оболочки они больше.

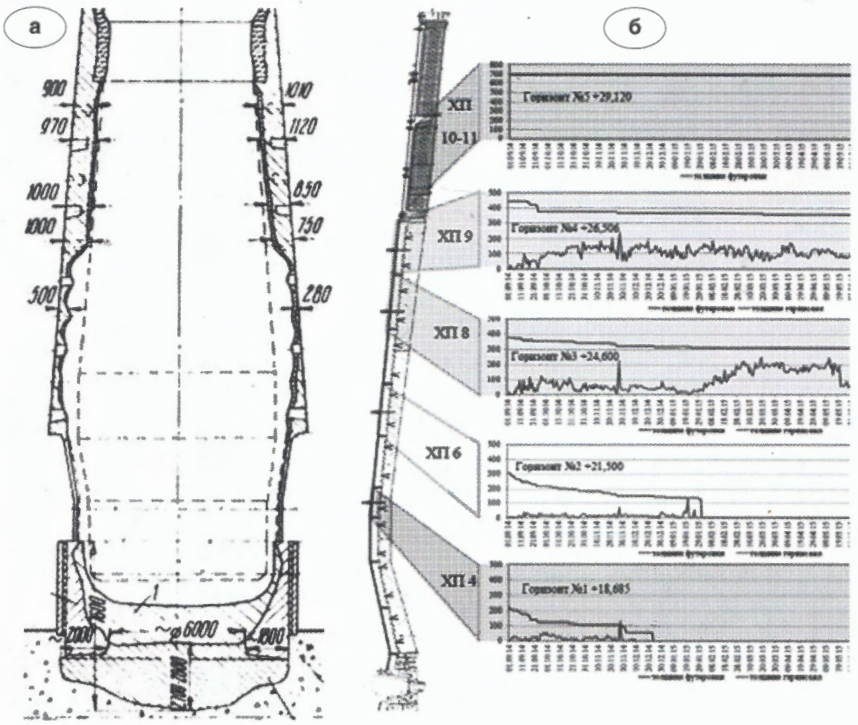


Рис. 3. Характер разгара кладки доменной печи (а); динамика разгара футеровки на ДП № 4 ОАО «Запорожсталь» (б)

С увеличением тепловой нагрузки и приближением напряжений в кожухе к пределу пластичности преимущество облегченной конструкции из стали 10Г2ФБ становится очевидным.

На рис. 7, а, б представлены результаты расчета напряжений для традиционной и облегчен-

Параметры сетки (а)

Тип сетки	Сетка для твердого тела (Solid mesh)
Использованный построитель сетки	сетка на основе кривизны
Количество точек вычисления якобиана в элементе	4 точки
Максимальный размер элемента	263,883 мм
Минимальный размер элемента	52,777 мм
Качество сетки	высокое
Общее количество узлов	301020
Общее количество элементов	150346
Максимальное соотношение сторон элемента	22,771
Процент элементов с соотношением сторон < 3	9,12
Процент элементов с соотношением сторон >10	0,254

Параметры стали 09Г2С (б)

Температура, °С	Расчетное сопротивление, МПа
20	290
200	230
250	220
300	200
350	180
400	150
450	100
500	–

Параметры стали 10Г2ФБ (в)

Маркировка образцов	Температура испытаний, °С	Фактичные значения полученных показателей				
		Граница текучести, Н/мм^2		Предел прочности $\sigma_в$, Н/мм^2	Относительное удлинение δ_5, %	Относительное сужение ψ, %
		$\sigma_{0,2}$	$\sigma_т$			
К	+ 16	–	466	584	28,0	64,0
9607-2	"	–	464	588	25,5	68,5
9609-2	"	–	455	581	26,0	63,0
1	+ 600	246	–	268	26,0	82,5
2	"	252	–	284	30,0	84,0
3	"	275	–	302	25,0	83,5
6915-1	+ 800	75	–	84	45,0	85,0
9615-2	"	70	–	78	56,0	86,5
9607	"	73	–	90	75,0	87,8

Вид сетки (д)



Рис. 4. Параметры сетки (а), стали 09Г2С (б), стали 10Г2ФБ (в) и вид сетки (д)

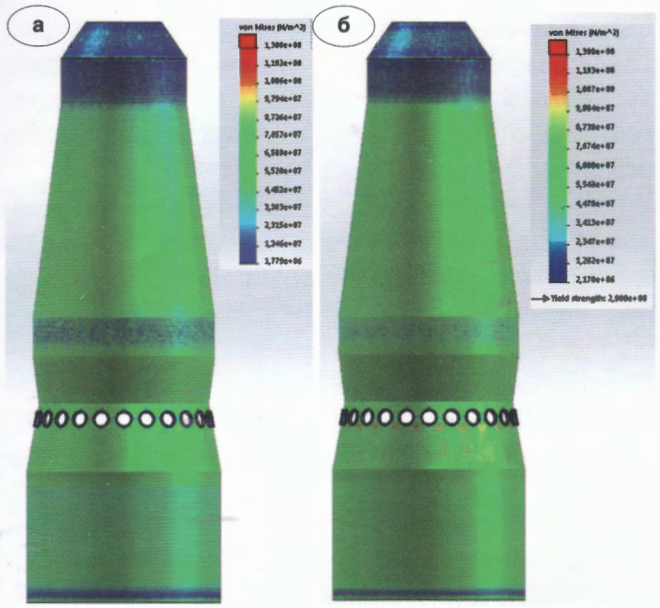


Рис. 5. Приведенные напряжения по Мизесу при отсутствии тепловых нагрузок для традиционной конструкции из стали 09Г2С (а) и облегченной из стали 10Г2ФБ (б)

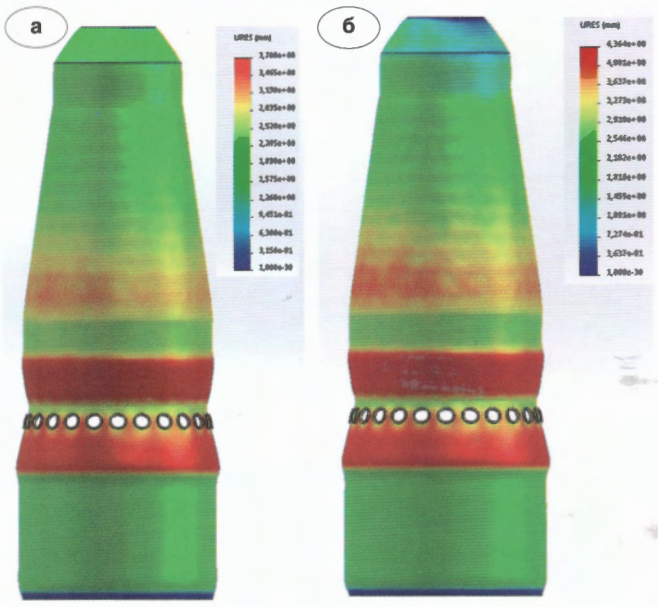


Рис. 6. Перемещения при отсутствии тепловых нагрузок для традиционной конструкции из стали 09Г2С (а) и облегченной из стали 10Г2ФБ (б) (увеличено)

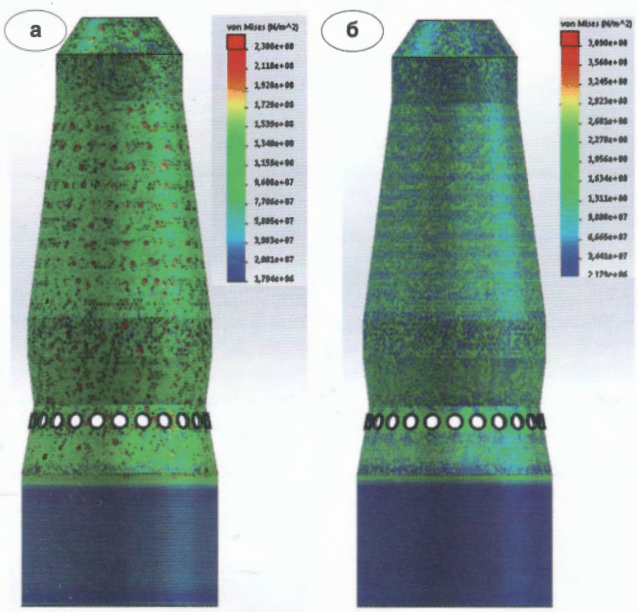


Рис. 7. Приведенные напряжения по Мизесу при повышении тепловых нагрузок на 200 °С для конструкций из стали 09Г2С (а) и облегченной из стали 10Г2ФБ (б)

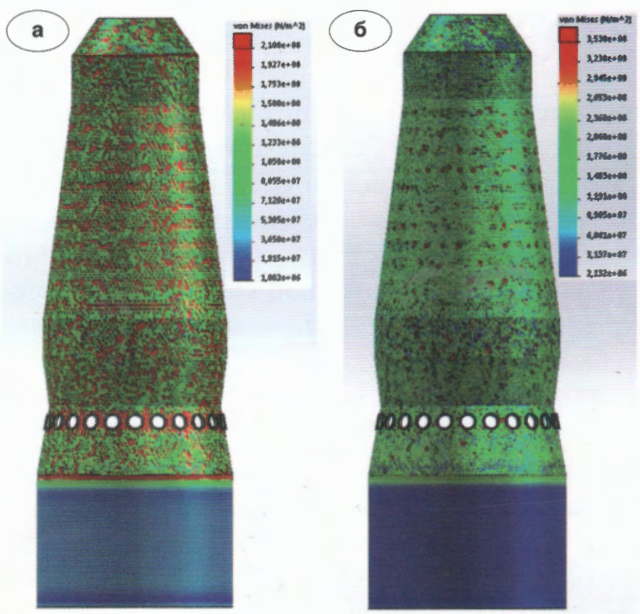


Рис. 8. Приведенные напряжения по Мизесу при повышении тепловых нагрузок на 300 °С для конструкций из стали 09Г2С (а) и облегченной из стали 10Г2ФБ (б)

ной конструкций из соответствующих сталей в случае повышения температуры кожуха в наиболее нагретых зонах на 200 °С, а на рис. 8, а, б – при нагреве на 300 °С. Такие тепловые режимы могут возникать при разгаре кладки в области заплечиков, фурменной зоне и горне и выгорании холодильников, а тепловые нагрузки могут быть следствием аварийного или неправильного хода печи. На рисунках в качестве максимальной точки шкалы напряжений взяты пределы текучести сталей при заданной температуре.

Хорошо видно, что для конструкции из стали 09Г2С наблюдается наличие множественных очагов пластической деформации практически по всей поверхности кожуха, за исключением лещади. Это свидетельствует о возможной потере в этом случае несущей способности кожуха в целом, а также риске образования разрывов местного характера в наиболее нагруженных участках.

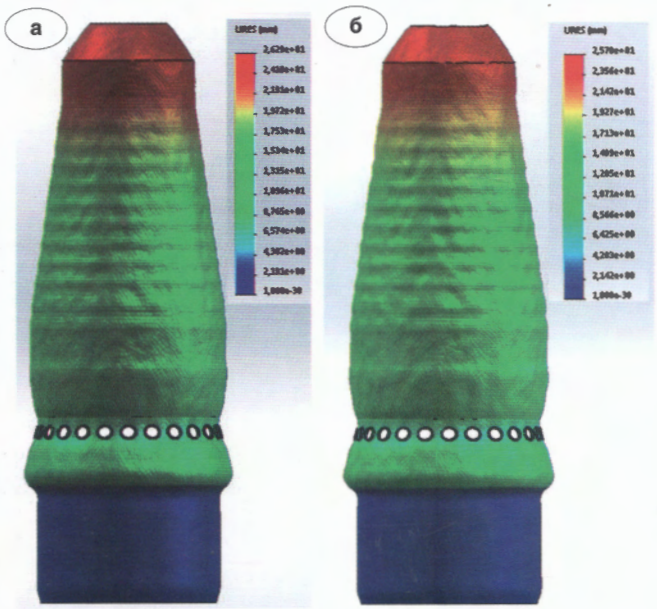


Рис. 9. Перемещения при повышении тепловых нагрузок на 200 °С для конструкций из стали 09Г2С (а) и облегченной из стали 10Г2ФБ (б) (увеличено)

При тех же условиях облегченная конструкция из стали 10Г2ФБ при нагреве на 200 °С еще далека от пластического деформирования, а при нагреве на 300 °С только начинает пластическое деформирование в отдельных нагруженных местах. Абсолютный уровень напряжений в облегченной конструкции практически одинаков с уровнем для традиционной конструкции, перемещения конструкций также практически одинаковы (рис. 9).

Понятно, что при меньшем перегреве соотношение степени нагруженности кожуха из различных сталей изменяется мало. Использование прогрессивных облегченных конструкций кожуха и интенсификация работы доменной печи приводит к увеличению напряжений в кожухе, тем самым усиливая преимущества применения экономно легированных сталей.

Таким образом, применение стали 10Г2ФБ в облегченной конструкции кожуха доменной печи повышает его надежность путем предотвращения пластического деформирования конструкции при разгаре футеровки и выходе из строя холодильников. Это может позволить избежать аварийности при разгаре и значительно продлить срок кампании.

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТАЛОСТНОЙ ПРОЧНОСТИ. Расчетная модель. Поскольку процесс доменного производства является циклическим, на кожух действуют переменные нагрузки. Среднее количество циклов работы печи составляет 152 в месяц [4]. Проверка стали на малоцикловую усталость является определяющей при принятии решения о завершении кампании и проведении ремонта.

Существует несколько критериев малоцикловой усталости. Их область применения определяется экспериментально. Наиболее часто используемыми являются деформационные. Их использование в основном требует построения экспериментальной кривой усталости для исследуемого материала на основе испытания образцов. На рис. 10 приведены кривые усталости стали 09Г2С из [4].

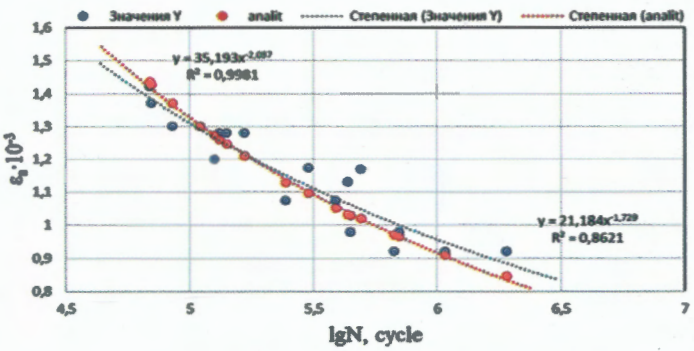


Рис. 10. Экспериментальные и теоретические кривые малоцикловой усталости для стали 09Г2С и их аппроксимации уравнениями регрессии

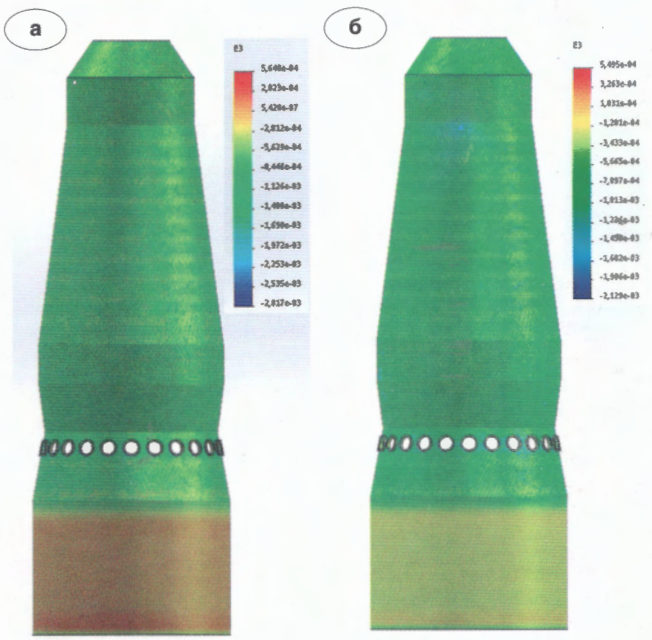


Рис. 11. Приведенные деформации при нагреве на 200 °С для конструкций из стали 09Г2С (а) и облегченной из стали 10Г2ФБ (б)

Для металлургического оборудования была успешно применена модель Мэнсона (Manson) в виде

$$\varepsilon_a = \frac{1}{2}\left(\ln\frac{1}{1-\psi}\right)^{0,6} N^{-0,6} + \frac{1{,}75\sigma_b}{E} N^{-0,12},$$

где ψ – коэффициент относительного сужения; σ_b – предел прочности материала при заданной температуре; E – модуль упругости стали; ε_a – амплитудная деформация цикла; N – предельное число циклов до разрушения.

Она позволяет учесть влияние изменения предела прочности материала на предельное количество циклов нагрузки до разрушения.

Для определения срока службы металла для различных типов кожуха был проведен расчет приведенных деформаций *ESTRN* для конструкций при нагреве на 200 °С (рис. 11, а, б), вычисляемых с использованием главных напряжений $\varepsilon_i, i = 1, 2, 3$ и сдвигов $g_{ij}, i, j = 1, 2, 3$ по формулам:

$$ESTRN = 2\sqrt{\frac{\varepsilon 1 + \varepsilon 2}{3}};$$

$$\varepsilon 1 = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{3}(\varepsilon_i - \varepsilon^*)^2;$$

$$\varepsilon 2 = \frac{1}{4}(g_{12}^2 + g_{13}^2 + g_{23}^2);$$

$$\varepsilon^* = \frac{1}{3}\sum_{i=1}^{3}\varepsilon_i.$$

При использовании экспериментальных данных для сталей при нагреве на 200 °С и одинакового размаха деформаций в виде

$$\varepsilon_a = 0{,}6 \max_{09Г2С} ESTRN,$$

что соответствует данным [4], получаем оценку долговечности 10,5 лет для конструкции из стали 09Г2С и 16,5 лет для конструкции из стали 10Г2ФБ. Соотношение предельного количества циклов до разрушения составляет 1,545 в пользу 10Г2ФБ и увеличивается с ростом заданной температуры. При любых значениях температуры и $\varepsilon_a = (0{,}5 \div 0{,}6) \max_{09Г2С} ESTRN$ оно не менее 1,18.

Таким образом, проверка малоцикловой усталости подтверждает преимущества использования конструкции кожуха из стали 10Г2ФБ, при этом прогнозируемые сроки ремонта можно увеличить не менее чем до 18 %.

[1] *Алямовский А.А.* SolidWorks Simulation. Инженерный анализ для профессионалов: задачи, методы, рекомендации. – ДМК Пресс, 2015. – 562 с.

[2] Доменное производство «Криворожстали» / *В.И. Большаков, А.В. Бородулин, Н.А. Гладков и др.* – Кривой Рог: Издательство СП «Мир» – 2004 г. – 376 с.

[3] Влияние технологии доменной плавки с применением пылеугольного топлива на разгар футеровки и тепловую работу периферийной зоны доменной печи № 4 ОАО «Запорожсталь» / *А.Л. Чайка, В.В. Лебедь, А.А. Жеребецкий, К.С. Цюпа, С.В. Гоман, А.П. Фоменко* // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии: Сб. научн. тр. – Дніпропетровськ.: ІЧМ НАН України, 2015. – Вип. 30. – С. 56–68.

[4] *Рабер Л.М., Червинский А.Е., Ибрагимов М.С.* Несущие конструкции металлургических агрегатов. – Днипро : ИМА-Пресс, 2016. – 260 с.

Надійшла 18.05.2020 р.

Ассоциация УЦСС подготовила публикацию «Расчет стальных конструкций зданий в соответствии с Еврокодом 3 и Национальными приложениями Украины (2-е издание)»

УКРАИНСКИЙ ЦЕНТР СТАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Данная публикация содержит краткое введение к Еврокодам как системе нормативных документов и описывает особенности проектирования стальных конструкций согласно имплементированному ДСТУ-Н Б EN 1993-1-1 и сопутствующих стандартов.

В первую очередь публикация разработана как учебное пособие для практикующих инженеров-проектировщиков и содержит основные правила проектирования в соответствии с гармонизированными европейскими нормами расчета несущих конструкций зданий.

В публикации сокращенно изложена информация об основных нагрузках и воздействиях, их сочетание для наиболее распространенных простых типов зданий. Также приведена объяснительная информация по расчетам за первым (несущая способность) и вторым (эксплуатационная пригодность) предельными состояниями.

Приведены правила расчета простых болтовых и сварных соединений в соответствии с ДСТУ-Н Б EN 1993-1-8, а также основные требования ДСТУ-Н Б EN 1993-1-10 для предотвращения хрупкого разрушения.

Приложения к публикации содержат инструкции по выбору наиболее неблагоприятных комбинаций действий на конструкции, определения коэффициентов при сложном напряженном состоянии, а также по упрощенному подходу к расчету потери устойчивости плоской формы изгиба (изгибно-крутильной формы) не раскрепленных балочных конструкций.

Публикация также включает в себя ряд рабочих примеров для различных конструктивных элементов здания, разработанных в соответствии с Национальными приложениями Украины.

Ознакомиться с текстом публикации можно на сайте УЦСС – WWW.USCC.UA

ПОВЫШЕНИЕ ЖИВУЧЕСТИ СТАЛЬНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ ТЕРМОУПРОЧНЕННЫХ СТАЛЕЙ



Е.И. Гезенцвей
эксперт по строительному проектированию ООО «Метинвест Инжиниринг», г. Днепр



Д.О. Банников
профессор кафедры строительного производства и геодезии Днепровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, д.т.н., профессор

При проектировании строительных конструкций в целом и стальных конструкций в частности в настоящее время возникает проблема оценки, анализа и управления их живучестью, что обусловлено высокой сложностью и комплексностью строительных конструкций как технических систем. Фактически все большая часть конструкций проектируется и создается со всевозрастающим количеством структурных элементов, взаимосвязей между ними, а также для выполнения одновременно все большего количества функций. В свою очередь, это приводит к постоянно растущему риску развития всевозможных отказов и аварийных ситуаций.

Не являются исключением в этом плане и промышленные сооружения. Некоторые из них имеют явно выраженную техническую сложность как в конструктивном, так и в эксплуатационном отношении, как например кожухи доменных печей [1] – рис. 1. Другие, как например бункеры, хотя и отличаются внешней простотой конструктивной формы, однако структурная взаимосвязь отдельных конструктивов таких сооружений, а также их работа под внешними нагрузками довольно сложно прогнозируется [2] – рис. 2.



Рис. 1. Конструкция стального кожуха доменной печи

Как и ряд других промышленных сооружений, выполненных из стали, подобные сооружения имеют достаточно ограниченный резерв в перераспределении внутренних усилий, возникающих от внешних нагрузок. Это связано с одной стороны с серьезной ограниченностью возможностей устройства дублирующих элементов, а с другой – с невысокими значениями всевозможных коэффициентов запасов (коэффициентов надежности в методе предельных состояний) по сравнению, например, с железобетонными или



Рис. 2. Конструкция стального бункера

 © Гезенцвей Е.И., Банников Д.О.

каменными конструкциями. Все это довольно точно описано в работе [3]. В ней также приводится достаточно подробный и детальный анализ имеющейся литературы по проблематике живучести строительных конструкций. В частности отмечается существенный вклад в развитие данного направления современной киевской школы проектирования металлоконструкций – Украинского института стальных конструкций им. В.Н. Шимановского.

Мы не будем дублировать авторов этой публикации, а только лишь обратим внимание на несколько неразрешенных аспектов, которые остаются достаточно спорными или просто за пределами внимания ученых и исследователей.

Во-первых, существует определенная неоднозначность в трактовке самого понятия «живучесть». Так в уже упоминавшейся работе [3] приводится следующая формулировка: «... *живучесть – это свойство поврежденной системы полностью или частично выполнять свое назначение*». И далее применительно к строительным конструкциям конкретизируется следующим образом: «... *под живучестью конструкции предлагается подразумевать ее свойство сохранять общую несущую способность при локальных разрушениях, вызванных природными или техногенными воздействиями в течение некоторого времени*».

Согласно [4] «... *живучесть рассматривается как свойство системы сохранять при катастрофических возмущениях способность к выполнению основных функций, не допуская каскадного развития возмущений и отказов, что в конце концов обеспечивает последующее восстановления системы*». При этом все-таки сложно согласиться с тем утверждением, что именно катастрофические (а не самые обычные проектные) возмущения следует связывать с понятием живучести строительной конструкции.

В соответствии с нормативным документом [5] живучесть – свойство объекта сохранять ограниченную работоспособность под воздействиями, которые не предусмотрены условиями эксплуатации, при наличии некоторых дефектов и повреждений, а также при отказе некоторых компонентов объекта.

В принципе в смысловом аспекте все эти трактовки являются довольно близкими, однако в каждой из них упускается один из важнейших и принципиальнейших моментов – срок, в течение которого обеспечивается или должна быть обеспечена живучесть. Ведь если поврежденный объект продолжает выполнять свои основные функции, пусть даже и частично, находясь в ограниченно работоспособном состоянии, то не окажется ли это через определенное время уже нормальным состоянием объекта. Именно так особенно в последние десятилетия происходит со многими сооружениями промышленных предприятий, да и нередко со зданиями различных сроков возведения.

Также в имеющейся специализированной литературе основное внимание при изучении живучести строительных конструкций уделяется оценке влияния механических структурных изменений и последствиям, к которым они приводят. При этом анализируется физическая либо геометрическая нелинейность структур. Однако, как справедливо подчеркивается в работе [4]: «*Гораздо большую роль играет геометрически нелинейное поведение, поскольку поврежденный каркас приобретает значительные перемещения* (*в особенности при учете воздействий от пожара*)…» Однако именно подобное воздействие повышенных температур как раз и не рассматривается в имеющейся литературе по проблематике живучести не только стальных промышленных сооружений, но и стальных строительных конструкций в целом. Именно учет влияния на живучесть таких конструкций повышенных температур и является целью проведенных авторами исследовательских работ.

Отдельно хотелось бы отметить также, что саму по себе проблематику живучести строительных конструкций, а в более общей трактовке – механических систем, вполне следует рассматривать с позиции так называемой теории катастроф. Ряд аспектов такой трактовки изложен в работе [6], где приводятся конкретные числовые примеры, иллюстрирующие суть высказываемых идей и положений.

Объектами, на примере которых рассматривается предлагаемый аспект оценки живучести, были выбраны два вида стальных промышленных сооружений, к которым авторы имели непосредственное отношение в течение длительного периода и с которыми в силу этого обстоятельства хорошо знакомы. Первым таким объектом является стальной кожух доменной печи, а вторым – стальной пирамидально-призматический бункер для сыпучих материалов.

Особенности приложенных нагрузок и воздействий, работы конструкции, возникающие при этом напряженно-деформированные состояния, а также сложности и отказы, сопровождающие процесс эксплуатации этих сооружений, освещались в работах [7, 8]. В этих же работах отмечается, что одним из потенциальных воздействий на элементы конструкций являются повышенные или наоборот пониженные температурные воздействия. В результате срок службы как кожухов доменной печи, так и бункеров резко снижается, в отдельных случаях до 5–7 лет. Безусловно, в практике эксплуатации это приводит как к необходимости выполнения постоянного мониторинга за техническим состоянием объектов, так и проведения поточных ремонтных работ различного уровня сложности для поддержания конструкций в работоспособном состоянии.

Однако одной из характерных особенностей в рассматриваемых двух случаях стальных промышленных сооружений является то обстоятельство, что различные отказы под действием изменяющихся температур возникают достаточно локально. Отчасти это обусловлено повреждением защитных футеровочных покрытий. С другой стороны возникает необходимость в усовершенствовании самих конструктивных решений. Это связано с достаточно невысокой возможностью резервирования конструктивных элементов – особенностью, присущей всем стальным листовым сооружениям. В результате этого живучесть листовых сооружений является особо низкой. Выражаясь словами д.т.н. А.В. Перельмутера, в подобных сооружениях отсутствуют «главные несущие конструкции» [9], которые и обеспечивали бы необходимый уровень живучести всего сооружения в целом.

К тому же традиционно применяемые для промышленных сооружений марки стали, как например 09Г2С для стальных кожухов доменных печей или Ст3сп для стальных пирамидально-призматических бункеров, как показывает практика эксплуатации, приводят к образованию трещин лавинного характера в разных направлениях и различных размеров. Естественно живучесть объектов в такой ситуации оставляет желать лучшего.

Одним из эффективных методов повышения не только эксплуатационных свойств, но и живучести стальных промышленных сооружений рассматриваемого типа является применение термоупрочненных мелкозернистых высокопрочных сталей, производимых предприятиями группы «Метинвест», в частности, марки 10Г2ФБ класса прочности С440. Такая сталь применена в проекте полной замены кожуха ДП № 3 на меткомбинате ПАО «Запорожсталь» [7], а также в проекте бункерной эстакады бункеров обводного тракта подачи шихтовых материалов для доменных печей по заказу ПАО «Северсталь» [8].

Сталь марки 10Г2ФБ обладает целым рядом улучшенных механических характеристик благодаря специально разработанному химическому составу (см. таблицу). Этот состав определялся при испытаниях стандартных образцов, проведенных Научно-инженерным центром по испытаниям труб, баллонов, другой продукции и материалов при ГП «Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт трубной промышленности имени Я.Ю. Осады».

Таблица

Марка стали	Массовая доля элементов, %					
	Углерод (C)	Марганец (Mn)	Кремний (Si)	Сера (S)	Фосфор (P)	Хром (Cr)
Ст3сп	0,16	0,50	0,20	0,004	0,009	0,04
09Г2С	0,09	1,64	0,55	0,004	0,009	0,03
10Г2ФБ	0,09	1,64	0,55	0,004	0,009	0,03
Марка стали	**Никель (Ni)**	**Медь (Cu)**	**Ванадий (V)**	**Алюминий (Al)**	**Ниобий (Nb)**	**Титан (Ti)**
Ст3сп	0,03	0,01	—	0,04	—	
09Г2С	0,05	0,03	0,001		—	
10Г2ФБ	0,05	0,03	0,001	0.033	0,05	0.02

Как уже отмечалось, с точки зрения повышения живучести стальных промышленных сооружений наиболее существенным является с одной стороны повышение огнестойкости стали, и с другой – обеспечение высоких требований к ее низкотемпературной вязкости, т.е. высокой ударной вязкости при низких температурах. Оптимальной микроструктурой для выполнения этих жестких требований является смешанная структура из мелкого феррита и дисперсной карбидной и карбонитридной второй фазы, достигаемой микролегированием и контролируемой прокаткой с добавками хрома, ниобия, ванадия, титана ввиду их измельчающего действия на исходное (аустенитное) зерно [10].

В результате практического применения мелкозернистой термоупрочненной стали марки 10Г2ФБ в стальных промышленных сооружениях типа кожуха доменной печи и стального пирамидально-призматического бункера была получена не только экономия в массе конструкций, достигавшая 25 % без снижения несущей способности, но и улучшены показатели напряженно-деформированного состояния. В частности получено более равномерное распределение внутренних усилий и напряжений в элементах сооружений.

В качестве основных выводов из изложенного в данной публикации материала хотелось бы сделать следующие.

1. При оценке живучести строительных конструкций и разработке методологии ее определения необходимо дополнительно принимать во внимание временной интервал, в течение которого обеспечивается или должна быть обеспечена живучесть объекта. По всей видимости, это требует привлечения математического аппарата теории вероятностей и математической статистики.

2. Одним из аспектов живучести стальных строительных конструкций, кроме традиционно анализируемой структурной живучести, является оценка, связанная с изменением температурного режима работы. Качественного повышения живучести стальных промышленных сооружений можно добиться за счет применения сталей с улучшенными термическими характеристиками, как например, сталь марки 10Г2ФБ, производимая предприятиями группы «Метинвест».

[1] *Любин А.Е.* Металлические конструкции сооружений комплекса доменной печи. Проектирование. Эксплуатация. Диагностика технического состояния : монография. – К. : Сталь, 2010. – 472 с.

[2] *Качуренко В.В., Банников Д.О.* Конструктивные решения стальных емкостей для сыпучих материалов : монография. – Днепропетровск : Новая идеология, 2016. – 168 с.

[3] *Иванова А.П.* Живучесть и разрушение многоэлементных конструкций // Техногенні катастрофи : моделі, прогноз, запобігання : 3-я міжнародна наук.-практ. конф., 22–24 травня 2013, м. Дніпропетровськ : 2013. – С. 64–74.

[4] *Перельмутер А.В., Сливкер В.И.* Расчетные модели сооружений и возможность их анализа : монография. Москва : ДМК Пресс, 2007. – 600 с.

[5] ДБН В.1.2-14-2018. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. [Чинний від 2019-01-01]. – К. : Мінрегіонбуд України, 2018. – 29 с.

[6] *Томпсон Дж. М. Т.* Неустойчивости и катастрофы в науке и технике : монография. Пер. с англ. – Москва : Мир, 1985. – 254 с.

[7] *Гезенцвей Е.И.* Технологичность применения мелкозернистых термоупрочненных сталей в конструкциях кожухов доменных печей. // Промислове будівництво та інженерні споруди. – 2016. – № 3. – С. 43–47.

[8] *Hezentsvei Yu., Bannikov D.* Effectiveness Evaluation of Steel Strength Improvement for Pyramidal-Prismatic Bunkers. Eureka: Physics and Engineering. 2020. No. 2 (27). pp. 30–38.

[9] *Перельмутер А.В.* Избранные проблемы надежности и безопасности строительных конструкций : монография. Москва : АСВ, 2007. – 256 с.

[10] *Малинов Л.С., Бурова Д.В., Малышева Е.И.* Способы повышения свойств стали 10Г2ФБ, обеспечивающие ее применение по новому назначению и энергосбережение.// Новые материалы и технологии в металлургии и машиностроению, 2017. – № 2. – С. 72–74.

Надійшла 12.05.2020 р.

МІКРОСТРУКТУРА ЦЕМЕНТНОГО КАМЕНЮ У ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ВИРОБАХ



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

За своєю структурою цементні розчини і бетони являють собою штучні конгломерати, основними структурними елементами яких є заповнювачі і зв'язуючий їх цементний камінь.

Властивості такого конгломерату визначаються його макро- й мікроструктурою.

Макроструктура бетону характеризується розподіленням у ньому цементного каменю, крупного і дрібного заповнювачів, а також пор, заповнених розчинами мінеральних речовин і повітрям.

Крупний та дрібний заповнювачі в бетоні є його каркасом, який значно зменшує усадку. Якість і кількість заповнювача впливає на макроструктуру бетону, його міцність та інші властивості.

Пористість у бетоні буває відкритою та закритою. Відкриті пори порушують структуру бетону і значною мірою погіршують його якість: зменшують водонепроникність, збільшують водопоглинання, знижують морозо- й корозійну стійкість. Закриті пори, навпаки, покращують експлуатаційні властивості бетону, підвищуючи його довговічність.

Під час виробництва бетону, змінюючі матеріали, склад, технологічні режими, можна регулювати отриманням наперед заданої макроструктури бетону.

Щодо властивостей бетону не менш важливу роль відіграє його мікроструктура, яка включає мікроструктуру цементного каменю, контактних зон із заповнювачем і арматурою та окремих пор, тобто мікроструктуру місць, які забезпечують склеювання конгломерату.

Міцність склеювання обумовлюється двома факторами: адгезією міцності на відрив твердих поверхонь від клеючого прошарку і когезією чи міцністю самого клею.

Для бетонів клеючою речовиною є цемент, а твердими клеючими поверхнями – заповнювачі.

Виникнення адгезійних сил визначається наявністю хімічної активності продуктів гідратації цементу по відношенню до клеючих матеріалів, наявністю розвиненої і щільної колоїдної фази у контактному шарі і мінімальною зміною об'єму цього шару у випадку поверхневого склеювання та обтискування заповнювачів у бетоні завдяки самоущільненню твердого цементу.

Електронна мікроскопія контактного шару цементного каменю із заповнювачем приведена на рис. 1.

В центрі мікрофотографії проглядається розколота по тріщині частинка кварцового піску, оточена зі всіх боків продуктами гідратації портландцементу, які представлені у вигляді лусочок, зібраних у різні агрегати, які утворюють шарову структуру (рис. 1, 2).

Необхідно відмітити наявність значної кількості ділянок із структурою пори, заповненої призматичними довгими кристалами етрингіту або гідрооксиду кальцію. Ці кристали утворюються у заповнених водою щілинах між заповнювачем та цементом, зменшуючи площу контакту між ними. Кількість ділянок із такою структурою пор залежить від правильності підбору, приготування та укладання бетону.



Рис. 1. Електронна мікрофотографія реплики з поверхні контактного шару цементного каменю із заповнювачем (х 18.000)

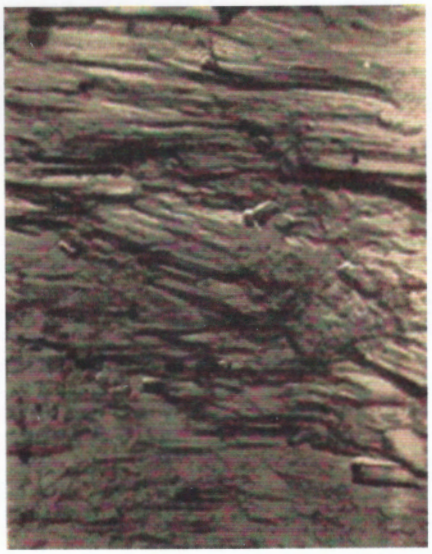


Рис. 2. Електронна мікрофотографія реплики з поверхні контактного шару цементного каменю із заповнювачем (х 14.000)

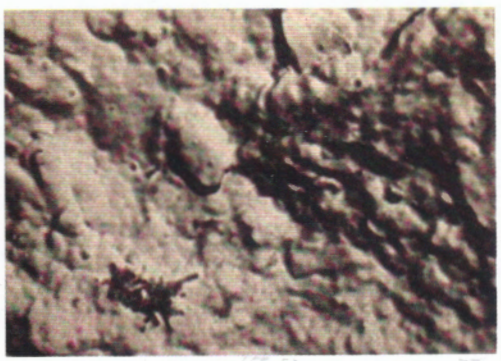


Рис. 3. Контактна зона конгломератів (х 23.000)

За сприятливих умов пори поступово заповнюються лусочками гідросилікатів кальцію. Рентгенографічний аналіз плівки, знятої з поверхні гравію, показує звичайний склад портландцементу, гідратованого один рік. Продукти взаємодії цементу та заповнювача при цьому відсутні.

Однак це не означає, що не відбувається хімічної взаємодії між заповнювачем та цементом. Все залежить від умов та строків цієї взаємодії.

Наприклад, у розчині для мурування Софіївського собору у м. Києві були знайдені окремі зерна заповнювача розміром до 6–7 мм, оточені вапняковою масою. У багатьох місцях неможливо було не тільки виділити кварцове зерно з розчину, але і визначити його межу. Така взаємодія між двома фазами. Причому міграція цих фаз мала місце в обох напрямках. Відкол проходив по в'яжучому, по кварцовому зерну, але тільки не по контактній зоні.

Це ідеальний випадок адгезії в'яжучого на заповнювачі, але для виникнення подібного контакту за нормальних умов знадобилось більше 900 років. Подібні контактні зони спостерігаються у деяких видів природних бетонів-конгломератів та брекчій.

Контактна зона цих матеріалів, як і цементуюча частина, має луско-шарову структуру (рис. 3).

Таким чином, луско-шарова структура характерна не тільки для штучного каменю, але і для багатьох натуральних кам'яних матеріалів. Тобто лусочка, або кристалоагрегат з голочок, – це основний елемент мікроструктури цементного каменю, контактних зон його із заповнювачем і арматурою.

Розмір цих лусочок визначається десятками і сотнями ангстремів, а тому знаходиться в сфері колоїдної ступені дисперсності. Такі лусочки завжди утворюються на поверхні частинки цементу вже через декілька секунд після взаємодії з водою.

При перемішуванні, укладанні та ущільненні утворені шари лусочок на поверхні цементного зерна механічно віддираються, переходять у розчин і з нього вже можуть осідати – приклеюватися до поверхні зерен заповнювача. Це ж відноситься і до інших продуктів гідратації цемента.

Негідратовані поверхні зерен цементу, які відкрилися, знов реагують з водою, а продукти їх гідратації отримують можливість пересуватися і осідати на поверхні заповнювачів. Цей процес, збільшуючи кількість новоутворень, значно прискорює формування мікроструктури контактних зон.

Колоїдний розмір утворених лусочок дозволяє заповнити будь-яку шорсткість та мікротріщину на поверхні заповнювача або арматури.

Таким чином, природа сил у контактному шарі така сама, що і всередині у цементному камені. Це сили Ван-дер-Ваальса між поверхнею каменю та лусочками гідросилікатів кальцію.

В залежності від виду заповнювача, цементу та умов твердіння з віком склад лусочок може змінюватися. Ці зміни мають місце у разі їх взаємодії із заповнювачем або в результаті гідролізу продуктів гідратації цементу. У випадку встановлення у контактному шарі постійного складу в лусочках може проходити процес збиральної рекристалізації, яка призводить до зрощування заповнювача з цементним каменем.

Аналіз мікроструктури цементного каменю і його контактів із заповнювачем свідчить, що властивості бетонів залежать більше від мікроструктури цементного каменю, ніж від його мезо- і макроструктури.

Надійшла 21.11.2019 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 № 2 від 04.06.2020 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 04.06.2020 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**