ISSN 1996-8159

ПБС

1'2020

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

ПБіС
1'2020

ПРОМИСЛОВЕ БУДІВНИЦТВО ТА ІНЖЕНЕРНІ СПОРУДИ

Виходить 4 рази на рік

Заснований у листопаді 2007 року

ЗМІСТ

МОСТОВІ СПОРУДИ

О.В. Шимановський, В.В. Шалінський
СПЕЦІАЛЬНЕ ОБСТЕЖЕННЯ АВАРІЙНОГО ПАРКОВОГО ПІШОХІДНОГО МОСТА ЧЕРЕЗ р. ДНІПРО НА ТРУХАНІВ ОСТРІВ У м. КИЄВІ 2

О.В. Шимановський, В.В. Шалінський
РОЗРОБЛЕННЯ ПРОТИАВАРІЙНИХ ЗАХОДІВ ДЛЯ ПАРКОВОГО ПІШОХІДНОГО МОСТА ЧЕРЕЗ р. ДНІПРО НА ТРУХАНІВ ОСТРІВ У м. КИЄВІ 8

НАУКА – ВИРОБНИЦТВУ

А.С. Білик, А.В. Шупик, А.А. Худайберенов
ІНСТРУМЕНТИ АНАЛІЗУ ВАРТОСТІ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ПРИ ВІДНОВЛЕННІ БУДІВЕЛЬ ПІСЛЯ ПОЖЕЖІ НА ПРИКЛАДІ БУДИНКУ СПІЛОК У м. КИЄВІ 12

Ю.Д. Абрашкевич, Г.М. Мачишин, О.А. Марченко
ТЕПЛОВІ ПРОЦЕСИ ПРИ РІЗАННІ АБРАЗИВНИМИ АРМОВАНИМИ КРУГАМИ 22

ВИМІРЮВАЛЬНА ТЕХНІКА

Ю.В. Радиш, С.К. Ярмолка
АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ З КАЛІБРУВАННЯ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ, ЩО ЕКСПЛУАТУЮТЬСЯ 28

АНТИКОРОЗІЙНИЙ ЗАХИСТ

Е.И. Гезенцвей
ЗОНАЛЬНАЯ АНТИКОРРОЗИОННАЯ ЗАЩИТА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ 31

БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ

І.І. Ніконець, І.М. Мартинюк, Є.М. Шматов, О.М. Стаднічук
МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ГІДРАТАЦІЇ ЦЕМЕНТІВ 33

І.С. Суббота, Л.М. Спасьонова, Т.І. Булка, І.М. Яйченя
ВПЛИВ ВОЛОГОСТІ ПРЕС-ПОРОШКІВ З ПОЛІМІНЕРАЛЬНОЇ ГЛИНИСТОЇ СИРОВИНИ НА МОРОЗОСТІЙКІСТЬ ОБЛИЦЮВАЛЬНОЇ КЕРАМІКИ 36

НОРМАТИВНА БАЗА

И.Н. Руднева, Ю.Н. Прядко
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЕВРОКОДОВ И НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ УКРАИНЫ, В ТОМ ЧИСЛЕ ЧАСТНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ НАДЕЖНОСТИ И УЧЕТА ФАКТОРА ВРЕМЕНИ, ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ КОНСТРУКЦИЙ 39

ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

Моради Пур Омид
КЛАССИФИКАЦИЯ СОВРЕМЕННЫХ ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ 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

СПЕЦІАЛЬНЕ ОБСТЕЖЕННЯ АВАРІЙНОГО ПАРКОВОГО ПІШОХІДНОГО МОСТА ЧЕРЕЗ р. ДНІПРО НА ТРУХАНІВ ОСТРІВ У м. КИЄВІ



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

Розташований навпроти центральної частини м. Києва на головному річищі р. Дніпро зелений і мальовничий Труханів острів із його широкими золотаво-піщаними пляжами, водними станціями, спортивними спорудами, ресторанами й будинками відпочинку був, є і безсумнівно завжди буде улюбленим місцем відпочинку киян. Проте до середини 50-х років минулого століття переправитись на нього можна було лише за допомогою плавзасобів, що викликало великі труднощі в організації перевезень безлічі відпочиваючих на Труханів острів. Тому було прийнято рішення про його безпосереднє сполучення з правобережною частиною м. Києва шляхом побудови пішохідного моста. Проект моста розроблено Проектною конторою «Проектсталь-конструкція» (нині ТОВ «Укрінсталькон імені В.М. Шимановського»). Під час проектування розглядалися декілька варіантів мостового переходу з урахуванням різноманітних конструктивних і експлуатаційних умов, а також вимог матеріалоємності, економічності та архітектурної виразності. У кінцевому підсумку з усіх напрацьованих варіантів перевага була віддана великопрогоновій висячій прогоновій будові з двома спареними пілонами, несними елементами зі сталевих закритих канатів і зварною балкою жорсткості. Однак через відсутність на той час сталевих закритих канатів великих діаметрів були застосовані ланцюги зі сталевих листів.

Парковий міст через р. Дніпро в м. Києві був відкритий 2 липня 1957 року (рис. 1). Зрозуміло, що головне його призначення полягає в пропуску пішоходів, але у виключних випадках також допускається проїзд спеціальних машин. Довжина моста становить 425,9 м, а ширина пішохідної частини – 7,0 м. Суднохідна ділянка моста перекрита трипрогоновою висячою прогоновою будовою за схемою 60 + 180 + 60 м (рис. 2, а). Дві головні двотаврові зварні балки заввишки 2400 мм разом із залізобетонною плитою пішохідної частини та поздовжніми і поперечними в'язями утворюють балку жорсткості висячого прогону. Елементи ланцюгів виконані зварними з листів Н-подібного перерізу з клепаними монтажними з'єднаннями, а пілони – зварними, коробчастого перерізу.

Берегові ділянки моста прийняті з балковими сталезалізобетонними прогоновими будовами: на лівобережній ділянці – три прогони завдовжки 36,0 м кожен, а на правобережній – один прогін завдовжки 17,9 м (рис. 2, б).

Пішохідна частина складається з однотипних Т-подібних збірних залізобетонних блоків завдовжки 7600 мм, заввишки 500 мм і завширшки 1400 мм, що спираються на дві головні двотаврові балки прогонової будови. Що ж стосується опорних частин моста, то вони прийняті каткового типу зі сталевого листа.

Задля гасіння від'ємних реакцій на кінцях 180-метрової висячої прогонової будови, а саме біля опор № 3 і № 6, влаштовані залізобетонні противаги у вигляді бетонних масивів, розташованих між головними балками. А з метою зменшення наднормативних горизонтальних коливань усередині цієї будови встановлені чотири пружинисті гасники коливань безударного типу.

Опори моста виконані залізобетонними рамними, а основи всіх опор – із залізобетонних забивних паль перерізом 350×350 мм, причому на опорах № 4 і № 5 довжина паль становить 13,0 м, а на всіх інших опорах – 9,0 м (див. рис. 2, а).



Рис. 1. Загальний вигляд Паркового моста через р. Дніпро в м. Києві після завершення ремонтних робіт 2017 р.

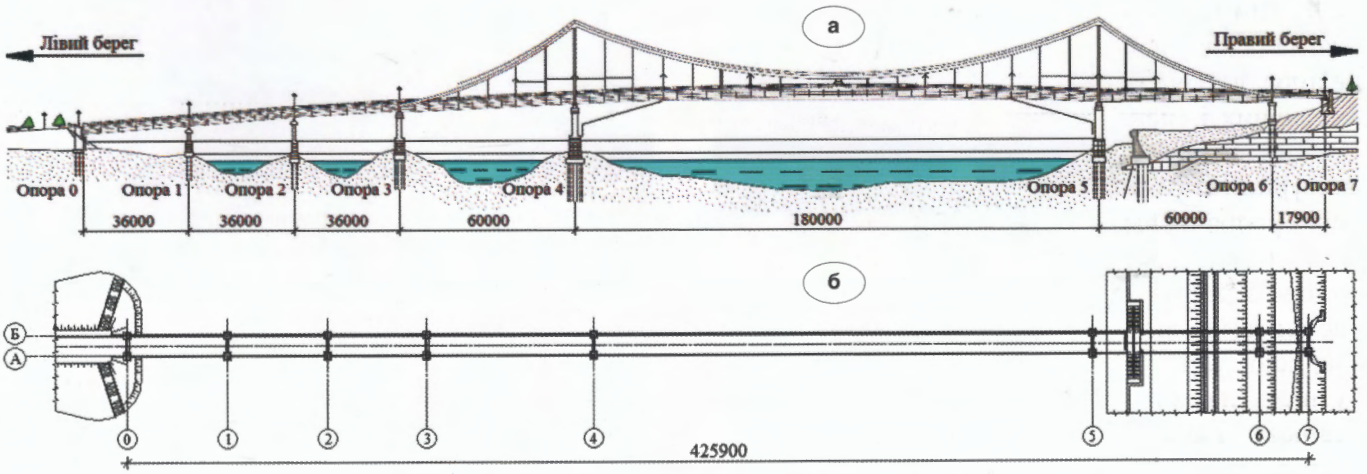


Рис. 2. Парковий міст через р. Дніпро в м. Києві:
а – поздовжній переріз; **б** – план

Результати обстеження конструкцій моста. На початку серпня 2019 року на Парковому мосту сталася надзвичайна подія, а саме – вивалилася частина бетону баласту та залізобетонних блоків противаги біля опори № 3. З огляду на це, у жовтні–листопаді 2019 року було проведено спеціальне обстеження конструкцій, за результатами якого встановлено наступне.

Балка жорсткості. Основним дефектом балки жорсткості є прогресуюча корозія металу головних балок, вертикальних та горизонтальних в'язей у місцях просочування води (влітку) і розчинів агресивних протиожеледних соляних сумішей (взимку) з пішохідної частини: це місця біля негерметичних люків, деформаційних швів, підвісок висячого прогону та зі зруйнованих водовідвідних трубок. Особливу увагу треба звернути на майже повне корозійне руйнування окремих в'язей (рис. 3), а також на те, що вперше за довгий час експлуатації моста (нагадуємо, що міст був відкритий у 1957 р.) виявлено наскрізну корозію в стінках головних балок (рис. 4).



Рис. 3. Майже повністю зруйнована корозією в'язь



Рис. 4. Наскрізна корозія в стінці головної балки



Рис. 5. Обвалені залізобетонні елементи противаги біля опори № 3



Рис. 6. Зруйнована в'язь балок противаги

Противаги. Внаслідок руйнування металоконструкцій кріплення балок противаги біля опори № 3 у напрямку лівого берега відбулося вивалювання шматків бетону баласту та залізобетонних блоків противаги загальним об'ємом близько 40 м^3 (рис. 5). Підкреслимо, що основним дефектом, або іншими словами чинником, що зумовив це руйнування, є корозія і обрив елементів в'язі, яка забезпечувала суцільність конструкції (рис. 6).

Щодо інших металоконструкцій кріплення противаги вкажемо на те, що в самих балках противаги була виявлена значна виразкова корозія металу, що місцями призвела аж до утворення отворів у стінках балок. З огляду на наведене є цілком зрозумілим, що частини блоків противаги та баласту, які ще залишилися на балках противаги в напрямку від опори № 3 до лівого берега, перебувають в аварійному стані під загрозою падіння (рис. 7).

На відміну від зазначеного, конструкції противаги біля опори № 6 поки що перебувають у задовільному технічному стані і не потребують ремонту.

Однак у будь-якому випадку, задля відновлення належного технічного стану пішохідного моста в цілому та ліквідації наявної аварійної ситуації зокрема необхідно відновити зруйновані елементи противаг за окремо розробленим проектом.

Залізобетонні плити пішохідної частини моста мають дефекти, які знижують несну здатність і довговічність споруди, а саме: вилуговування бетону у вигляді сталактитів, мережа тріщин по плиті, відсутність захисного шару бетону, оголення арматури (рис. 8).



Рис. 7. Залізобетонні елементи противаги перебувають під загрозою падіння



Рис. 8. Вивалення захисного шару бетону в плиті пішохідної частини. Арматура оголена і кородує



Рис. 9. Відсутній дерев'яний настил оглядових проходів



Рис. 10. Порушене антикорозійне покриття на внутрішній поверхні пілона

Оглядові проходи перебувають у незадовільному стані: майже скрізь відсутній дерев'яний настил (рис. 9), зруйнована огорожа із захисної сітки, місцями дерев'яний настил нагромаджений купою, що унеможливлює прохід.

Кріплення комунікацій та знаків судноплавства. За результатами візуального обстеження вузлів кріплення знаків судноплавної сигналізації до прогонової будови моста було виявлено корозію та відсутність антикорозійного захисту. Кріплення кабелів також зазнали руйнівної дії корозії, місцями навіть до виникнення дір у металі. Вузли кріплень труб водогону, каналізації та газопроводу у задовільному стані.

Ланцюги висячих прогонів. Металоконструкції ланцюгів висячих прогонів моста в цілому перебувають у задовільному стані, проте були виявлені й деякі дефекти: відсутність окремих заклепок у вузлах стиків ланцюга (дефект зафіксований і не усунений з моменту будівництва), засміченість у місцях кріплення ланцюга до прогонової будови.

Підвіски. Металоконструкції підвісок, за винятком двох, теж у задовільному стані. При цьому виявлені наступні дефекти підвісок: відсутність заклепок у з'єднаннях, щілинна корозія, недостатність зварних швів.

Пілони. Порушене антикорозійне покриття на внутрішніх поверхнях пілонів (рис. 10), у місцях опорних частин, там же виявлено бруд і сміття, відсутні деякі заклепки у вузлах з'єднань із ланцюгом та наявна деформація фасонки.

Перильна огорожа в цілому має задовільний стан. До незначних дефектів можна віднести: перекіс тумби парапету та тріщину в стійці перил.



Рис. 11. Корозія водовідвідних трубок



Рис. 12. Тимчасовий настил на блоках противаг, влаштований до моменту ліквідації аварійної ситуації на мосту

Пішохідна частина загалом перебуває в задовільному стані, але виявлені наступні дефекти: водовідвідні трубки у 30 % місць відсутні, а окремі трубки вражені глибокою корозією (рис. 11), поліуретанове покриття має незначні пошкодження, а саме – невеликі дірки та тріщини. До того ж внаслідок аварійної ситуації з противагами на мосту встановлені залізобетонні блоки на опорі № 3 для гасіння від'ємної реакції (рис. 12). На пішохідній частині утворилось підвищення, яке обладнане додатковою перильною огорожею та пандусами.

Опори та опорні частини. При обстеженні опор моста було виявлено замокання бетонних поверхонь та укосів опор № 6 та № 7, вилуговування бетону ригелів опор, руйнування перильної огорожі площадок на опорах (рис. 13).

Всі підферменники опор моста перебувають у задовільному стані крім підферменників на опорах № 4 і № 6, бокові грані яких мають відколи бетону.

В опорних частинах є окремі місця з корозійними пошкодженнями металу елементів опорних частин (рис. 14), також пошкоджені або відсутні елементи захисних кожухів опорних частин. Кути нахилу катків на опорах є близьким до розрахункових.

Підводне обстеження опор показало, що руслові опори моста не мають розмивів та пошкоджень кам'яної обкидки, за виключенням опори № 4, з верхового боку якої кам'яна обкидка пошкоджена в результаті навалу судна у 2017 р. [1]. Тому обкидку необхідно якнайшвидше відновити.

Аналіз результатів проведеного обстеження засвідчив, що виявлені основні дефекти конструк-



Рис. 13. Руйнування корозією перильної огорожі площадки опори



Рис. 14. Корозія елементів опорної частини

цій моста, чинники їх виникнення та розвинення, є наслідками недотримання нормативних термінів проведення необхідних ремонтних робіт (що може бути пов'язано як з недостатністю, так

і відсутністю належного їх фінансування). Виявлені дефекти негативно впливають на довговічність конструкцій, знижують безпеку та комфортність руху пішоходів по мосту, а у випадку з частковим руйнуванням конструкцій противаг знижують несну здатність моста.

За результатами обстеження та виконаних розрахунків відповідно до [2] основні елементи моста віднесено до наступних експлуатаційних станів: пішохідна частина – стан 2 (обмежено справний); прогонова будова – стан 5 (непрацездатний); опори та опорні частини – стан 3 (працездатний); оглядові проходи – стан 5 (непрацездатний). В цілому ж за рейтингом основних конструктивних елементів міст перебуває у стані 5 – непрацездатний.

З урахуванням наведених вище результатів спеціального обстеження та з метою гарантування подальшої безпечної експлуатації моста й недопущення аварій, необхідно невідкладно виконати ремонтні роботи із усунення всіх вище описаних дефектів, а особливо – ремонт противаги біля опори № 3 за окремо розробленим проектом. Причому до завершення будівельних робіт із відновлення конструкцій противаги експлуатація моста можлива тільки за умови постійного моніторингу технічного стану його конструкцій і лише в обмеженому режимі, який передбачає значне зменшення навантаження від натовпу з 400 кгс/м^2 до 100 кгс/м^2.

При цьому слід звернути увагу ще на один важливий факт. Порівняння результатів даного обстеження з останнім обстеженням, яке було проведено у 2017 р. [1], свідчить про збільшення корозійних пошкоджень металу практично всіх конструктивних елементів мостової споруди. До речі, про можливість саме такого негативного розвитку подій йшлося раніше у статті [1]. Отже Парковий пішохідний міст через р. Дніпро на Труханів острів у м. Києві наразі потребує термінового проведення ремонтних робіт для подальшої безпечної експлуатації.

[1] *Шимановський О.В., Котлубей Д.О., Сташук П.М.* Парковий пішохідний міст через р. Дніпро в м. Києві. Технічний стан // Промислове будівництво та інженерні споруди. – 2019. – № 2. – С.19 – 23.

[2] 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 04.02.2020 р.

УКРАИНСКИЙ ЦЕНТР СТАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

VIII НАЦІОНАЛЬНА КОНФЕРЕНЦІЯ УЧАСНИКІВ РИНКУ СТАЛЕВОГО БУДІВНИЦТВА

Конференція відбулася 25 лютого ц.р. за участі народного депутата, заступника голови комітету Верховної Ради України з питань організації державної влади, місцевого самоврядування, регіонального розвитку Олени Шуляк.

Основним завданням конференції було показати основні конкурентні переваги застосування у будівництві несних та огороджувальних сталевих конструкцій та представити якісний контент для аудиторії конференції: замовників, девелоперів, архітекторів, конструкторів та учасників ринку.

Серед проблем, що розглядались на конференції, наступні:

- Конкурентна вартість сталевих каркасів: чому це можливо?
- Зміни в питаннях вогнезахисту конструкцій: нові можливості для Замовників будівництва.
- ТиповеТЗ на проектування для Замовника як можливість скоротити терміни та знизити вартість сталевих конструкцій.
- Робота з консорціумом: перевага для Замовників.
- Проектний інжиніринг в інтересах Замовника.
- Контроль ЗМК Замовником; акцент на якості та поставці у встановлений термін.
- BIM і фінансовий результат проекту.
- Металурги для Замовників та учасників галузі.
- Lean менеджмент на ЗМК: вплив на задоволеність Замовників будівництва.
- Сучасник coilcoating – кольорова свобода архітектора.

РОЗРОБЛЕННЯ ПРОТИАВАРІЙНИХ ЗАХОДІВ ДЛЯ ПАРКОВОГО ПІШОХІДНОГО МОСТА ЧЕРЕЗ р. ДНІПРО НА ТРУХАНІВ ОСТРІВ У м. КИЄВІ



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

Парковий пішохідний міст через р. Дніпро на Труханів острів (рис. 1) без перебільшення можна назвати однією зі знакових споруд м. Києва. Виразний силует моста став одним із традиційних символів панорами міста. Парковий міст користується великою популярністю серед мешканців та гостей столиці, особливо у літню пору року, коли значно збільшується кількість відпочиваючих. З огляду на це, належний технічний стан моста є запорукою безпеки великої кількості людей.

Як відомо, другого серпня 2019 року на Парковому мосту сталася непередбачувана подія – внаслідок руйнування металоконструкцій кріплення балок противаги біля опори № 3 у напрямку лівого берега відбулося відвалення частини монолітного бетону баласту та залізобетонних блоків противаги загальним об'ємом близько 40 м^3. Враховуючи той факт, що залізобетонні противаги гасять від'ємні реакції на кінцях висячої прогонової будови, така подія поставила під загрозу безпеку експлуатації моста в цілому. Причини та наслідки цієї події детально висвітлені авторами у попередній статті цього ж номера журналу.

Слід зазначити, що підприємство по ремонту і утриманню мостів і шляхів м. Києва «Київавтошляхміст» оперативно відреагувало на аварійну ситуацію та негайно вжило необхідних запобіжних заходів. Ці заходи полягали в тому, що на пішохідну частину прогонової будови біля опори № 3, саме там де відбулося часткове руйнування противаги, задля компенсації її втраченої ваги тимчасово були укладені залізобетонні плити привантаження. А створене за рахунок цього підвищення заради збереження комфорту пересування пішоходів обладнали додатковою перильною огорожею та пандусами, пофарбованими у кольори, тотожні забарвленню моста.

ТОВ «Укрінсталькон ім. В.М. Шимановського» з метою ліквідації наявної аварійної ситуації та відновлення зруйнованих конструкцій противаги терміново було розроблено проект

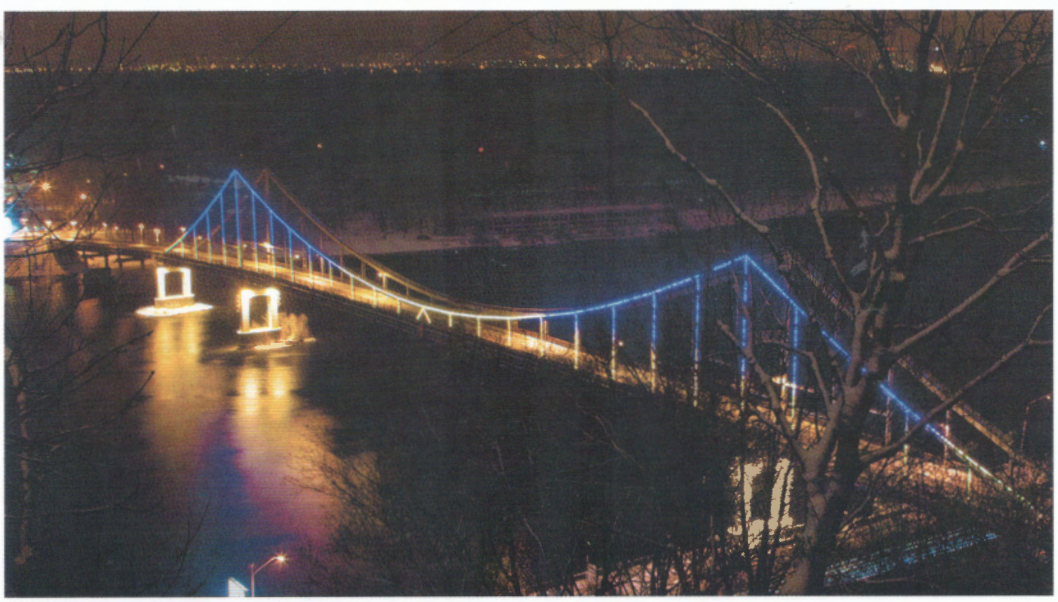


Рис. 1. Загальний вигляд Паркового моста через р. Дніпро у м. Києві

 © Шимановський О.В., Шалінський В.В.

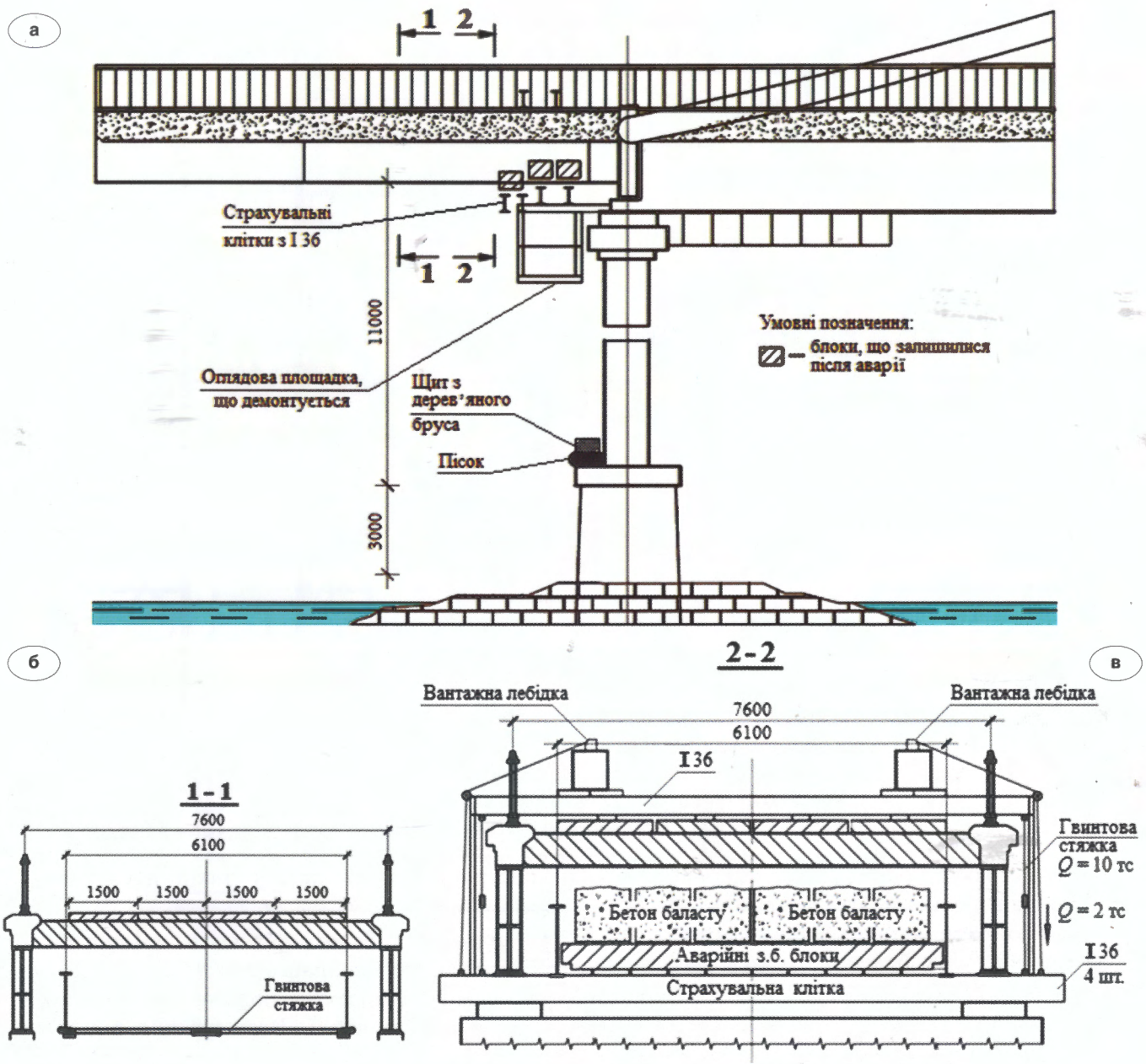


Рис. 2. Перший та другий етапи протиаварійних заходів:
а – загальна схема; **б** – розріз 1—1; **в** – розріз 2—2

відповідних протиаварійних ремонтних заходів, здійснення яких передбачено провести у чотири послідовних етапи.

Насамперед заплановано проведення комплексу підготовчих робіт із розчищення знівеченої противаги, який передбачає видалення залишків бетону та металу. З огляду на наведене спеціально наголосимо, що оскільки ця, на перший погляд «проста», робота пов'язана з підвищеною небезпекою для працівників при розбиранні вкрай нестійких решток конструктивних елементів, то при її виконанні необхідно суворо дотримуватись вимог техніки безпеки (рис. 2).

При цьому черговість виконання робіт встановлена наступною:

- захист конструкцій тіла опори від падіння уламків баласту (монолітного бетону та залізобетонних блоків) зруйнованої противаги, що знаходяться в ній після аварії, шляхом укладання мішків із піском і захисного щита з дерев'яного бруса;
- влаштування риштувань (пересувного візка) з метою ремонту противаги (рис. 3, на якому чорним кольором показані конструкції візка, а сірим – елементів мостового прогону);

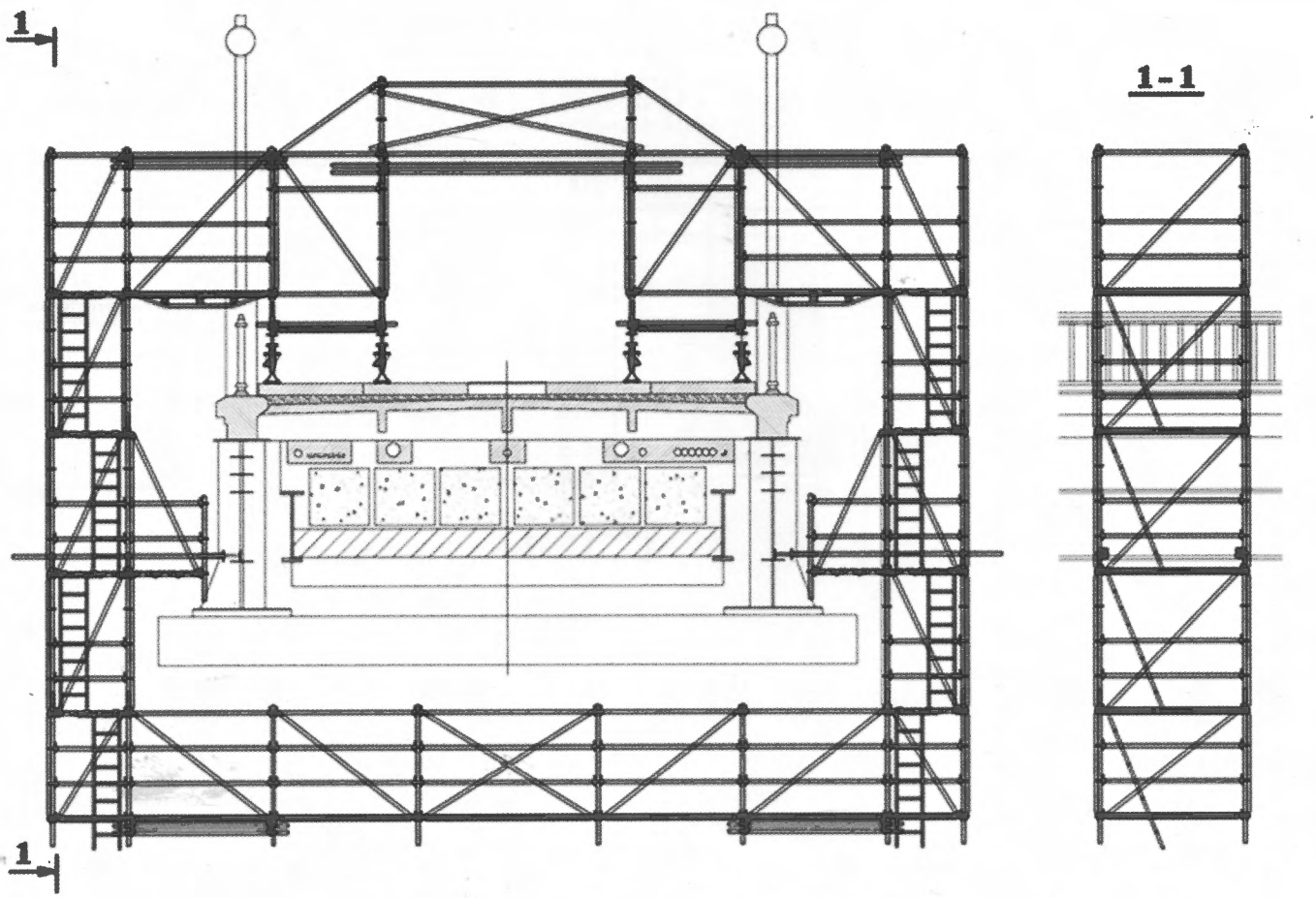


Рис. 3. Конструкція пересувного візка для ремонтних робіт

- вжиття страхувальних заходів щодо забезпечення контрольованого демонтажу уламків баласту, а саме: встановлення гвинтових стяжок до існуючих балок противаги; демонтаж оглядової площадки, яка заважає виконанню робіт; монтаж лебідками страхувальних кліток із двотаврів № 36 під залізобетонні блоки, що залишилися в противазі після аварії;
- розбирання залишків баласту противаги.

Слідом за тим проводиться демонтаж решти баласту противаги, що залишився після аварії, в наступному порядку:

- влаштування робочих місць задля демонтажу уламків баласту та проведення робіт із підсилення балок противаги;
- звільнення кінців балок противаги від кріплень до головних балок прогонової будови моста;
- розведення кінців балок противаги шляхом зменшення натягу гвинтової стяжки;
- розбирання залишків монолітного бетону баласту та рубання залізобетонних блоків.

Після цього, на третьому етапі, здійснюється підсилення існуючих балок та монтаж нових конструкцій противаги у такій послідовності (рис. 4):

- підготовка балок противаги до підсилення (видалення залишків старої конструкції й приведення в проектне положення конструкцій, що залишаються). Влаштування риштувань (пірса) біля опори № 3 із метою складування нових конструкцій противаги, які доставляються до місця монтажу баржами;
- підсилення балок противаги;
- монтаж нових конструкцій противаги з використанням кранів типу «Піонер» (або лебідок) вантажопідйомністю 0,5 т.

Що ж стосується прикінцевого етапу ремонту, то на ньому виконується бетонування противаги шляхом влаштування між її новими несними металоконструкціями монолітних залізобетонних плит завтовшки 400 мм (призначення яких, поміж іншим, полягає в сприйнятті ваги вище розташованого масиву монолітного бетону), на які, в свою чергу, після набрання монолітним бетоном плит необхідної міцності, вкладаються решти бетону (рис. 5).

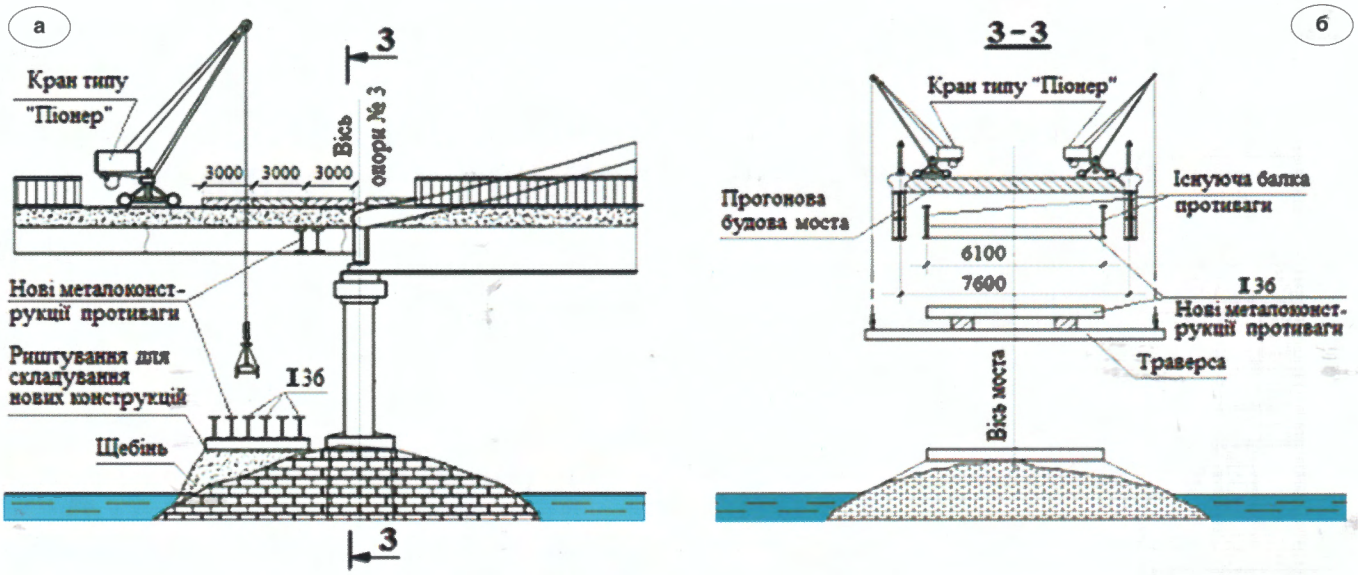


Рис. 4. Третій етап протиаварійних заходів:
а – загальна схема; **б** – розріз 3—3

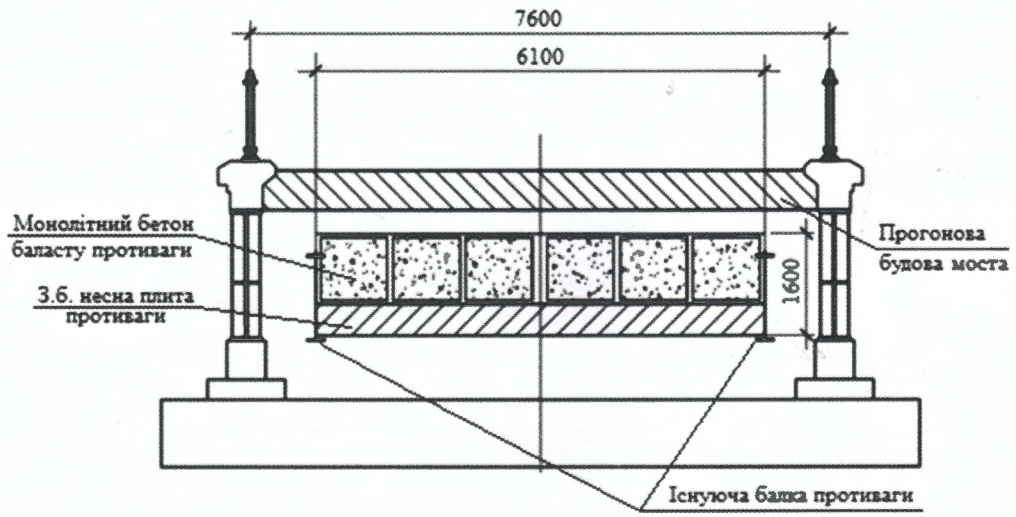


Рис. 5. Четвертий етап протиаварійних заходів

А тепер привернемо увагу до одного важливого інженерно-технологічного рішення, використаного у проекті виконання ремонтних робіт при влаштуванні тимчасових пересувних риштувань (пересувного візка). Проектом передбачено, що візок може рухатися вздовж моста по спеціальних тритрубних фермах, встановлених на пішохідній частині моста. А його (рішення) головною особливістю є те, що монтаж візка з окремих елементів ведеться найпростішим способом – зверху (з пішохідної частини) до низу (під головні балки моста), утворюючи таким чином замкнений контур. При цьому найважливішим тут є те, що монтаж візка не потребує улаштування додаткових тимчасових опор або підіймальних механізмів, що не тільки значно пришвидшує виконання робіт, а й зменшує їхню вартість.

Після виконання всіх відновлювальних робіт, передбачених проектом ТОВ «Укрінсталькон ім. В.М. Шимановського», Парковий пішохідний міст буде вилучено з переліку аварійно небезпечних мостів, а його вантажопідйомність набуде проектних показників.

У той же час слід звернути увагу на те, що крім виконання вище перелічених ремонтних заходів також необхідно усунути всі інші наявні дефекти конструкцій моста, які були виявлені за результатами обстеження і викладені авторами у попередній статті. Можливо, на перший погляд, ці дефекти не здаються такими небезпечними, проте у майбутньому можуть створити серйозні проблеми під час експлуатації моста.

Надійшла 18.02.2020 р.

УДК 69.059.7 (69.059.3, 574)

ІНСТРУМЕНТИ АНАЛІЗУ ВАРТОСТІ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ПРИ ВІДНОВЛЕННІ БУДІВЕЛЬ ПІСЛЯ ПОЖЕЖІ НА ПРИКЛАДІ БУДИНКУ СПІЛОК У м. КИЄВІ

Стаття присвячена відновленню будівель після пожежі. Наведено інструменти вибору раціональних рішень на основі аналізу ризиків і переваг; вартості життєвого циклу та потенціалу глобального потепління і приєднаної енергії. Показано застосування інструментів на прикладі відновлення після пожежі Будинку спілок на майдані Незалежності у Києві.

The article deals with the reconstruction of buildings after a fire. The tools for choosing rational solutions based on the risk and benefits analysis, life cycle costing and the global warming potential and embedded energy are presented. The application of tools on the example of reconstruction after the fire of the Trade union house on the Independence Square in Kyiv is shown.

Ключові слова: реконструкція, аналіз вартості життєвого циклу, капітальний ремонт, пожежа, життєвий цикл, сталеві конструкції, підсилення, потенціал глобального потепління, приєднаний вуглець, сталий розвиток.



А.С. Білик
доцент, сертиф. інж. Київського національного університету будівництва і архітектури, голова інж. центру «Український Центр сталевого будівництва», к.т.н.



А.В. Шупик
магістр, сертиф. інж., асистент кафедри МДК Київського національного університету будівництва і архітектури



А.А. Худайберенов
магістр, інженер Українського Центру сталевого будівництва

Пожежа – це найгірше, що може статися з будівлею. Фактори наслідків пожежі включають обвалення і прогини конструкцій, приховані дефекти, нерівномірну температурну дію, розширення і зміни геометрії елементів, тріщини від розширення газів, перегартування арматури і металевих профілів, хімічні зміни (дегідратація цементного каменю), осідання продуктів горіння на поверхні конструкцій, просочення ними елементів і матеріалів (що ускладнює оздоблювальні роботи) тощо.

Після пожежі в будівлі перед її власником постає проблема вибору оптимальної стратегії – знести будівлю і збудувати наново чи здійснювати ремонтно-відновлювальні роботи. Первинним інструментом для раціонального вибору правильної стратегії є оцінка ризиків і переваг. При цьому міждисциплінарною аналітичною групою експертів виписуються бонуси і недоліки кожної стратегії, після чого оцінюється їх кількість, можливо із заданими ваговими коефіцієнтами [1, 2]. Кожен випадок оцінки безумовно індивідуальний. Проте можна визначити параметри, які притаманні загальному випадку пожежі в будівлі. При стратегії відновлення можливі наступні ризики:

- Приховані дефекти, що можуть проявлятися навіть після проведення ремонтних робіт.
- Невизначеність інвестицій на початковому етапі.
- Іміджевий спадок «згорілої будівлі», моральне старіння.
- Існуючі конструктивні і архітектурні форми можуть перешкоджати реалізації оновленої функції будівлі, наприклад, не відповідати теплотехнічним вимогам, нормативним навантаженням тощо.
- Після відновлення можливе здорожчення експлуатації через витрати на опалення, необхідність періодичного обстеження конструкцій тощо.

У той же час, стратегія відновлення має такі переваги:

- Збереження історичності будівлі, що надає культурні і соціальні бонуси.
- У будівлі вже готовий каркас і огороджувальна оболонка, що можуть потребувати модернізації, але дозволяють зберегти ресурси.
- Зменшена кількість етапів реалізації при відновленні дає змогу значно скоротити цикл проекту.

- Збереження землеволодіння, так як згоріла лишається будівлею, в той час як демонтаж вивільнює земельну ділянку, що в українських умовах є ризикованим.
- Менші навантаження на довкілля, пов'язані насамперед із малою кількістю відходів та скороченим терміном відновлення.

Інша стратегія – знесення старої будівлі і подальше нове будівництво – має насамперед такі ризики:

- Втрачається історичність, частина історії міста. Природний консерватизм спільнот також спричиняє соціокультурні ризики неприйняття нового і протестів. Окрім того, подовжений вплив будівельних процесів негативно позначається на сусідній забудові.
- Можлива втрата землеволодіння, особливо якщо документи на земельну ділянку оформлені не в повному обсязі (особливість вітчизняної кон'юнктури).
- Значні навантаження на довкілля – збільшені обсяги сміття, приєднаної енергії та інших викидів через тривалий час реалізації та більшу кількість процесів на майданчику.
- Довший термін спорудження призводить до значних адміністративних і фіскальних витрат, а також більших виплат по кредитних коштах.

Перевагами стратегії знесення будівлі та подальшого нового будівництва є те, що:

- З'являється можливість збільшення площі за рахунок розширення нової будівлі порівняно із відновленням існуючої.
- У новій будівлі можливе покращення експлуатаційних показників і комфортності, символізм нового може бути привабливим для споживача.
- Стає здійснюваним встановлення нового оснащення, обладнання та розведення комунікацій, які могли бути утрудненими у існуючій будівлі.

Будинок спілок у м. Києві – 8-поверхова будівля із технічним поверхом, баштою та підвалом, а також прибудованим приміщенням – збудована у стилі модернізму на місці споруди Київського дворянського зібрання у 1978–1980 рр. Будівля фасадами виходить на майдан Незалежності та на вул. Хрещатик, має двоповерхову прибудову актової зали із боку дворового фасаду. Центральні входи до будівлі влаштовані із головного фасаду з боку майдану Незалежності, додаткові – з дворового фасаду. Будівля побудована за проектом «Будинок спілок на площі Калініна в м. Києві», який розробив Державний інститут з проектування «Київпроект» у 1979 р. (арх-ри Малиновський О. та Комаровський О., інж.-констр. Паніч М.). Архітектурною особливістю будівлі стала фасадна ордерна система та висока башта на куту головного фасаду з електронним табло.

Реконструкція будівлі за час експлуатації не виконувалась, проте кінцевий проект дуже відрізнявся від початкового, зокрема появою і видозміною башти, великої актової зали та прибудови зі сторони вул. Костьольна. Пізніше (через 3 роки) зі сторони Європейської площі через деформаційний шов була прибудована окрема будівля Київських профспілок, що змінило її початковий стан, зокрема вплинуло на шляхи евакуації, їх розміри, виходи і освітленість, навантаження на різні частини будівлі. Будівля не відноситься до пам'яток архітектури, проте належить до буферної зони Ансамблю споруд Софії Київської, «місто Ярослава», Хрещатик, сусідня забудова «підкови» майдану Незалежності також зумовлює формотворення і абрис будівлі.

У ніч із 18 на 19 лютого 2014 року під час відомих подій будівля Будинку спілок була підпалена. Внаслідок пожежі частина несних залізобетонних конструкцій каркаса зазнала пошкоджень – розтріскувань, відлущень бетону, зміни геометрії положень плит перекриттів, деякі плити частково або суцільно обвалились на нижче розташовані перекриття. Попереднє візуальне обстеження після пожежі було виконано 23 лютого 2014 року співробітником КНУБА, к.т.н., доц. Біликом А.С. Повне технічне інструментальне обстеження та інженерно-гідрогеологічні вишукування, виконані за участі КНУБА у 2014–2015 рр., дали змогу визначити технічний стан будівлі.

На основі цих даних та інших критеріїв було здійснено аналіз ризиків і переваг двох основних стратегій – відновлення і знесення. Основними факторами вибору стали можлива втрата землеволодіння при знесенні, збереження історичності при відновленні та висновки вишукувань, що визначили принципову можливість і доцільність відновлення конструкцій будівлі тощо. Відтак внаслідок зваженої оцінки ризиків і переваг було прийнято рішення про стратегію відновлення об'єкта.

Спочатку визначили первинні заходи із ліквідації наслідків пожежі і укріплення конструкцій, так як на багатьох елементах була присутня кіптява, а поверхи перевантажені сміттям. Шляхом обстеження було встановлено, що пошкоджено біля 1/3 плит перекриттів у будівлі, а окремі ригелі і колони потребують підсилення. Балки та плити покриття актової зали виявилися неремонтопридатними. Також на будівлю вплинуло спорудження підземного ТРЦ «Глобус» під час реконструкції майдану Незалежності в 1999–2001 рр., що призвело до суттєвого осідання частини будівлі – понад 20 см.

Основні конструктивні прийоми, які були застосовані при відновленні будівлі:

- Підсилення колон сталевими обоймами та стін-діафрагм сталевими в'язями.
- Горизонтальні сталеві в'язеві системи.
- Приставні сталеві стійки.
- Підсилення: перекриттів сталевими балками і збільшенням перерізів; ригелів сталевими розкосами з метою зменшення прогонів; каркаса сталевими підкосами і в'язями.
- Улаштування і розширення, підсилення просвітів – врізні перемички і рами замкнутого контуру.
- Заміна пошкоджених плит перекриттів на монолітні по профнастилу.
- У місцях заміни і доповнення перекриттів застосовані ефективні композитні балки.
- Здійснено підсилення і дублювання консолей металевими елементами.
- Заповнення простору фасаду із перехопленням підвісних поверхів (рис. 1).

Для збереження фасадів від атмосферних впливів і убезпечення перехожих було виготовлено найбільший банер в Україні площею 4400 м^2. Спеціальні заходи були також вжиті для урахування і ліквідації факторів пожежі, а також з метою підвищення вогнестійкості конструкцій, а саме:

- першочергове укріплення аварійних елементів;
- очищення каркаса;
- спеціальні закріплювальні суміші;
- композитні перекриття;
- конструктивний вогнезахист;
- диференційований розрахунок, ресурс існуючих елементів за [3];
- витримано пожежні норми, як для нового будівництва;
- обрана безпечна технологія ведення робіт (рис. 2).

Обстеження засвідчило низьку фактичну вогнестійкість залізобетонних багатопорожнинних плит перекриттів і попередньо напружених балок в умовах пожежі, що варте окремого дослідження.

Для підвищення продуктивності і швидкості реалізації, у проекті були застосовані ефективні методи ведення робіт, а саме: підсилення конструкцій проведене зверху вниз для безпеки, щоби не було ризиків обвислих елементів; укрупнення і блоковий монтаж конструкцій для швидкості виконання робіт; конструкції було розбито на раціональні модульні відправні марки відповідно до обмежень і стиснених умов об'єкта; застосовані перекриття по профнастилу як незйомній опалубці, що також прискорило роботи.

Загалом у будівлі було замінено 348 плит перекриття, підсилено 179 балок, виготовлено і змонтовано 144 тонни металоконструкцій, застосовано 5333 м^2 будівельних риштовань.

Окрім конструктиву, ґрунтовно було перероблено функціонал і архітектуру будівлі:

- Будинок розділено архітектурно і технологічно на два незалежних юніти, що пов'язано із структурою кінцевої власності (1/3 площ відійшла інвестору – компанії «ІТТ-Нерухомість»).
- Здійснено глибинне перепланування усіх приміщень.
- Добудовано сходи Н1 та Н4 в кожному юніті, внутрішні фасадні сходи між 1 і 2 поверхами.
- Влаштовано додаткові пасажирські і протипожежні ліфти, ліфти для маломобільних груп населення. Через обмежені умови існуючого каркаса вперше у вітчизняній практиці застосовано протипожежний ліфт із відкриттям дверей «вперед-і-вбік».
- Замінено аварійні балки і покрівлю актової зали із улаштуванням технічного поверху без збільшення висоти будівлі.
- Проведено повне 3D сканування головного фасаду для визначення масштабів осідань будівлі;
- Замість старого фасадного опорядження (травертин по тиньку) застосовано новий вентильований фасад із ефективним мінераловатним утеплювачем та опорядженням із граніту (1 і 2 поверхи) та керамограніту (3–9 поверхи). Також було прибрано важкі засипки із перекриттів.
- Реалізовано заповнення простору фасаду із перехопленням підвісних поверхів.



Рис. 1. Основні конструктивні прийоми, які були застосовані при відновленні будівлі:

а – горизонтальні сталеві в'язеві системи; **б** – підсилення стін-діафрагм сталевими в'язями; **в** – підсилення перекриттів сталевими балками і збільшенням перерізів; **г** – підсилення ригелів сталевими розкосами з метою зменшення прогонів; **д** – улаштування і розширення, підсилення просвітів; **е** – підсилення і дублювання консолей металевими елементами; **є** – в місцях заміни і доповнення перекриттів застосовані ефективні композитні балки

- Непотрібні ґрадірні на покрівлі замінені на технологічні приміщення, за рахунок чого з'явилася можливість переоснастити 9-й поверх із технічного в офісний.
- Відновлена велика актова зала на 440 місць, а також влаштовано 4 конференц-зали різної місткості.



Рис. 2. Обрана технологія ведення робіт:

а – використання вогнестійких штукатурок для захисту колон; **б** – конструктивний вогнезахист підкосів гіпсокартонними листами; **в** – вогнезахист балок і нових внутрішніх сходів інтумесцентними покриттями; **г** – укрупнення і блоковий монтаж ферм актової зали з улаштуванням технічного поверху; **д** – технологічні конструкції для ведення робіт із підсилення зверху вниз

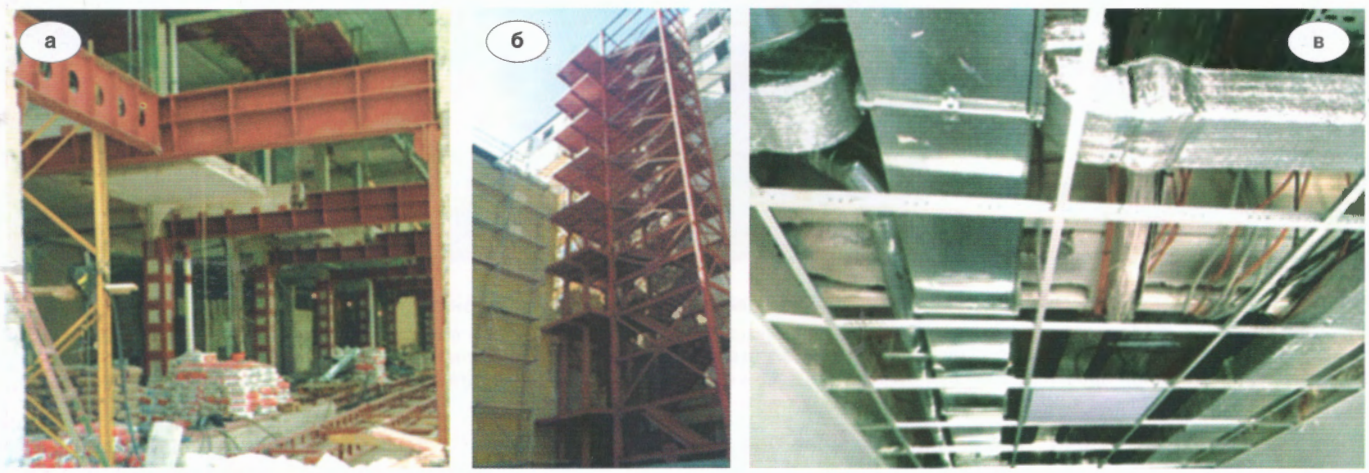


Рис. 3. Методи проведення робіт:

а – ефективні балки перекриттів з перфораціями для пропуску комунікацій; **б** – проходження мереж під підсиленими балками у коридорах будівлі; **в** – сходи Н1, прибудовані в межах плями забудови

- Частково вдалося врятувати травертин внутрішнього опорядження будівлі. Після реставрації методом резинатури, його використано в інтер'єрі головного холу.
- Враховано комфорт інклюзивних груп населення (пандуси із підігрівом, підіймачі, ліфти, санвузли тощо).
- Збільшено площі ліфтових холів, у яких можливі місця для переговорів і коворкінгу.
- Влаштована експлуатована тераса на прибудові.
- Влаштовано нові та розширено існуючі віконні і дверні просвіти, вікна і двері у будівлі підібрано із максимальними експлуатаційними і теплотехнічними показниками.
- Впорядковано схил по вул. Костьольній із улаштуванням озеленення, велопаркування і зарядних станцій для електромобілів.

У будівлі також збільшено корисну площу без виходу за межі забудови і витримування граничної висоти, зокрема за рахунок наступних заходів: замість подвійних перегородок застосовано одинарні, компактно засклено галерею головного фасаду, істотно перетворено технічний поверх і підвал, споруди ґрадірень на покрівлі замінено на місця і приміщення для технічного обладнання. Тобто, у рамках капітального ремонту загальна площа збільшилась із 17607,8 м^2 до 20248,4 м^2, тобто майже на 15 %.

Таким чином завдяки своєрідній реінкарнації було врятовано будівлю Будинку спілок після пожежі, виправлено недоліки, оновлено функціонал. Вдалося досягти відносно швидкого введення в експлуатацію, при тому були збільшені площі, покращені надійність і зовнішній вигляд будівлі (рис. 4).

Розглянемо другий застосовний інструмент, який дозволяє прийняти оптимальну стратегію, це аналіз життєвого циклу (LCA). За визначенням LCA – це методологія, спрямована на оцінку економічних і екологічних наслідків людських дій. Комплексні переваги і недоліки проекту проявляються повною мірою при використанні критеріїв собівартості в ділі, приведених витрат і вартості життєвого циклу будівлі – від здійснення інженерних вишукувань, проектування, будівництва, експлуатації, реконструкції, капітального ремонту до знесення. Аналіз вартості життєвого циклу зазвичай включає, окрім собівартості, витрати на експлуатацію і відрахування, а також механізми повернення інвестицій від оренди тощо.

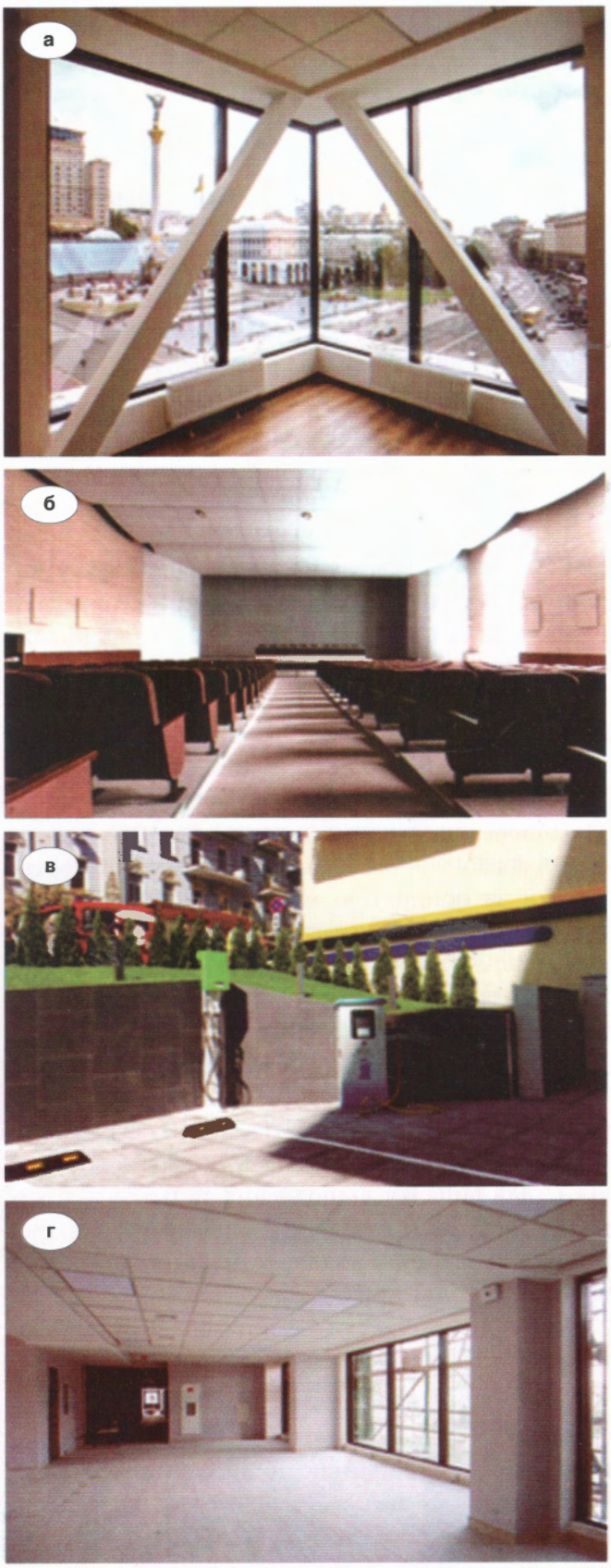


Рис. 4. Оновлений функціонал будівлі:
а – підсилення консолей сталевими підкосами у кутових іміджевих кабінетах; **б** – оновлена велика актова зала на 440 місць; **в** – впорядкований схил по вул. Костьольній із улаштуванням озеленення, велопарковки і зарядних станцій для електромобілів; **г** – збільшено ліфтові холи

Таким чином, було проаналізовано дві альтернативи: відновлення будівлі із фактичними і прогнозованими вартісними показниками та варіант знесення і відбудови нового монолітного каркаса.

Огляд моделей життєвого циклу для будівель [4, 5, 6] показав, що найбільш застосовною наразі, незважаючи на недоліки, є NPV модель. У даній роботі вжито модифіковану функцію життєвого циклу у формі прибутку на основі рівняння Хаджепура та Грігсона [7, 8]:

$$NPV = \sum_{k=1}^{t} \frac{RO_k}{(1+I)^{k-1}} + R_a - \sum_{k=1}^{t} \frac{C_o}{(1+I)^{k-1}} - \frac{C_r}{(1+I)^t} - C_c, \quad (1)$$

де NPV – чисте теперішнє значення прибутку; k – лічильник років; t – термін циклу експлуатації будівлі після відновлення або знесення і нового будівництва, прийнято 30 років; C_c – собівартість у ділі на початок експлуатації; R – дохід за рік при повній оренді площ. Аналіз ринку показав, що на майдані Незалежності середня вартість оренди 1 м^2 становить 72$/місяць для комерційних площ 1 і 2 поверхів, а для офісних 3–9 – 25$/місяць; O_k – плаваюча річна ставка заповнюваності орендарями за прийнятою моделлю, що дійсна для центральної частини міста Київ, усереднено складає 75 %; I – прогнозована ставка інфляції, прийнята, за даними НБУ, 11 %, яка впливає на вартість при термінах більше 1 року. Загальна орендована площа (GLA) для обох варіантів прийнята 85 %, що в середньому відповідає дійсності; C_o – річні експлуатаційні витрати разом із фіскальними відрахуваннями, що експертно прийняті 1 % від C для випадку відновлення та 0,5 % – у випадку знесення і відбудови; C_r – витрати на реновацію наприкінці циклу, що прийняті для 14 % вартості будівлі при залізобетонному каркасі та 13 % – у разі відновлення за рахунок утилізованості і меншої ваги сталевого підсилення.

Слід зазначити, що в Україні наразі немає заводів із переробки залізобетонних виробів і не практикується інший спосіб знесення каркасних будівель, окрім як поелементне розбирання, що потребує особливої уваги для умов центру Києва.

Календарний графік для варіанта відновлення взято фактичний, згідно з процесами очищення конструкцій, підсилення по несному каркасу і огородження – термін будівництва склав 21 місяць. Аналогічний період, що охоплює розбирання існуючого залізобетонного каркаса, стін, викопування і демонтаж фундаментів, відповідні земляні роботи, улаштування нових фундаментів, монолітного каркаса та огородження, – складає 33 місяці при ефективному веденні робіт. Етапи прибирання сміття та опоряджувальний комплекс не враховуються, оскільки є однаковими за тривалістю для обох варіантів. Теоретична площа нової споруди аналога була обчислена із врахуванням об'єктивних обмежень майданчика щодо висотності і плями забудови. Прийняті такі межі моделі життєвого циклу:

- до уваги взято тільки каркас із фундаментами за припущення однакової відносної вартості забезпечення функціонала;
- порівняння здійснене із новим залізобетонним монолітним каркасом, який пораховано окремо;
- некількісні ризики не прийняті до уваги через складність та невизначеність їх врахування;
- інженерне оснащення та навантаження у будівлі прийняті принципово однакові для обох альтернатив;
- тривалість проектування та узгодження прийнята однаковою.

Для двох альтернатив на основі тривалості будівництва була підрахована собівартість на момент введення в експлуатацію з урахуванням недоотриманої оренди внаслідок пізнішого завершення. Економічні параметри альтернатив показані у таблиці.

Економічні параметри альтернатив

Показник на каркас	Сценарій	
	відновлення і реновація	демонтаж і нове будівництво
Загальна площа, м^2	20248,4	21260,8095
Металоємність сталі, кг/м^2	9,288	0,00
Металоємність армування, кг/м^2	5,700	35,60
Ємність бетону, м^3/м^2	0,064	0,45
Металоємність профлиста, кг/м^2	0,008	0,00
Капітальні витрати на каркас, C_c, $	1111329	4730826
Тривалість робіт по каркасу, міс	21	33
Термін прогнозу t, р.	30	
Додатковий прибуток R_a за рахунок швидкого введення, $	26040442	0
Частка витрат на реновацію каркаса наприкінці циклу C_r, %	13	14
NPV, $	277220009	263600582

Як видно із таблиці, капітальні витрати у випадку стратегії знесення і зведення нового каркаса більші ніж при стратегії підсилення існуючого каркаса більш ніж у 4 рази. Неотримання оренди від різниці строків реалізації проекту впливає на обчислення чистого прибутку в моделі життєвого циклу з урахуванням експлуатаційних показників і також показує ефективність відновлення будівлі.

Третім інструментом, застосовним у виборі оптимальної стратегії, є аналіз екологічних параметрів.

Одним із таких узагальнених параметрів є потенціал глобального потепління/Global warming potential та Приєднані енерговитрати/Primary energy [9, 10]. Потенціал глобального потепління (скор. ПГП, англ. Global warming potential, GWP) – коефіцієнт, що визначає ступінь впливу різних парникових газів на глобальне потепління. Ефект від викиду оцінюється за певний проміжок часу. Як еталонний газ узятий діоксид вуглецю (CO_2), ПГП якого дорівнює 1. Коефіцієнт ПГП був введений у 1997 р. у Кіотському протоколі. Основне рівняння GWP показує викиди на одиницю вуглецю:

$$GWP = 1 \cdot CO_2 + 1{,}9 \cdot CO + 25 \cdot CH_4 + 298 \cdot N_2O,$$

$$[g\ CO_2\text{-eq.}]. \qquad (2)$$

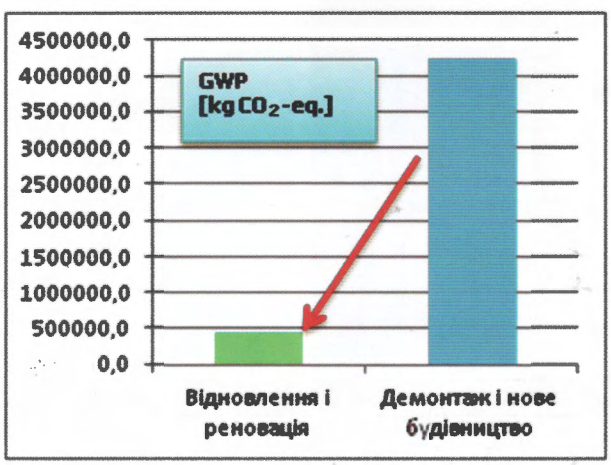
Окремо також була порахована первинна енергія із невідновлюваних джерел – PE (non- renewable), що приєднана до всіх матеріалів. Основним обмеженням даного дослідження є те, що в розрахунку враховувалися тільки потенціал глобального потепління і енерговитрати, приєднані до матеріалів каркаса. Показники GWP і PE, приєднані до робіт, додаткові витрати води тощо не бралися до уваги через складність обрахунку і меншу значущість у загальному сліді каркаса.

Дані щодо викидів на одиницю відповідного матеріалу прийняті згідно з стандартизованою базою даних для екологічних оцінок будівель Федеральним міністерством внутрішніх справ, будівництва та громад Німеччини ÖKOBAUDAT [11]. Це онлайн-платформа із наборами даних про життєвий цикл будівельних матеріалів, будівельних конструкцій, транспорту, енергії та утилізації. Дані, опубліковані в ÖKOBAUDAT, публічно доступні безкоштовно. Станом на 2019 р. у базі понад 1200 позицій, які відповідають стандарту DIN EN 15804, а також конкретні набори даних із екологічних декларацій про навколишнє середовище від різних компаній або асоціацій.

Результати обрахунків екологічних показників для двох альтернатив, що розглядаються, приведені на рис. 5. Можна побачити, що відновлення і реновація будівлі має в декілька разів менші приєднані викиди приведеного вуглецю та первинної енергії, аніж стратегія демонтажу каркаса і нового будівництва.

Варто окремо зазначити вжиті екологічні і енергоощадні заходи у проекті будівлі Будинку спілок:

- Понаднормове утеплення огороджувальних конструкцій.
- Поліпшено екоінфраструктуру (влаштовані зарядні пристрої для електромобілів, велопарковка).
- Впроваджено автоматизацію і диспетчеризацію інженерних систем.
- Встановлено ощадні системи опалення, вентиляції і кондиціонування.
- Застосовано енергоекономічне ЛЕД освітлення.



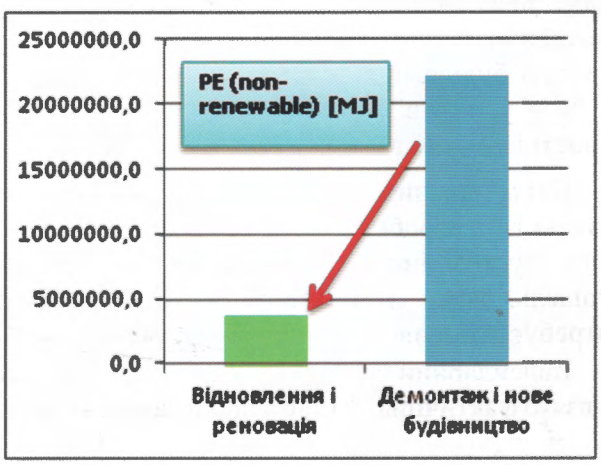


Рис. 5. Потенціал глобального потепління та приєднані енерговитрати при порівнянні сценаріїв на прикладі несного каркаса і огороджувальної оболонки Будинку спілок

- Збільшено природнє освітлення (вікна офісів, ліфтові холи).
- Влаштовано утеплення і гідроізоляцію цоколю та стін підвалу.
- Застосовано озеленення у якості візуального захисту і шумозахисту.
- Майже всі тимчасові металеві конструкції утилізовані в підсистеми фасаду та інтер'єрів.
- Диференційовані нетипові рішення підсилень без невиправданої уніфікації.
- Генпроектування і авторський нагляд включали контроль рішень на всіх етапах. Наприклад, вирішення огороджувальної оболонки вибірково контролювалося тепловізійною зйомкою, міцність бетону – склерометричним методом і т.п.
- Детально розроблена робоча документація. Так, зокрема, глибинне пророблення вузлів огородження і світлопрозорих конструкцій призвело до підвищеної звукоізоляції.
- При виборі рішень реконструкції застосовані інструменти оптимізації і аналізу життєвого циклу, описані частково у даній статті.



Рис. 6. Зменшення основних експлуатаційних витрат по факту в частині ФПУ

Вжиті заходи суттєво зменшили енерговитрати в будівлі по факту. При підрахунку за контрольний період 7 місяців, порівняно із еталонним 2012 р. до пожежі, грошові витрати експлуатуючої організації (за аналізом даних, наданих Господарським управлінням ФПУ) у доларовому еквіваленті скоротилися на 60 % (рис. 6). У абсолютних показниках, не прив'язаних до розцінок, фактичне скорочення становить від 12 % до 69 %.

Таким чином екологічні, енергоощадні заходи та методи оптимізації і ефективного проек-





Рис. 7. Фасад будівлі після пожежі 2014 р. до капітального ремонту







Рис. 8. Сучасний вигляд відновленої будівлі:
а – загальний вигляд; **б** – збільшені площі скління, демонтована центральна стіна із гербом Радянського Союзу; **в** – новий круговий ЛЕД-екран-годинник на башті будівлі

тування суттєво скоротили експлуатаційні витрати після відновлення, незважаючи на збільшення кількості систем і споживачів, що позитивно відбивається на економічній привабливості проекту та заощаджує ресурси.

Слід окремо підкреслити соціально-культурний контекст відновлення Будинку спілок, адже це знаковий центр новітніх соціально-політичних подій нашої країни.

Відповідно були застосовані спеціальні архітектурні, дизайнерські і соціально-культурні прийоми і заходи. Так, загальним мотивом будівлі стало світло і піднесеність. Тому в екстер'єрі і інтер'єрах відсутні чорні, жовтогарячі, червоні кольори. Замість демонтованого герба Радянського Союзу над вхідною групою наразі розміщено напис і символ Спілок, створений за мотивами символа, знайденого під час пожежі. Задля інформування громадськості про перебіг реалізації проекту неодноразово організовувалися публічні слухання, екскурсії, проводилися пресконференції. Новий круговий ЛЕД-екран-годинник на башті будівлі створює додатковий позитивний імідж і надає знаковості будівлі. Окремо у будівлі були проведені енергоінформаційні вишукування, визначено місця геопатогенних зон і відповідно скориговано архітектурні вирішення (рис. 7, 8).

У листопаді 2018 року до річниці Революції гідності в будівлі було відкрито Інформаційно-виставковий центр Музею Майдану, встановлено меморіальну дошку. Окрім музею у будівлі розмістилися 42 всеукраїнські галузеві профспілки, апарат Федерації профспілок України, Господарське управління ФПУ, а також офісний центр Maidan Plaza із найбільшим в Києві коворкінгом від міжнародної мережі Spaces на 600 робочих місць. Відновлення Будинку спілок стало однією із найзначущих подій 2018 року.

Висновки. Таким чином, відновлення будівель навіть після пожежі, їх реконструкція і капітальний ремонт демонструє тип перетворення забудови, що відповідає в цілому цілям і задачам сталого розвитку країни. В умовах зростаючої урбанізації необхідно насамперед мати законодавчі інструменти для зваженого прийняття рішень, а також впроваджувати системи ефективної переробки, циркульної економіки будівельних матеріалів.

Вагомі переваги в економічному, соціальному та екологічному аспектах сталого розвитку має сталь, як найбільш перероблюваний матеріал, який може бути основою економіки замкненого життєвого циклу. У розглянутому проекті відновлення Будинку спілок завдяки застосуванню сталевих конструкцій було досягнуто наступних ефективних рішень:

- Вдалося уникнути підсилення фундаментів за рахунок легкості каркаса.
- Розвантажився каркас – важкі ґрадірні із покрівлі замінені на легкі каркаси, важкі перегородки – на легкі із газоблока.
- Компактні перерізи елементів металевих конструкцій забезпечили пропуск комунікацій.
- Завдяки технологічності та швидкості ведення робіт проект був реалізований у найкоротші терміни в стиснених умовах.
- Прозора механіка роботи і привабливий зовнішній вигляд металевих конструкцій дали змогу використовувати їх в інтер'єрі без опорядження.

[1] *Чорней Н.Б.* Теорія систем і системний аналіз: навч. посібник / Чорней Н.Б., Чорней Р.К. – К.: МАУП, 2005 – 256 с.

[2] Вибір оптимального вирішення сталевих конструкцій за критерієм вартості життєвого циклу в умовах реконструкції/ II Miedzynarodowa Polsko-Ukrainska Konferencija Naukowo-Techniczna APKM 2014 S 65-68 / *Пікуль А.В.* Фахове видання

[3] ДСТУ-Н Б В.2.6-211:2016 Проектування сталевих конструкцій. Розрахунок конструкцій на вогнестійкість.

[4] *Flanagan R., Norman G., Meadows J., Robinson G.* (1989) Life Cycle Costing: Theory and Practice. Oxford: BSP Professional Books, Butry, D. T.

[5] *Chapman R.E., Huang A.L., Thomas D.S.* A Life-Cycle Cost Comparison of Exit Stairs and Occupant Evacuation Elevators in Tall Buildings//Atlas Specialty Metals Vol 48, pp. 155–172.

[6] *Schade J.* Life cycle cost calculation models for buildings Department of Civil, Mining and Environmental Engineering Luleå University of Technology, Luleå, Sweden – INPRO, 2007, 9, p. 8.

[7] *Khajehpour S., Grierson D.E.* Profitability versus safety of high-rise office buildings // Struct Multidisc Optim 25, pp. 279–293 (2003).

[8] *Bilyk A.* First Ukrainian cost study experience of commercial multistory buildings with concrete and steel frame //Design, Fabrication and Economy of Metal Structures/International Conference Proceedings 2013, Miskolc, Hungary, Apr. 24–26. Jarmai K., Farkas J. (eds) Springer P.511-517 / Kurashev R., Burgan B., Khmelnitska A. Фахове видання.

[9] *H.S. Park, B. Kwon, Y.* Shin et al. Cost and CO_2 Emission Optimization of Steel Reinforced Concrete Columns in High-Rise Buildings/Energies 2013, 6, 5609–5624; doi:10.3390/en6115609

[10] Towards a common European methodology for Life Cycle Costing (LCC) – Literature Review May 2007 Final Review Davis Langdon Management Consulting – 133 p.

[11] База даних по викидах ÖKOBAUDAT https://www.oekobaudat.de версія 2019-III / 29.05.2019.

Надійшла 29.11.2019 р.

УДК 621.923

ТЕПЛОВІ ПРОЦЕСИ ПРИ РІЗАННІ АБРАЗИВНИМИ АРМОВАНИМИ КРУГАМИ

У статті наведено результати аналітичних і експериментальних досліджень з визначення температури при різанні абразивними армованими кругами. Встановлено вплив теплових процесів на конструкцію круга, режимні та експлуатаційні параметри при виконанні відрізних операцій.

The article presents the results of analytical and experimental studies on the determination of temperature when cutting with abrasive reinforced circles. The influence of thermal processes on the design of the circle, mode and operational parameters during the execution of cutting operations.

Ключові слова: абразивний відрізний круг, теплові процеси, різання металопрокату.



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



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



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

Теплові процеси, які виникають при обробленні абразивним інструментом, багато в чому визначають його зносостійкість, режими роботи та безпеку використання. Найбільш дослідженими є теплові процеси, що протікають у контактній зоні, та якість оброблюваної поверхні при шліфуванні металів [1, 2]. При різанні абразивними армованими кругами, висота яких значно менша у порівнянні з діаметром, необхідно обов'язково враховувати тепловіддачу з його бокових поверхонь.

У даній роботі досліджуються теплові процеси під час роботи відрізними абразивними кругами. Розглянемо циліндричну систему координат, в якій абразивний круг нерухомий, а оброблювана деталь рухома. При цьому, як показано на рис. 1, центр координатної системи та круга співпадають. У робочій зоні, координати якої $\varphi_0 \in [0,\widetilde{\varphi}_0]$, $\rho = R_0$, у кожній точці виділяється тепло $\widetilde{q}$, яке розподіляється за наступним законом, Вт/м^2:

$$\widetilde{q} = -\lambda_g \frac{\partial \widetilde{T}_g}{\partial \rho}\bigg|_{\rho=R_0} + \lambda \frac{\partial \widetilde{T}}{\partial \rho}\bigg|_{\rho=R_0} + \widetilde{q}_{\text{стр}}, \qquad (1)$$

де λ і λ_g – теплопровідність відповідно круга та об'єкта, який обробляють, Вт/м^2; T і $\widetilde{T}$ – температура відповідно круга та об'єкта, який обробляють, К; $\widetilde{q}_{\text{стр}}$ – тепло, що видаляється зі стружкою, Вт/м^2.

Зазвичай у розрахунках приймають, що температура в зоні контакту може бути визначена експериментально методом напівштучної термопари, що є одним із найбільш обґрунтованих припущень. За межею зони контакту ділянка різальної кромки охолоджується оточуючим повітрям, що можливо описати законом Ньютона:

$$\lambda \frac{\partial \widetilde{T}}{\partial \rho}\bigg|_{\rho=R_0} + \alpha_0 \widetilde{T}\big|_{\rho=R_0} = 0, \qquad (2)$$

де α_0 – коефіцієнт тепловіддачі, Вт/м^2·К.

Граничні умови (1) і (2) можуть бути об'єднані в одну, якщо ввести функцію $\Phi(\varphi_0)$

$$\Phi(\varphi_0) = \begin{cases} 1, \varphi_0 \in [0,\widetilde{\varphi}_0] \\ 0, \varphi_0 \notin [0,\widetilde{\varphi}_0] \end{cases};$$

$$\widetilde{q}\Phi(\varphi_0) = -\lambda_g \frac{\partial \widetilde{T}_g}{\partial \rho}\bigg|_{\rho=R_0} \Phi(\varphi_0) + \lambda \frac{\partial \widetilde{T}}{\partial \rho}\bigg|_{\rho=R_0} +$$

$$+\widetilde{q}_{\text{стр}}\Phi(\varphi_0) + [1-\Phi(\varphi_0)]\alpha_0 \widetilde{T}. \qquad (3)$$

Полімерна матриця абразивного армованого круга руйнується не миттєво. В зв'язку з цим приймаємо, що основний вплив на зносостійкість абразивного круга чинить усереднена по періоду обертання температура

$$\widetilde{T}_{\text{ср}} = \langle \widetilde{T} \rangle = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \widetilde{T} d\varphi. \qquad (4)$$

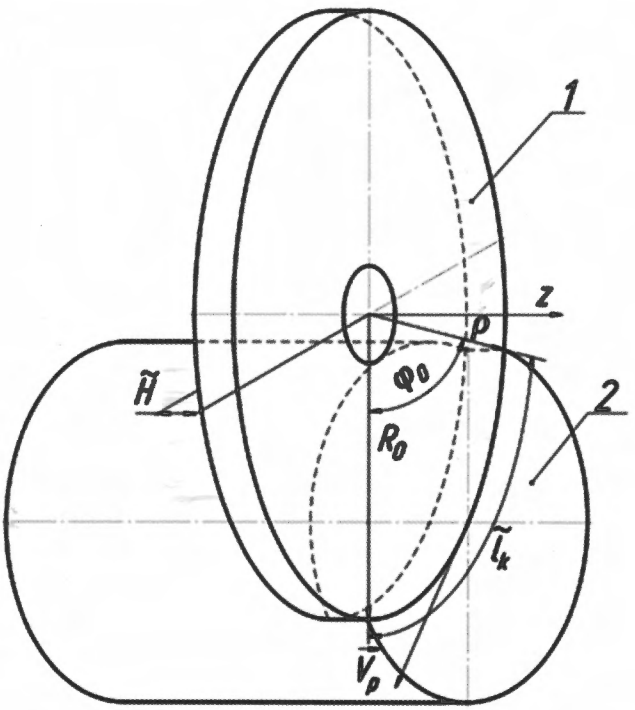


Рис. 1. Зона тепловиділення при контакті круга з об'єктом, що обробляється:
1 – круг; **2** – оброблюваний об'єкт

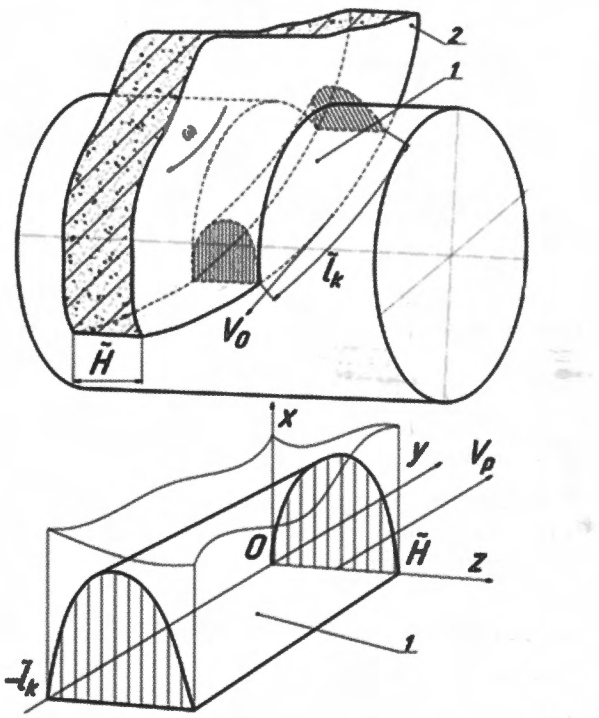


Рис. 2. Джерело тепла (1), що рухається зі швидкістю V_P по різальній кромці круга (2)

Гранична умова (3) для $\langle\tilde{T}\rangle$ з урахуванням, що $\varphi_0 R_0 = \tilde{l}_к$ може бути, після множення його обох частин на R_0, представлена у вигляді

$$\tilde{q}\tilde{l}_к = -\lambda_g \frac{\langle\partial\tilde{T}_g\rangle}{\partial\rho}\bigg|_{\rho=R_0} \tilde{l}_к + 2\pi R_0 \lambda \frac{\langle\partial\tilde{T}\rangle}{\partial\rho}\bigg|_{\rho=R_0} + \tilde{q}_{стр}\tilde{l}_к +$$

$$+\alpha_0\langle\tilde{T}\rangle R_0 2\pi + \alpha_0 R_0 \int_0^{2\pi}\Phi(\varphi_0)\tilde{T}d\varphi, \qquad (5)$$

де $\tilde{l}_к$ – довжина дуги контакту, м.

Отже, з урахуванням того, що $\langle\partial\tilde{T}_g\rangle = \tilde{T}_g$, так як об'єкт, що обробляється, весь час перебуває у контакті з різальною кромкою, маємо:

$$\tilde{q}\tilde{l}_к = -\lambda_g \tilde{l}_к \frac{\partial\tilde{T}_g}{\partial\rho}\bigg|_{\rho=R_0} + 2\pi R_0 \lambda \frac{\partial\langle\tilde{T}\rangle}{\partial\rho}\bigg|_{\rho=R_0} + \tilde{q}_{стр}\tilde{l}_к +$$

$$+\alpha_0 2\pi R_0\left[\langle\tilde{T}\rangle - T_к \frac{\tilde{l}_к}{2\pi R_0}\right]. \qquad (6)$$

Гранична умова (6) спільно з диференціальним рівнянням теплопровідності і визначають температурне поле в системі.

Необхідно зазначити, що потоки тепла кругів, що обертається, та нерухомого і які знаходяться в контакті з об'єктом обробки, розподіляються по-різному. Оскільки перед $\frac{\partial\tilde{T}}{\partial\rho}\Big|_{\rho=R_0}$ і $\frac{\partial\tilde{T}_g}{\partial\rho}\Big|_{\rho=R_0}$ стоять множниками не λ_g і λ, де $\lambda_g \succ \lambda$, а $\lambda_g\tilde{l}_к$ і $2\pi R_0$, де $2\pi R_0 \succ \lambda_g\tilde{l}_к$, потік тепла в абразивний армований круг значно інтенсивніший, ніж в об'єкт обробки.

Таким чином, вирішення задачі щодо розподілу температури в абразивному армованому крузі протягом одного періоду обертання з наступним підсумовуванням по їх числу дозволить не тільки виявити основні фізичні риси процесу теплового зношення круга, що розглядається, але і визначити температуру, що виникає в кожній його точці під час роботи.

Приймаючи, що глибина проникнення тепла в матрицю абразивного армованого круга значно менше його радіуса, обмежимося розглядом теплових процесів у вузькій області, що примикає до різальної кромки круга. При цьому, враховуємо співвідношення величин, що характеризують довжину дуги контакту $\tilde{l}_к$, висоту круга $\tilde{H}$ і його радіус R_0, нехтуючи кривизною зони різання.

Таким чином, теоретичне дослідження теплових процесів вдається звести до розв'язання задачі про розподіл тепла в прямокутній напівнескінченній пластині з товщиною, яка дорівнює висоті круга, по одній стороні якої рухається плоске джерело потужністю $\tilde{q}$, завдовжки $\tilde{l}_к$ та завширшки $\tilde{H}$ з лінійною швидкістю обертання круга $V_P = \omega R_0$. Введемо прямокутну систему координат, початок якої співпадає з джерелом (рис. 2).

Рівняння теплопровідності у випадку рухомого джерела [3]

$$\frac{\partial \tilde{T}}{\partial t} = a\Delta\tilde{T} + V_P \frac{\partial \tilde{T}}{\partial \tilde{y}}, \qquad (7)$$

де $\tilde{T}$ – температура полімерної матриці круга, К; $a = \frac{\lambda}{c\rho_{кр}}$ – коефіцієнт температуропровідності круга, м^2/с; λ – питома теплоємність матеріалу круга, Дж/кг · К; Δ – оператор Лапласа;

$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial \tilde{x}^2} + \frac{\partial^2}{\partial \tilde{y}^2} + \frac{\partial^2}{\partial \tilde{z}^2}$, $\tilde{x}, \tilde{y}, \tilde{z}$ – координати, м;

t – час.

Встановивши безрозмірні комплекси, маємо:

$$\frac{\partial T}{\partial \theta} = \frac{1}{P_e}\Delta T + \frac{\partial T}{\partial \tilde{y}}, \qquad (8)$$

де $\theta = \frac{tV_P}{R_0}; T = \frac{\tilde{T}}{\tilde{T}_к}; x = \frac{\tilde{x}}{R_0}; y = \frac{\tilde{y}}{R_0}; z = \frac{\tilde{z}}{R_0};$

$\tilde{T}_к$ – температура в зоні контакту круга з об'єктом, що обробляється, К; $P_e = \frac{V_P R_0}{a}$ – критерій Пекле, що характеризує відношення швидкості руху теплового джерела до швидкості теплопередачі.

Граничні умови, що враховують виділення тепла в зоні контакту

$$-\left.\frac{\partial T}{\partial x}\right|_{\substack{x=0 \\ y\in[0,l_к]}} = q \qquad (9)$$

та тепловіддачу навколишньому середовищу поза цим контактом

$$\left.\frac{\partial T}{\partial x}\right|_{\substack{x=0 \\ y\in[0,l_к]}} - B_i T\big|_{\substack{x=0 \\ y\in[0,l_к]}} = 0; \qquad (10)$$

$$\left.\frac{\partial T}{\partial z}\right|_{z=0} - B_i T\big|_{z=0} = 0; \qquad (11)$$

$$\left.\frac{\partial T}{\partial z}\right|_{z=H} + B_i T\big|_{z=H} = 0, \qquad (12)$$

де $q = \frac{\tilde{q}R_0}{\lambda \tilde{T}_к}$ – щільність теплового потоку, [q] = Вт/м^2; B_i – критерій Біо, який характеризує відношення швидкості тепловіддачі від швидкості підведення тепла до поверхні круга;

$H = \frac{\tilde{H}}{R_0}; l_к = \frac{\tilde{l}_к}{R_0}$ – відповідно безрозмірні величини висоти круга та довжини дуги контакту.

Крім того, прийнято, що круг на достатньо великій відстані від зони контакту та в початковий момент має температуру навколишнього середовища

$$T\big|_{x\to\infty} = 0. \qquad (13)$$

$$T\big|_{\theta\to\infty} = 0. \qquad (14)$$

Рівняння (8) з граничними умовами (9–14) точного розв'язку не має внаслідок розривності граничних умов другого (9) та третього (10) роду при $y = 0$ і $y = l_к$ на поверхні $x = 0$. Тому скористаємося наближеним методом компенсації теплових втрат [4].

Для цього використаємо метод функції Гріна [5]. Необхідно зазначити, що рішення є наближеним, так як воно передбачає наявність теплообміну зі всієї поверхні пластини, включаючи зону контакту круга з об'єктом, що обробляється. Однак, це не відповідає дійсності в реальному процесі внаслідок того, що тепловіддача відбувається тільки поза зоною контакту.

Рівняння (8) спільно з граничними умовами тримірної задачі дорівнює добутку функцій джерел одномірних задач [3, 4], в яких враховані граничні умови по відповідній координаті.

$$T_i = \frac{4\tilde{q}}{c\rho_{кр}V_р\tilde{T}_к}\sum_{n=1}^{\infty}\int_0^{\theta} d\theta' \int_0^{H} dz' \int_0^{l_к} dy' \left\{\exp\left[-\frac{P_e x^2}{4(\theta-\theta')}\right] - \right.$$

$$-B_i\int_0^{\infty}\exp\left[-\frac{P_e(x-\xi)}{4(\theta-\theta')} - B_i\xi\right]\times$$

$$\times d\xi\,\frac{(B_i^2+\beta_n^2)\cos(\beta_n z)\sin(\beta_n H)}{\beta_n[(\beta_n^2+B_n^2)H+2B_i]}\cdot\frac{P_e}{4(\theta-\theta')}\times$$

$$\left.\times\exp\left[-\frac{P_e(y-y'+\theta-\theta')^2}{4(\theta-\theta')} - \frac{\beta_n^2(\theta-\theta')}{P_e}\right]\right\}. \qquad (15)$$

В (15) враховано, що джерело тепла плоске $x' = 0$, а температура по ширині джерела постійна та становить $T_к$ [3], β_n визначається із розв'язання трансцендентного рівняння $ctg(\beta_n H) = \frac{\beta_n}{B_i}$ [4].

Після обчислення інтегралів визначаємо закон розподілу температури в матриці круга:

$$\widetilde{T}_i = \frac{P_e \widetilde{q} \widetilde{l}_к}{\sqrt{\pi} B_i^2 c \rho_{кр} \widetilde{H} V_P} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin(\beta_n H)\cos(\beta_n z)}{\beta_n} \times$$

$$\times \frac{\exp\left(-\beta_n \dfrac{|y|}{P_e} - \dfrac{x^2 P_e}{|y|}\right)}{|y|^{3/2}} [B_i x + \sqrt{|y|}]. \qquad (16)$$

Отримана формула описує розподіл температури в абразивному крузі за один оберт. Разом із тим, абразивне зерно здійснює значно більшу кількість обертів до повного викришування з полімерної матриці круга, тобто піддається впливу відповідної кількості теплових імпульсів. У прийнятій моделі N_0 обертом абразивного круга відповідає N_0 однакових теплових імпульсів, які відстають один від одного на відстань $\widetilde{y} = 2\pi R$.

Максимальне значення температури, що визначає зносостійкість круга, досягається в його середній площині, тому приймаємо $z = H/2$. В результаті отримуємо залежність, яка дозволяє розрахувати температуру полімерної матриці круга на будь-якій відстані від його різальної кромки,

$$\widetilde{T}(x) = \sum_{i=1}^{N_0} \widetilde{T}_i , \qquad (17)$$

де $\widetilde{T}_i = \dfrac{P_e^{5/2} \widetilde{q} \widetilde{l}_к}{2\sqrt{2}\pi^2 B_i^2 c \rho_{кр} \widetilde{H} V_P} \sum_{n=1}^{\infty} \dfrac{\sin(\beta_n H)\cos\left(\beta_n \dfrac{H}{2}\right)}{\beta_n} \times$

$$\times \frac{\exp\left(-\beta_n \dfrac{2\pi i}{P_e} - \dfrac{x^2 P_e}{2\pi i}\right)}{i^{3/2}} [B_i x + (2\pi i)^{1/2}]. \qquad (18)$$

Визначимо кількість обертів круга, за яких його радіус зменшиться на величину, що дорівнює розміру абразивного зерна δ. Приймемо, що круг переміщується зі швидкістю подачі $V_п$ та виконує різання об'єкта на глибину h.

Відповідно до коефіцієнта шліфування абразивний круг за час dt обробляє об'єкт площею $dF_g = hV_п\,dt$ та зношується на величину

$dF_{кр} = 2\pi R dR = \dfrac{dF_g}{S_p}$. Звідки $hV_п\,dt = 2\pi S_p R dR$,

$$\int_0^t hV_п\,dt = 2\pi \int_{R_0-\delta}^{R_0} S_p R dR .$$

Час, за який абразивний круг зноситься від радіуса R_0 до радіуса $R_0 - \delta$:

$$t = \frac{2\pi}{hV_п} \int_{R_0-\delta}^{R_0} S_p R dR .$$

Кількість обертів, які зробить абразивний круг за час t, відповідає цілій частині величини

$$t_\omega = \frac{tV_P}{R_0},$$

$$N_0 = \left[\frac{2\pi V_P}{hV_п}\right].$$

Враховуючи, що $\delta << R_0$ і приймаючи $S_p = S_0 = const$, маємо:

$$N_0 = \left[\frac{\pi V_P}{hV_п R_0} S_0 (R_0^2 - (R_0 - \delta)^2)\right] \approx \left[\frac{2\pi S_0 V_P \delta}{V_п h}\right]. \qquad (19)$$

Таким чином, за (19) можливо визначити кількість різів, які виконує абразивне зерно до викришування його з матриці круга, а за допомогою (17) і (18) встановити температуру в будь-якій точці круга при фіксованій швидкості подачі.

Для визначення залежності між режимами роботи круга, потужністю теплового джерела $\widetilde{q}$ та величинами коефіцієнта тепловіддачі α_0 експериментально визначалась глибина проникнення теплоти в полімерну матрицю. Отримані результати зображено на рис. 3.

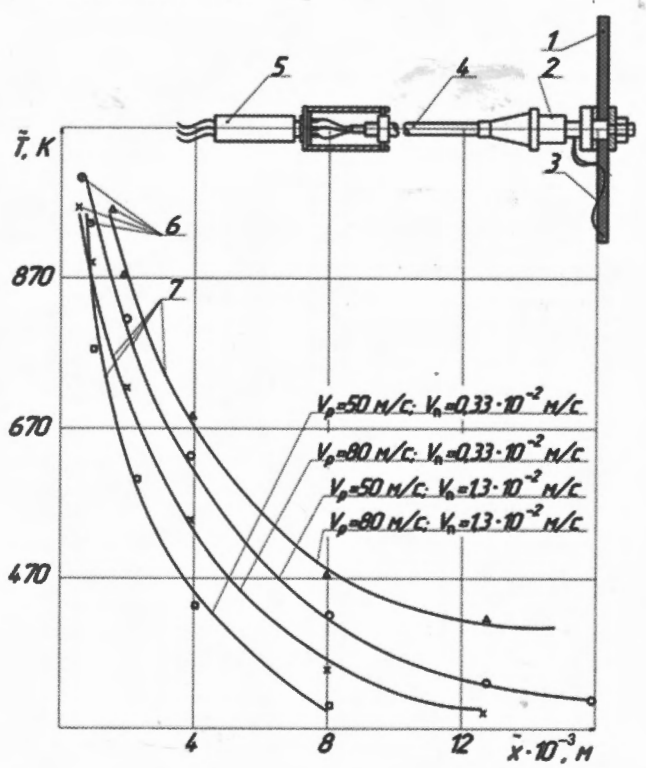


Рис. 3. Схема вимірювання та розподілу температури *T* у матриці круга по радіусу від різальної кромки *x*:
1 – круг; **2** – оправка стенда; **3** – термопара; **4** – пустотілий вал; **5** – струмознімач; **6** – експериментальні значення; **7** – розрахункові значення

З рис. 3 видно, що розходження між величинами температур, які отримані теоретичним і експериментальним шляхом, не перевищує 15 %.

При виконанні експериментальних досліджень використовувалися абразивні армовані круги із нормального електрокорунда 14А зернистістю 320–800 мкм. Зазначені круги застосовуються для виконання відрізних та зачисних операцій під час монтажних і ремонтних робіт із робочими швидкостями 40–80 м/с, подачами $2 \cdot 10^{-3}$–$7 \cdot 10^{-3}$ м/с. Встановлені наступні експериментальні залежності для визначення потужності теплового джерела $\tilde{q}$, коефіцієнт тепловіддачі α_0, температура в зоні контакту круга з об'єктом, що обробляється $\tilde{T}_к$:

$$\tilde{q} = 1{,}161 \cdot 10^9 - 1{,}375 \cdot 10^7 V_P + 0{,}4598 \cdot 10^{11} V_п . \quad (20)$$

$$\alpha_0 = 0{,}2531 \cdot 10^{-2} + 0{,}4971 V_P . \quad (21)$$

$$\tilde{T}_к = 0{,}6935 \cdot 10^3 + 5{,}332 V_P + 5{,}997 \cdot 10^3 V_п + 0{,}4028 \cdot 10^5 \tilde{H} . \quad (22)$$

Отже залежності (20), (21) і (22), як і (17), (18), дійсні тільки для наведених характеристик абразивного круга та режимів роботи.

Для зіставлення теоретичних і експериментальних даних визначали теплофізичні характеристики абразивного круга (рис. 4) та температуру в зоні контакту (рис. 5).

Аналіз отриманих залежностей свідчить, що температура полімерної матриці абразивного круга пов'язана з швидкістю його обертання через декілька параметрів. Зі збільшенням швидкості в зоні контакту зростає число теплових імпульсів, що негативно впливає на зносостійкість круга. Однак, одночасно збільшується тепловіддача з його бокових поверхонь, яка визначається коефіцієнтом теплопередачі

$$N_u = 0{,}0296 \sqrt[3]{P_r} (R_e)^{0,8} , \quad (23)$$

де P_r – число Прандтля для повітря; R_e – число Рейнольдса, $R_e = \dfrac{V_P R_0}{\nu_п}$, де $\nu_п = 1{,}4 \cdot 10^{-5}$ м^2/с – кінематична в'язкість повітря.

Як видно із (23), зі збільшенням V_P зростає ефективність тепловіддачі у навколишнє середовище, що сприяє підвищенню зносостійкості круга, так само як і зменшення часу перебування його в зоні високих температур. Таким чином, збільшення робочої швидкості абразивного армованого круга є доцільним.

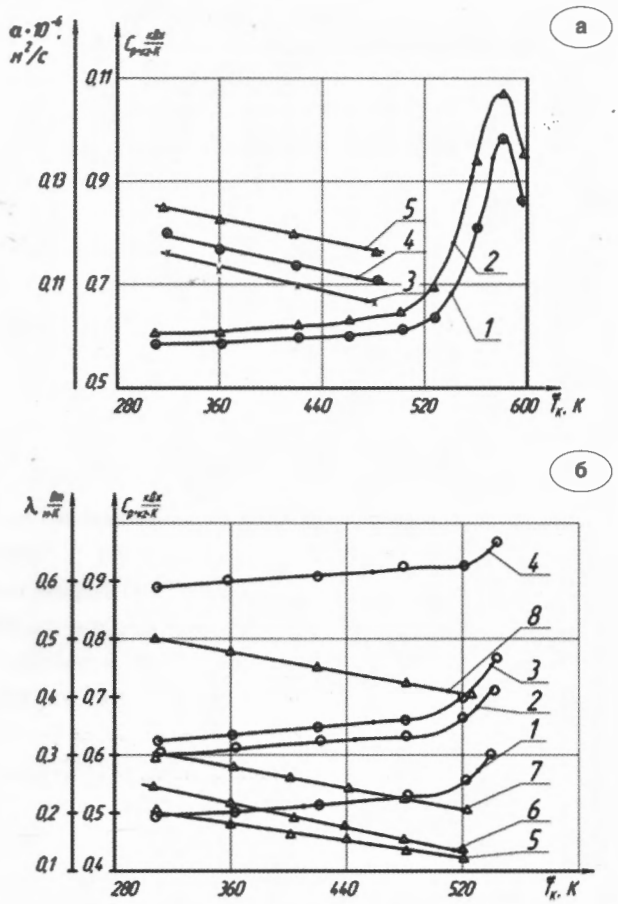


Рис. 4. Залежність питомої теплоємності C_P, температуропровідності α та теплопровідності λ від температури матриці круга $\tilde{T}_к$ при різних схемах армування та складу полімерних матриць:

а:
1 – круг із однією склосіткою (Д400×4×32мм); ***2*** – круг із двома склосітками (Д400×3×32мм); ***3*** – круг без склосітки; ***4*** – круг із однією склосіткою; ***5*** – круг із двома склосітками;

б:
1, 7 – комплексні домішки; ***2, 6*** – серійний круг; ***3, 5*** – графіт; ***4, 8*** – форміат нікелю

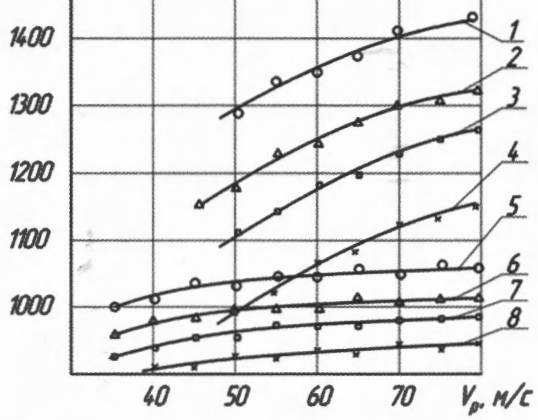


Рис. 5. Залежність температури $\tilde{T}_к$ від робочих швидкостей V_P:

1, 2 – сталь Х18Н10Т; ***3, 4*** – сталь 10; ***1, 3*** – $V_п$ = 0,0033 м/с; ***2, 4*** – $V_п$ = 0,0133 м/с; ***5–8*** – вапняк ($\sigma_{ст}$ = 20 МПа); ***5*** – $V_п$ = 0,0133 м/с; ***6*** – $V_п$ = 0,0105 м/с; ***7*** – $V_п$ = 0,0066 м/с; ***8*** – $V_п$ = 0,0033 м/с

Найменш сприятливі умови тепловіддачі створюються у кругів із гладкою боковою поверхнею, так як до неї прилягає ламінарний підшар повітря, і теплопередача в навколишнє середовище відбувається за допомогою теплопровідності. Наявність рифлення сприяє більш інтенсивному охолодженню бокової поверхні круга внаслідок порушення ламінарного підшару та розвитку турбулентності в зоні поблизу поверхні круга. У випадку шорстких бокових поверхонь, навколо виступаючих на них абразивних зерен виникають турбулентні завихрення і теплопередача відбувається шляхом конвекції, що за даними [6] дає змогу збільшити коефіцієнт тепловіддачі до двох разів у порівнянні з кругами, що мають гладкі поверхні. Зносостійкість абразивного круга може бути підвищена в результаті інтенсифікації тепловідведення шляхом збільшення температуропровідності полімерної матриці чи примусового її охолодження.

Зі збільшенням швидкості подачі та деформації стружки виділяється велика кількість тепла, частина якого проникає в об'єкт, що обробляється. Виходячи з цього, необхідно визначити оптимальну величину подачі, за якої забезпечується максимальна зносостійкість абразивного інструмента та необхідна якість поверхні, яку розрізають.

Встановлено, що зі збільшенням довжини дуги контакту круга з об'єктом, що обробляється, тепловиділення зростає. Необхідно враховувати, що в зоні контакту відбувається нагрівання круга, а поза нею – охолодження внаслідок тепловіддачі в навколишнє середовище. Отже зношування абразивного інструмента знижується при зменшенні відношення між довжиною дуги контакту та довжиною різальної кромки круга, яка знаходиться поза зоною контакту. Цього ефекту можливо досягнути, наприклад, при виборі максимально можливого діаметра круга.

Таким чином, при розробленні раціональних режимів і схем роботи абразивного армованого круга необхідно враховувати вплив теплових процесів.

[1] *Аверков К.В., Реченко Д.С., Ласица А.М.* Тепловые процессы при высокоскоростном шлифовании // ОНВ. 2011. № 3 (103). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/teplovye-protsessy-pri-vysokoskorostnom-shlifovanii (дата обращения: 28.01.2020).

[2] *Скуратов Д.Л., Балякин А.В., Апкалимова Ю.Х.* Аналитическое решение задачи по расчету температурного поля в обрабатываемых заготовках при ленточном шлифовании // Известия Самарского научного центра РАН. 2019. №1. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/analiticheskoe-reshenie-zadachi-po-raschetu-temperaturnogo-polya-v-obrabatyvaemyh-zagotovkah-pri-lentochnom-shlifovanii (дата обращения: 28.01.2020).

[3] https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/fbteg/kulinchenko_teploper/2.htm (дата доступу 28.01.2020).

[4] *Кудинов В.А.* Техническая термодинамика и теплопередача: учебник для академического бакалавриата / В.А. Кудинов, Э.М. Карташов, Е.В. Стефанюк – 3-е изд., испр. и доп. – Москва : Юрайт, 2015. – 567 с.: ил.

[5] Функції Гріна у квантовій статистиці твердих тіл : посібник / І. В. Стасюк ; М-во освіти і науки України, Львів. нац. ун-т ім. І. Франка. – Львів : Вид-во ЛНУ, 2013. – 392 с. : іл. – Бібліогр. в кінці розділів. – ISBN 978-617-10-0048-3.

[6] *Абрашкевич Ю.Д.* Резание металлопроката на монтажных работах / Ю.Д. Абрашкевич, Г.Н. Мачишин, А.А. Марченко, Т.Ф. Щербина. Монтажные и специальные работы в строительстве//Ежемесячный научно-технический и производственный журнал – 2019. – № 1. – С. 28–32.

Надійшла 29.01.2020 р.

Експертною групою Міністерства освіти і науки України
за підсумками оцінювання ефективності науково-технічної діяльності наукових установ

УКРАЇНСЬКИЙ ІНСТИТУТ СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ ІМЕНІ В.М. ШИМАНОВСЬКОГО

визнано таким, що пройшов державну атестацію наукової установи
за напрямом інженерно-технічні науки
(Свідоцтво про державну атестацію наукової установи
серія ДА № 00158 від 10 грудня 2019 року)

АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ З КАЛІБРУВАННЯ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ, ЩО ЕКСПЛУАТУЮТЬСЯ



Ю.В. Радиш
науковий співробітник
ТОВ «Технічний комітет «Спецмонтаж»,
канд. фіз.-мат. наук



С.К. Ярмолка
заступник директора
ТОВ «Технічний комітет «Спецмонтаж»

Вступ. Проведення повірки та калібрування засобів вимірювальної техніки вимірювальними лабораторіями, які працюють на об'єктах будівництва, головним чином у сфері законодавчо врегульованої метрології, є досить витратним. Особливо це відчувається у період зниження темпів будівництва, а відтак – зменшення обсягів робіт із вимірювання, і як наслідок підвищення вартості послуг лабораторії. Разом із тим конкурентоспроможність лабораторії безпосередньо залежить від вартості її послуг. Зрозуміло, вибір обмежений: або піти з ринку, або зменшити витрати, у тому числі на повірку та калібрування вимірювальної техніки. Непоодинокі випадки, коли лабораторія, маючи у своєму розпорядженні декілька одиниць ідентичних засобів, здійснює повірочно-калібрувальні процедури для однієї одиниці та нехтує достовірністю результатів для інших. Є інший шлях: оптимізувати періоди між здійсненням таких процедур у межах чинного законодавства з урахуванням усталеної практики здійснення перевірок контролюючими органами.

Так, згідно зі статтею 17 Закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність» засоби вимірювальної техніки, що перебувають в експлуатації, підлягають періодичній повірці та повірці після ремонту [1]. При цьому «Міжповірочні інтервали… встановлюються центральним органом виконавчої влади, що забезпечує формування державної політики у сфері метрології та метрологічної діяльності». Такі інтервали затверджено Мінекономрозвитку [2], отже однозначно врегульовані. Щодо калібрування, то зазначеним законом визначено: «Калібрування … проводяться відповідно до національних стандартів, гармонізованих із відповідними міжнародними та європейськими стандартами …».

Далі доречно процитувати перші рядки стандарту ДСТУ ILAK-G 24/OIML D 10:2013 «Настанова щодо визначення міжкалібрувальних інтервалів засобів вимірювальної техніки», наразі чинного в Україні та введеного в дію за ступенем відповідності – ідентичний (IDT). «Важливо відмітити таке:

– органи з акредитування не повинні вчити лабораторії, як їм вести свої справи;

– кожна конкретна лабораторія повинна прийняти рішення щодо вибору та застосування будь-якого методу, описаного в цьому стандарті, враховуючи її конкретні потреби та оцінки ризиків, або не використовувати жодного;

– лабораторія має сама оцінити ефективність методу, обраного нею, та відповідати за наслідки рішень, прийнятих у результаті його використання» [3].

Отже, лабораторія визначає міжкалібрувальні інтервали самостійно, і це цілковито відповідає законодавству України. Якщо ретельно підійти до визначення таких інтервалів, то виявляється, що калібрування перестає бути обтяжливим тягарем витрат, цьому і присвячена стаття. Наразі доцільно зазначити, що ця проблема є актуальною і для інших галузей, зокрема автомобільного транспорту [4].

Обгрунтування формули розрахунку міжкалібрувального інтервалу терміну/часу експлуатації засобів вимірювальної техніки (ЗВТ). Розрахункова формула визначає числову оцінку терміну/часу експлуатації ЗТВ після чергового калібрування за умови заданої ймовірності безвідмовної експлуатації протягом цього часу. Внаслідок деградації (або невідворотного погіршення) метрологічних властивостей ЗВТ, що експлуатуються, з'являється параметрична відмова ЗВТ.

Параметрична відмова ЗВТ при експлуатації – це такий стан ЗВТ, при якому величина похибки вимірювання δ (або інша подібна метрологічна

характеристика) набуває недопустимого значення $\delta \geq \delta_2$, де δ_2 – межа допустимих значень величини похибки вимірювання.

Ця метрологічна характеристика є неубутною функцією часу експлуатації ЗВТ.

Безумовна ймовірність відсутності та наявності відмови ЗВТ, що експлуатуються. Вочевидь, чим більше засобів вимірювальної техніки даного типу перебувають в експлуатації, тим частіше виникають відмови за одиницю часу. На цій підставі встановлюється універсальний (для будь-якого типу ЗВТ) розподіл ймовірності безвідмовної експлуатації в проміжку часу, що відраховується від початку експлуатації.

Ймовірність відсутності відмови при експлуатації $P(t)$ в інтервалі часу t має такий вигляд:

$$P(t) = \exp(-\xi t). \quad (1).$$

Ймовірність наявності відмови при експлуатації $\overline{P}(t)$ в тому ж інтервалі часу t:

$$\overline{P}(t) = 1 - P(t) = 1 - \exp(-\xi t). \quad (2).$$

Розподіл ймовірностей (1) та (2) містить єдиний параметр ξ, який підлягає визначенню окремо для кожного типу ЗВТ. В теорії надійності цей параметр отримав назву «інтенсивність відмов».

Умовна ймовірність відсутності та наявності відмов ЗВТ, що перебувають в експлуатації, після калібрування. Тут та в подальшому збережаються наступні позначення:

$t_0 = 0$ – час початку експлуатації ЗВТ, коли величина похибки $\delta(t_0) = \delta_0$, де δ_0 – початкове значення величини похибки ЗВТ;

t_1 – час експлуатації ЗВТ до чергового останнього калібрування, коли величина похибки $\delta(t_1) = \delta_1$, де δ_1 – допустиме, за умови $\delta_1 < \delta_2$, значення величини похибки встановлене при останньому калібруванні;

t_2 – час експлуатації ЗВТ до відмови, коли величина похибки $\delta(t_2) = \delta_2$, де δ_2 – межа допустимих значень величини похибки.

Для послідовних інтервалів часу експлуатації ЗВТ справедлива наявність рівностей (3), (4), які є виразами правил додавання тривалості та множення ймовірностей відсутності відмов на цих проміжках часу, типу

$$t_2 = t_1 + t; \quad (3)$$

$$P(t_2) = P(t_1) \cdot P(t), \quad (4)$$

де використовуються позначення: $t = t_2 - t_1$ (5)

– тривалість міжкалібрувального часу експлуатації ЗТВ після останнього калібрування;

$$P(t) = \frac{P(t_2)}{P(t_1)} \quad (6)$$

– ймовірність безвідмовної експлуатації ЗТВ у міжкалібрувальному інтервалі часу t, за умови відсутності відмов ЗТВ в експлуатації в інтервалі часу t_1 від початку експлуатації до останнього калібрування. При цьому ймовірність безвідмовної експлуатації в інтервалі часу t_1 від початку експлуатації до останнього калібрування $P(t_1) = 1$, що підтверджується результатами останнього калібрування.

З урахуванням введених позначень та виконання рівностей (5), (6), розподіл безумовної ймовірності в інтервалі часу t від початку експлуатації, типу (1), (2), перетворюється в розподіл умовної ймовірності в міжкалібрувальному інтервалі часу t зі збереженням того ж формального типу (1), (2).

Як витікає з (1), час t безвідмовної експлуатації ЗВТ у міжкалібрувальному інтервалі з заданою умовною ймовірністю $P(t)$ такий, що дорівнює

$$t = -\xi^{-1} \cdot \ln P(t), \quad (7)$$

де параметр ξ^{-1} підлягає визначенню.

Можна продемонструвати, що параметр ξ^{-1} є математичним очікуванням (або середнім значенням на множині) міжкалібрувального інтервалу часу t. Зазвичай, за нормальним законом розподілу випадкової величини, математичне очікування є найкращою оцінкою цієї величини. Але за розподілом (1), (2) ймовірність відсутності відмови в інтервалі часу ξ^{-1} є заниженою (тобто менше 0,5) та такою, що дорівнює $P(\xi^{-1}) = e^{-1}$, а ймовірність наявності відмов у тому ж інтервалі часу ξ^{-1} є завищеною (тобто більше 0,5) і такою, що дорівнює $\overline{P}(\xi^{-1}) = 1 - e^{-1}$.

Тому найкращою оцінкою тривалості міжкалібрувального інтервалу часу в контексті $P(t_{н.л}) = \overline{P}(t_{н.л}) = 0{,}5$ буде значення

$$t_{н.л} = -\xi^{-1} \cdot \ln 0{,}5, \quad (8)$$

де параметр ξ^{-1} підлягає визначенню; $t_{н.л}$ – найкращий час міжкалібрувального інтервалу.

Визначення параметра ξ^{-1}. Формула розрахунку та найкраща оцінка тривалості міжкалібрувального інтервалу часу. Міжкалібрувальний інтервал часу t та середня за часом швидкість деградації c в цьому інтервалі пов'язані між собою взаємооднозначною залежністю типу

$$ct = \delta_2 - \delta_1. \quad (9)$$

Залежність (9) дозволяє за відомою щільністю ймовірності часу відмови t у вигляді

$$p(t) = \frac{d\bar{P}(t)}{dt} \quad (10)$$

знайти щільність ймовірності швидкості деградації c, згідно з

$$p(c) = \frac{d\bar{P}(t(c))}{dt} \cdot \left| \frac{dt(c)}{dc} \right|, \quad (11)$$

де $t(c) = (\delta_2 - \delta_1) \cdot c^{-1}$ – час t замінюється швидкістю c, або c замість t.

Щільність ймовірності (11) є одномодальним розподілом, при якому максимальному значенню щільності відповідає швидкість деградації

$$c = \frac{1}{2}(\delta_2 - \delta_1) \cdot \xi. \quad (12)$$

Значення (12) – це найкраща оцінка середньої за часом швидкості деградації протягом міжкалібрувального інтервалу. Прирівнюючи значення (12) до експериментально встановленої середньої за часом швидкості деградації від початку експлуатації до останнього калібрування

$$c = \frac{(\delta_1 - \delta_0)}{t_1}, \quad (13)$$

знаходимо параметр вишукування

$$\xi^{-1} = \frac{t_1}{2} \cdot \frac{(\delta_2 - \delta_1)}{(\delta_1 - \delta_0)}. \quad (14)$$

Після підстановки (14) у (7) та (8), отримуємо кінцеву формулу розрахунку протяжності міжкалібрувального інтервалу часу t за умови заданої ймовірності $P(t)$ безвідмовної експлуатації протягом цього часу типу

$$t = \frac{t_1}{2} \cdot \frac{\left(1 - \frac{\delta_2}{\delta_1}\right)}{\left(1 - \frac{\delta_0}{\delta_1}\right)} \cdot \ln P(t), \quad (15)$$

а також найкращу оцінку тривалості цього періоду

$$t_{н.л} = \frac{t_1}{2} \cdot \frac{\left(1 - \frac{\delta_2}{\delta_1}\right)}{\left(1 - \frac{\delta_0}{\delta_1}\right)} \cdot \ln 0{,}5. \quad (16)$$

Обгрунтування формули розрахунку міжкалібрувального інтервалу часу експлуатації ЗВТ на цьому завершується. Всі вихідні дані для розрахунку містяться в результатах почергових калібрувань.

Висновки.

1. Розрахунок міжкалібрувального інтервалу засобів вимірювання за запропонованою формулою можливий після проведення чергової процедури калібрування.

2. Розрахунковий інтервал суттєво перевищує ті, що пропонують контролюючі органи.

3. Розрахунок повинен бути формалізованим стандартом підприємства.

4. Застосування лабораторіями коректно розрахованих міжкалібрувальних інтервалів відповідає законодавству України та, як правило, знижує витрати на їх утримання.

[1] Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» із змінами та доповненнями.

[2] Наказ Міністерства економічного розвитку і торгівлі України від 13.10.2016 № 1747, зареєстровано в Міністерстві юстиції України 01 листопада 2016 р. за № 1417/29547, «Про затвердження міжповірочних інтервалів законодавчо врегульованих засобів вимірювальної техніки, що перебувають в експлуатації, за категоріями».

[3] Національний стандарт України. Метрологія. Настанови щодо визначення між калібрувальних інтервалів засобів вимірювальної техніки (ILAC-G 24/OIML D 10:2007, IDT) ДСТУ ILAC-G 24/OIML D 10:2013. Офіційне видання. Київ, Мінекономрозвитку України, 2014.

[4] *Волков О.Ф., Волков Р.О., Колобов К.С., Лесик О.С., Ричок С.О.* Розрахунок міжкалібрувальних інтервалів засобів вимірювальної техніки//Автошляховик України. – 2015. – № 5. – С. 11–13.

Надійшла 30.01.2020 р.

ЗОНАЛЬНАЯ АНТИКОРРОЗИОННАЯ ЗАЩИТА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ



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

Горнодобывающие и металлургические предприятия группы «Метинвест» находятся в различных условиях агрессивности среды – от средне- до очень высокоагрессивных, а отдельные объекты даже в условиях экстремально высокой агрессивности из-за высокой концентрации SO_2 в производственной атмосфере.

Коррозионное разрушение конструкций наносит огромный ущерб предприятиям, а иногда приводят к катастрофическим последствиям.

Для снижения коррозионных потерь на объектах «Метинвеста» в основном нашли применение системы защитных лакокрасочных покрытий.

До настоящего времени проектные организации разрабатывают документацию по защите металлоконструкций от коррозии согласно ДСТУ Б В.2.6-193:2013 [1], в котором предусмотрены системы защитных покрытий суммарной толщиной 130 мкм, наносимой в 5 слоев и обеспечивающей срок службы в средне- и сильноагрессивной среде от 2 до 5 лет.

Анализ проектно-сметной документации и ведомости ресурсов к ней показывает, что в общих затратах на подготовку и окраску поверхности таких систем стоимость ЛКМ составляет 30–40 %, а оставшиеся 60–70 % приходятся на подготовку поверхности и нанесение покрытия.

Современные ЛКМ позволяют достичь высокого уровня эксплуатационной надежности систем покрытий, обеспечивая безремонтный срок службы покрытий 25 и более лет.

Принятые в 2015 г. в Украине нормативные документы, гармонизированные с международными и европейскими нормативными документами, дают возможность обоснованно применять системы с повышенным сроком службы, увеличивая суммарную толщину пленки покрытия и сокращая при этом количество наносимых слоев, а также использования красок с пленкообразователями и пигментами, стойкими к агрессивным средам. И хотя стоимость ЛКМ в статье расходов возрастает, за счет уменьшения количества наносимых толстослойных слоев покрытий сокращаются затраты на работы по нанесению красок. Увеличение межремонтного периода при незначительном увеличении сметной стоимости (на 10–30 %) обеспечивает снижение среднегодовых затрат на подготовку и покраску поверхности в 2–3 раза.

Известно, что во многих случаях эксплуатации сооружений металлургического и горнодобывающего комплексов долговечность основных несущих конструкций контролирует не нагрузка, а химическое, физическое и физико-химическое действие рабочей среды [2]. При воздействии среды на материал оказывают влияние силовые, электромагнитные, тепловые, радиационные и другие поля, а также их интенсивность. Проблемы воздействия среды изучаются научным направлением – физико-химической механикой материалов.

На механические свойства материалов среда влияет через адсорбцию, которая вызывает изменения: возможно образование новых свойств материалов при внедрении компонентов среды, протекающей с различной интенсивностью при деформации, нагреве и т.п.

Защиту от вредного влияния среды на материал, находящийся под механическим напряжением, определяют следующие факторы:

- механический фактор;
- стойкость материала, находящегося под напряжением к действию среды;
- агрессивность среды.

Степень влияния напряженно-деформированного состояния металлоконстркций на защитную способность ЛКМ обусловлена тем, что работа зданий и сооружений объектов металлургического и горнодобывающего комплексов протекает в условиях высоких статических и динамических нагрузок, при одновременном воздействии среднеагрессивной и сильноагрессивной внешней среды. При этом уровень напряжений в элементах конструкций одного и того же сооружения не одинаков. Например, в решетчатых колоннах или опорах пояса воспринимают в основном вертикальную, часто весьма значительную нагрузку, раскосы же воспринимают поперечную силу. Нагруженные пояса корродируют значительно быстрее, ввиду чего возникает необходимость оценки влияния напряженно-деформированного состояния на защитную способность ЛКМ.

© Гезенцвей Е.И.

Во многих случаях коррозионное разрушение происходит при действии растягивающих напряжений. При этом коррозионные трещины распространяются перпендикулярно направлению действия растягивающих напряжений при небольших деформациях или даже без них.

Склонность металлических конструкций К к разрушению в активных рабочих средах зависит от свойств металла М, вида напряженного состояния *R* и воздействия среды С:

$$M + R + C = K .$$

В зависимости от степени влияния каждого фактора системы возможны различные виды разрушения конструкций – от механического разрушения, при котором роль среды незначительна, до сплошной коррозии, где незначительную роль играют напряжения.

При коррозии под напряжением возможны: сплошная коррозия; ускоренная местная коррозия; коррозионное растрескивание под действием статических напряжений; коррозионная усталость под действием циклических напряжений.

Напряженное состояние способствует коррозионному процессу в металлах вследствие:

- сообщения металлу добавочной энергии;
- нарушения под действием деформации сплошности и ухудшения защитных свойств поверхностных пленок, что ведет к образованию трещин;
- повышения степени неоднородности металла.

Опасное влияние напряженного состояния на коррозию заключается в превращении ее из равномерной в местную, очаговую, представляющую особую опасность для металла, особенно для высокопрочных сталей, находящих все более широкое применение в конструкциях металлургической отрасли – кожухах доменных печей, опорных системах, большепролетных конструкциях и т.п.

Исследования показывают, что состав и концентрация активных веществ коррозионной среды существенно влияют на коррозионное растрескивание металла [3]. Проведены исследования по построению относительно общей формулы, представляющей зависимость времени до коррозионного разрушения от концентрации различных диффундирующих веществ, в том числе атомов водорода.

Из изложенного выше следует, что актуальные данные о состоянии среды, в которой работают конструкции, являются важным компонентом определения способов защиты металлических и бетонных конструкций как в период строительства, так и в условиях эксплуатации. При этом нельзя исключать вероятность поэтапной антикоррозионной защиты конструкций или, как альтернативу, применять те виды ЛКМ, которые препятствуют развитию коррозии во времени.

В [1] определены понятия:

- *зона эксплуатации конструкции* – ограниченная в пространстве территория, часть производственного здания или сооружения;
- *зонирование* – комплекс работ по разделению зданий (сооружений) на зоны в зависимости от условий работы строительных конструкций;
- *коррозионная агрессивность атмосферы* – совокупность воздействий, характеризуемых увлажнением поверхности материалов и загрязнением воздуха коррозионно-активными элементами.

Вопросы, связанные с антикоррозионной защитой элементов зданий и сооружений, являются в первую очередь проектными, ввиду чего в ООО «Метинвест Инжиниринг» разрабатывается технологический регламент.

Его целью является разработка доступного для всех внутренних служб, подрядных и проектных организаций, занимающихся вопросами защиты стальных и бетонных конструкций от коррозии, единого документа (отраслевого стандарта), в котором приведены рекомендации относительно:

1. Оценивания коррозионной агрессивности среды.
2. Выбора систем окраски с учетом требуемого срока службы и коррозионной агрессивности среды.
3. Подготовки стальной и бетонной поверхности перед нанесением покрытий.
4. Подготовки материалов к нанесению и условия нанесения ЛКМ.
5. Контроля качества лакокрасочных материалов и нанесенного покрытия.
6. Ремонта дефектов покрытия.

Учет коррозионных свойств среды в совокупности с применением технологичных по коррозионной стойкости конструктивных форм сооружений обеспечит как долговечность зданий и сооружений, так и эффективные экономические показатели строительства.

[1] ДСТУ Б В.2.6-193:2013 Защита металлических конструкций от коррозии. Требования проектирования. – К.: 2013.

[2] *Карпенко Г.В.* Влияние среды на прочность и долговечность металлов. – К.: Наукова думка,1976.

[3] *Талыблы Л.Х., Мамедова Х.А.* Об одной универсальной функции коррозионной прочности материалов с учетом влияния механических напряжений и концентрации диффундирующих веществ // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2014. – № 6/11(72). – С. 46–49.

Надійшла 15.08.2019 р.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ГІДРАТАЦІЇ ЦЕМЕНТІВ



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.

Для дослідження фазового складу, структури цементного каменю, а також змін під дією часу використовують: фізико-механічні випробування; хімічний, термічний, петрографічний, рентгенографічний, рентгеноспектральний, мікрозондовий аналізи; методи інфрачервоної спектроскопії, електронної мікроскопії, ядерного магнітного резонансу, радіоактивних ізотопів.

Фізико-механічні випробування. До фізико-механічних випробувань в'яжучих речовин відносяться: питома та об'ємна маса, пластичність, строки тужавіння, рівномірність зміни об'єму, тонина помелу, корозійна стійкість, межа міцності при тиску, розтягу, згині тощо. Ці методи докладно розроблені і внесені до відповідних стандартів.

Хімічний аналіз. Хімічні методи дослідження цементів також докладно розроблені, більшість із них стандартизовані.

Отримані кінетичні криві складу рідинної фази свідчать про те, що реакція між цементом і водою починається практично миттєво. Після шести годин спостерігається поступове збільшення вмісту силікатів кальцію у рідинній фазі.

На теперішній час розроблені наданалітичні методи дослідження, які дають можливість визначити не тільки вміст значної кількості складових дослідного матеріалу, але і мікродоз, а також вивчити вплив вмісту оксидів барію, стронцію, хрому, титану, фосфору та інших на властивості цементу.

Термічний аналіз. Суть цього аналізу полягає у визначенні температур, за яких змінюється фізичний стан речовини чи її хімічний склад.

Диференціально-термічний аналіз (ДТА) – один із найбільш широко розповсюджених методів фазового аналізу цементного каменю тому, що визначає зміни енергії дослідного взірця.

Криві ДТА широко описані у довідковій літературі і можуть бути використані для розшифрування кривих ДТА гідратованих цементів.

Петрографічний метод. Цей метод дослідження дає змогу швидко, легко і вірно визначати склад речовини навіть при незначній його кількості. Він проводиться за допомогою мікроскопа.

Вивчення продуктів гідратації цементів та цементних мінералів петрографічним методом проводиться головним чином на прозорих шліфах чи порошках імерсійним методом.

У прозорих шліфах можливо підрахувати кількість зерен, які не прореагували, заміряти їх розміри, визначити характер шпаристості та розміри шпар, встановити взаємодію цементного тіста із заповнювачем та виявити характер новоутворень. Вияснити ж мінералогічний склад новоутворень цим методом неможливо.

Петрографічні дослідження показали, що гідратація двокальцієвого силікату проходить значно повільніше, ніж трикальцієвого.

Рентгенографічний аналіз. Він є одним із основних методів вивчення фазового складу дрібнокристалічних новоутворень у цементному камені.

В залежності від об'єкта дослідження використовують два методи аналізу: для монокристалів – метод оберту (метод Лауе); для полікристалів – метод порошку (метод Дебая–Шеррера).

Цемент є полікристалом і тому для його дослідження використовують метод порошку.

© Ніконець І.І., Мартинюк І.М., Шматов Є.М., Стаднічук О.М.

Кожна кристалічна речовина через особливості своєї будови дає специфічну, характерну лише їй одній, рентгенограму визначеним набором міжплощинних відстаней та характерних для них інтенсивностей. Ця властивість кристалічних речовин дає можливість використовувати порошковий метод для розпізнання кристалічних фаз, які є присутніми у дослідному матеріалі.

Порівнюючи список міжплощинних відстаней та відносин інтенсивностей отриманої дебаєграми з даними довідника, можна встановити, які кристалічні фази входять до складу дослідного взірця.

Рентгеноспектральний мікрозондовий аналіз. У разі необхідності визначити склад матеріалу у кожній його точці використовують рентгеноспектральний мікрозондовий аналіз.

Принцип роботи мікрозондового приладу заключається в наступному. На дослідну ділянку взірця направляється пучок електронів, тобто електронний зонд. Діаметр електронного пучка не перевищує 1,5 μ при силі струму від 0,02 μ до 0,3 μ.

При дотику пучка електронів до взірця виникає рентгенівське випромінювання, довжина хвиль якого типова для різних видів елементів, які знаходяться на поверхні.

За допомогою кристал-аналізатора та гоніометра проводиться відбір рентгенівських променів, визначених довжин хвиль, характерних для елемента, які потім направляються до детектора для фотографування чи реєстрації самописцем.

Світлова цієї точки на мікрофотографії визначає концентрацію елемента. Чим вища світлова, тим більшим є вміст елемента.

Метод інфрачервоної спектроскопії. Предметом вивчення ІЧ-спектроскопії є коливальні рухи атомів, які викликаються дією інфрачервоних променів. Вони проявляються у вигляді спектрів поглинання чи віддзеркалення в інтервалі довжини хвиль від 0,1 μ до 100 μ.

Кожне хімічне з'єднання має свій коливальний спектр, який відрізняє його від іншого з'єднання.

Для вимірів використовуються електрографи, які випускаються нашою промисловістю.

Готується взірець наступним чином. Порошковий матеріал змішується з вазеліном і тонким шаром наноситься на поверхню пластинки для дослідження.

Отримані дані інтенсивності пропускання інфрачервоних променів зображають у вигляді графіків, де по осі абсцис відкладають довжину хвилі у мікронах, а по осі координат – відсоток пропускання.

Інфрачервоний спектр для будь-якого хімічного з'єднання має визначений характер. Методи спектроскопії дають змогу проводити і якісний хімічний аналіз.

Якщо для даної речовини відомо поглинання для всіх довжин хвиль, то результуюча крива дозволяє знайти кількість поглинаючої речовини.

Метод електронної мікроскопії. Сучасні електронні мікроскопи дають можливість бачити частинки розміром до $15 \cdot 10^{-8}$, а в окремих випадках – до $8 \cdot 10^{-8}$ сантиметра.

Найбільш досконалими є електронно-мікроскопічні дослідження методом реплик, тому що дають можливість дослідити матеріали у природних умовах. Репліка – це тонка плівка з матеріалу, прозорого для електронів, яка точно відповідає поверхневій топографії взірця. Репліка отримується вакуумним випаровуванням платини та вуглецю на поверхню свіжого сколу взірця.

Відділяємо репліку від взірця шляхом розчинення його у соленій, а потім у плавіковій кислоті. При цьому необхідно кожного разу підбирати концентрацію кислоти, тому що інтенсивне розчинення призводить до руйнування репліки.

Після розчиненя складу препарату плівка спливає на поверхню, промивається у воді і розміщується на сітці для дослідження у електронному мікроскопі. Електронна мікроскопія дає морфологічну картину дослідного об'єкта.

Метод ядерного магнітного резонансу. Його можна використати для вивчення стану води у неорганічних матеріалах.

Аналізатор ядерного магнітного резонансу – це постійний магніт (В = 1720 гс) із 50-міліметровим проміжком між полюсами діаметром 254 мм.

Обмотка на полюсах змінює магнітну індукцію у межах ±20 гс.

Взірець вагою у 50 г поміщується у скляну ампулу та ущільнюється.

Ампула вкладається у радіочастотну обмотку між полюсами магніту і записується діаграма поглинання енергії при зміні протягом 4 хв магнітної індукції на 10 гс нижче і вище нормально необхідної води.

Дослідження властивостей води цементної пасти з В/ц = 0,4 показали, що через два місяці вільна вода у цементній пасті майже зовсім відсутня.

Однак, зміна виду цементу і водоцементного відношення дає різні криві.

Метод радіоактивних ізотопів. Розвиток ядерної фізики дає можливість використовувати новий метод, заснований на використанні радіоактивних ізотопів різних елементів, так званий метод «мічених» атомів.

Особливо дієвим є введення радіоактивних індикаторів у кристалічну решітку дослідних матеріалів, що може значно сприяти вивченню такого складного процесу, як гідратація цементного клінкеру.

Введення радіоактивних індикаторів прямо до кристалічної решітки твердої фази дає можливість прослідкувати зміни активності у розчині в процесі гідратації і дійти висновку щодо кінетики та механізму процесу.

Надійшла 21.11.2019 р.

Інформація

УДОСКОНАЛЕННЯ НОРМАТИВНОЇ БАЗИ У БУДІВНИЦТВІ

Українським інститутом сталевих конструкцій ім. В.М. Шимановського — базовою організацією Мінрегіону України з науково-технічної діяльності у будівництві — у 2019 р. була проведена робота із підготовки нових нормативно-технічних документів.

У СФЕРІ НОРМУВАННЯ

- ✓ підготовлена перша редакція ДБН «Складські будівлі» (на заміну СНиП 2.11.01-85), у якому суттєво розширена сфера застосування норм, враховані сучасні вимоги до вологостійкості конструкцій, а також висотних стелажних систем та інші новації. Введення у дію нового ДБН заплановано на кінець поточного року;
- ✓ внесені зміни до ДБН В.12-2:2006 «Навантаження і впливи. Норми проектування», в яких передбачені уточнення методів визначення навантажень від мостових кранів, а також коефіцієнтів сполучень навантажень на конструкції тощо.

У СФЕРІ СТАНДАРТИЗАЦІЇ

- ✓ вперше у вітчизняній практиці на замовлення Укравтодору розроблений проект національного стандарту «Конструкції сталеві автодорожніх мостів. Технічні вимоги до виготовлення», який є прикладом актуалізації національних НД до вимог сучасної транспортної інфраструктури;
- ✓ завершена гармонізація нової редакції базового Європейського стандарту ДСТУ EN 1090-2:2019 «Виконання сталевих і алюмінієвих конструкцій. Частина 2. Технічні вимоги до сталевих конструкцій», а також нового стандарту ДСТУ EN 1090-4:2019 «Виконання сталевих і алюмінієвих конструкцій. Частина 4. Технічні вимоги до холодноформованих сталевих будівельних елементів та конструкцій для покрівель, стель, підлог та стін».
  Відповідно до наказу Національного органу стандартизації від 10.05.2019 р. № 117 обидва НД набудуть чинності з 01.07.2020 р.;
- ✓ внесені зміни до 2-х частин Єврокоду 3 із проектування сталевих конструкцій ДСТУ-Н Б EN 1993-1-6:2011 «Проектування сталевих конструкцій. Міцність та стійкість оболонок» та ДСТУ-Н Б EN 1993-4-1:2012 «Проектування сталевих конструкцій. Силоси».
  Наразі проекти нормативних документів знаходяться на затвердженні у Національному органі стандартизації.
- ✓ З метою запровадження новітніх цифрових технологій у будівництві завершена гармонізація методом «перекладу» двох базових міжнародних стандартів ДСТУ ISO 19650-1:2020 «Організація та оцифрування інформаційних даних щодо будівель та цивільних інженерних споруд, включаючи інформаційне моделювання будівель (BIM). Частина 1. Концепції та принципи» та ДСТУ ISO 19650-2:2020 «Організація та оцифрування інформаційних даних щодо будівель та цивільних інженерних споруд, включаючи інформаційне моделювання будівель (BIM). Частина 2. Етап поставки активів».
  Наразі проекти нормативних документів знаходяться на затвердженні у Національному органі стандартизації.

До Програми робіт із Національної стандартизації на 2020 рік інститутом внесені пропозиції щодо підготовки 22 нових НТД у галузі металобудівництва.

ВПЛИВ ВОЛОГОСТІ ПРЕС-ПОРОШКІВ З ПОЛІМІНЕРАЛЬНОЇ ГЛИНИСТОЇ СИРОВИНИ НА МОРОЗОСТІЙКІСТЬ ОБЛИЦЮВАЛЬНОЇ КЕРАМІКИ



І.С. Суббота
доцентка кафедри
хімічної технології кераміки
КПІ ім. Ігоря Сікорського,
к.т.н., доцентка



Л.М. Спасьонова
доцентка кафедри
хімічної технології кераміки
КПІ ім. Ігоря Сікорського,
к.х.н., доцентка



Т.І. Булка
асистентка кафедри
хімічної технології кераміки
КПІ ім. Ігоря Сікорського



І.М. Яйченя
студентка кафедри
хімічної технології кераміки
КПІ ім. Ігоря Сікорського

В останні роки керамічні будівельні матеріали повернули собі домінуюче положення серед стінових матеріалів, що пов'язано зі структурною перебудовою будівельної галузі, економічними чинниками, а також позитивними характеристиками кераміки.

Серед різноманіття керамічних матеріалів особливу роль відіграє облицювальна кераміка, яка включає матеріали для зовнішнього облицювання (лицьову цеглу та облицювальні камені, фасадні плити і плитки, теракоту та ін.).

Морозостійкість облицювальної кераміки є одним з основних показників її якості. Існує прямий взаємозв'язок між морозостійкістю та водопоглинанням: чим нижчий рівень водопоглинання, тим вище ймовірність того, що матеріал виявиться більш стійким до впливу низьких температур.

Для виготовлення облицювальної будівельної кераміки з глинистої сировини Київської області необхідно дослідити водопоглинання як функцію впливу вологості прес-порошків із місцевих легкоплавких глин на морозостійкість керамічних виробів з неї та можливість використання для зовнішніх облицювальних робіт.

Морозостійкість характеризує здатність облицювальної кераміки не пошкоджуватися при насиченні водою за температур нижче 0 °С. У разі впливу низьких температур на виріб вода з навколишнього середовища спочатку проникає в пори, а потім перетворюється на лід. При переході води з рідкого стану в твердий вона збільшується в об'ємі створюючи значні механічні навантаження, які можуть призвести до утворення тріщин на лицьовій поверхні виробу і навіть до подальшого його руйнування.

Морозостійкість облицювальних керамічних виробів характеризується маркою за морозостійкістю, що позначає встановлене число циклів заморожування і відтавання, яке витримує керамічний виріб у насиченому водою стані без ознак видимих пошкоджень (розшарування, лущення, розтріскування тощо). Не допускається також зменшення маси виробів у результаті руйнування поверхні і викришування матеріалу в кількості більше 5 % від початкової маси, зниження межі міцності виробів при стисненні більш ніж на 15 % від початкової міцності.

Керамічні вироби мають такі марки морозостійкості: 15, 25, 35, 50, 75, 100 в залежності від своєї структури.

Кераміка – це полікристалічні матеріали, одержані спіканням природних глин і їх сумішей з мінеральними добавками. В результаті випалення формується структура матеріалу, і виріб набуває необхідних фізико-механічних властивостей.

Режими термообробки керамічних мас забезпечують отримання заданого водопоглинання і відповідно морозостійкості облицювальної кераміки. Будь-який керамічний матеріал є багато-

фазною системою. В кераміці можуть бути присутніми кристалічна, склоподібна і газова фази. Кристалічна фаза являє собою певні хімічні сполуки або тверді розчини. Ця фаза становить основу кераміки і визначає механічну міцність, термостійкість та інші її основні властивості. Склоподібна фаза знаходиться в кераміці у вигляді прошарків скла, що зв'язують кристалічну фазу, зазвичай кераміка містить від 1 % до 10 % склофази. Газова фаза являє собою гази, що знаходяться в порах кераміки. За вмістом цієї фази кераміку поділяють на щільну, без відкритих пор і пористу. Наявність навіть закритих пор небажана в керамічних облицювальних матеріалах, так як вони знижують морозостійкість будівельного матеріалу.

Для визначення морозостійкості застосовували метод об'ємного заморожування. Перед випробуванням зразки нумерували і оглядали, фіксуючи наявні тріщини, відколи й інші дефекти, які допускаються стандартом на вироби. У процесі випробування зразки насичували водою кип'ятінням або витримуванням у воді протягом 48 год. Заморожування зразків і подальше відтавання проводили в контейнерах, в яких відстань між виробами повинна бути не менше 20 мм. Температура в камері при заморожуванні – (18 ± 2) °С. Тривалість одного заморожування – не менше 4 год. Відтавання проводили протягом 2 год у воді з температурою 15–20 °С. Тривалість одного циклу «заморожування–відтавання» не повинна перевищувати 24 год. Оцінювання морозостійкості за ступенем ушкоджень після проведення необхідного числа циклів «заморожування–відтавання» виконували візуальним оглядом зразків із фіксацією дефектів, що з'явилися.

При оцінці морозостійкості за втратою маси після проведення необхідного числа циклів «заморожування–відтавання» зразки керамічних виробів висушували до постійної маси. За значенням втрати маси виробів приймали середнє арифметичне результатів випробування всіх зразків, розраховане з точністю до 1 %.

У роботі визначали водопоглинання керамічних зразків, а також вивчали вплив вологості прес-порошку на морозостійкість облицювальної кераміки. Для проведення досліджень використовували глину Бучанського і Полозького родовищ, а також лісовидний суглинок Київської

Таблиця 1

Хімічний склад досліджуваної сировини

Глина	Хімічний склад, %								
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	В.п.п
Бучанська	59,91	13,02	5,33	0,45	4,58	1,43	4,54	1,23	9,51
Полозька	62,19	24,78	1,32	1,52	0,23	0,26	0,11	0,18	9,41
Лісовидний суглинок	65,74	6,58	2,28	0,47	10,2	2,9	–	0,064	11,77

Таблиця 2.

Фізико-механічні характеристики глин

Характеристики	Матеріал		
	Бучанська глина	Полозька глина	Лісовидний суглинок
Число пластичності	4,3	17,2	7,0
Чутливість до сушіння, с	57	85	79
Усадка повітряна,%	4,2	11,1	8
Усадка вогнева,%	0,6	1,25	0,5
Водопоглинання, %	14,8	15,0	10,9
Міцність випалених зразків на згин, МПа	7,5	13,5	4,3

Таблиця 3

Склади досліджуваних мас

Матеріал	Склад компонентів, %							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Бучанська глина	80	70	–	–	80	70	60	50
Полозька глина	–	–	80	70	10	20	зо	40
Лісовидний суглинок	20	30	20	30	10	10	10	10

Таблиця 4

Характеристики досліджуваних керамічних мас

Характеристики	Досліджувані зразки							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Міцність на стиск, МПа	39,1	24,4	26,4	26,4	37,9	25,4	26,8	40,2
Водопоглинання, %	11,7	14,5	15,2	15,6	12,3	14,6	13,8	12,2

області. Хімічний склад досліджуваної сировини наведено в таблиці 1.

Дослідження показали, що глина Бучанського родовища є кислою, малопластичною і чутливою до сушіння. Додавання до неї Полозької глини, яка є середньопластичною, напівкислою, дасть змогу знизити чутливість маси до сушіння і дещо поліпшити її фізико-механічні характеристики. При напівсухому способі виробництва облицювальної кераміки необхідно отримати гранульований прес-порошок. Це дозволить відформувати рівнощільний зразок для отримання якісного керамічного виробу.

Фізико-механічні властивості глин (пластичності, чутливості до сушіння, усадки, міцності) наведені в таблиці 2.

Якість прес-порошку залежить також від ступеня розподілу вологості між окремими фракціями. При нерівномірному розподілі вологості у вихідному прес-порошку при пресуванні з'являються «сухі» ділянки ще до заповнення всіх пор рідиною. Це призводить до нерівнощільності напівфабрикату і виробів, тому що перетікання рідини з одних мікроділянок в інші не завершується за час пресування. Нами були досліджені зразки різних складів (табл. 3).

З досліджуваних мас готували зразки, після випалу при 1100 °С, їх випробовували на міцність і водопоглинання. Результати наведені в таблиці 4.

За водопоглинанням досліджуваних мас можна дійти висновку щодо морозостійкості кераміки. Проведені дослідження показали, що не всі керамічні маси задовольняють вимоги з водопоглинання та міцності. Тому для подальших досліджень вибрали склади 1, 5 і 8, з яких готували порошки різної вологості і формували зразки розміром (50×50×5) мм. Вологість прес-порошку варіювалася від 2 % до 10 %. Температура випалу складала 1100 °С.

У результаті проведених досліджень було встановлено (рис. 1, 2), що при збільшенні вологості з 2 % до 4 % водопоглинання зразків № 1 та № 8 зменшується і відповідно морозостійкість їх збільшується, з подальшим збільшенням вологості до 10 % спостерігалося подальше зниження водопоглинання. Це пояснюється тим, що збільшення вологості прес-порошку призводить до зростання щільності і, відповідно, водопоглинання.

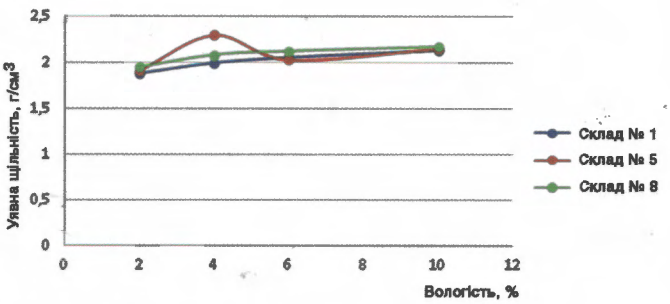


Рис. 1. Залежність уявної щільності облицювальних зразків від вологості прес-порошків

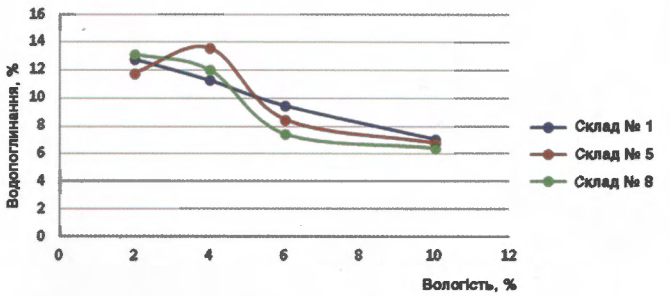


Рис. 2. Залежність водопоглинання облицювальних зразків від вологості прес-порошків

Таким чином, при використанні місцевих легкоплавких глин Київської області (Бучанське родовище) для виробництва облицювальної кераміки методом пресування вологість прес-порошків (на прикладі складів № 1, № 5, № 8) повинна бути в межах 6 % – 10 %; для вологості до 6 % морозостійкість зразків № 1 та № 8 складає 15, а для вологості від 6 % до 10 % – 25 циклів.

[1] *Н.Т. Андріанов, В.Л. Балкевіч, А.В. Беляков та ін.* Хімічна технологія кераміки: Уч. посібник для вузів / Під ред. І.Я. Гузмана. – М.: ТОВ РІФ «БУДМАТЕРІАЛИ», 2011. – 496 с.

[2] *Будников П.П., Полубояринов Д.Н.* Химическая технология керамики и огнеупоров: Учебник для вузов. – М.: Стройиздат, 1972.

[3] Практикум по технологии керамики. Учеб.пособие для ВУЗов / Под ред.проф. И.Я. Гузмана. – М.: ООО РИФ «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ», 2005. – 336 с.

[4] *Балкевич В.Л.* Техническая керамика / В.Л. Балкевич. – М.: Стройиздат, 1984. – 256 с.

[5] ДСТУ Б В.2.7-60-97. Сировина глиниста для виробництва керамічних будівельних матеріалів.

[6] ГОСТ 27180-2001 Плитки керамические. Методы испытаний.

Надійшла 13.11.2019 р.

УДК 624.014:621.315.1

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЕВРОКОДОВ И НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ УКРАИНЫ, В ТОМ ЧИСЛЕ ЧАСТНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ НАДЕЖНОСТИ И УЧЕТА ФАКТОРА ВРЕМЕНИ, ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ КОНСТРУКЦИЙ

В статье рассматриваются частные коэффициенты надежности и учет фактора времени, представленные в Еврокодах и ДБН, а также приводятся результаты их сравнительного анализа. Полученные данные рекомендуется использовать при проектировании конструкций зданий и сооружений.

In the article presented results of a comparative analysis of the partial safety factors and accounting of the time factor, which presented in the European norms Eurocode and Ukrainian building codes DBN. The findings recommended to use in the design of buildings and structures.

Ключевые слова: Еврокод, ДБН, учет фактора времени при проектировании конструкций, частные коэффициенты надежности.



И.Н. Руднева
доцент кафедры
«Сопротивление материалов»
Киевского национального
университета строительства
и архитектуры, к.т.н.



Ю.Н. Прядко
научный сотрудник,
доцент Пекинского международного
института образования
(Beijing International Education
Institute), Пекин, Китай
к.т.н.

Решение о разработке единой европейской системы норм и правил строительного проектирования – Еврокодов – было принято Европейским Сообществом еще в 1975 г. На первом этапе Еврокоды были альтернативой по отношению к действующим национальным нормам государств-членов ЕС, а в дальнейшем могут заменить их полностью.

В Украине в настоящее время гармонизация системы Еврокодов завершена, и в ближайшие годы ожидается ее адаптация. Следует отметить, что в этот период и ДБН, и европейские нормы действуют одновременно (параллельно).

При проектировании конструкций необходимо учитывать различные возможные отклонения параметров нагрузки, геометрии, прочности материала от заданных значений для достижения приемлемой вероятности «отказа» конструкции.

При расчете конструкций по предельным состояниям принимаются детерминированные значения нагрузок и характеристик материалов. При этом учитываются соответствующие коэффициенты безопасности (надежности), которые позволяют учесть различные отклонения от заданных величин нагрузок, геометрии, прочности.

При математическом описании значения нагрузок характеристики материалов можно представить в виде случайных величин (например, собственный вес конструкций) или случайных функций времени (например, ветер).

Проектируя конструкции массового назначения, используют не вероятностные методы расчета, когда базисные переменные являются случайными величинами, а детерминистические методы, в которых базисная переменная заменяется постоянным значением, называемым нормативным (характеристическим значением), умноженным на соответствующий коэффициент надежности (или коэффициент безопасности). Указанные коэффициенты служат для регулирования величин нагрузок и сопротивлений.

Принимая минимально возможное значение сопротивления (понижающий коэффициент надежности) и максимально возможное значение нагрузки (повышающий коэффициент надежности), добиваются обеспечения необходимого запаса прочности при проектировании и достаточно малой вероятности отказа конструкции.

Научно-технической основой всего ряда Еврокодов является требование обеспечения надежности строительных конструкций на уровне не ниже 0,0001 отказов за 50 лет (0,000001 за год, т.е. один отказ за 1000000 лет). Этот унифицированный уровень должен поддерживаться неза-

© Руднева И.Н., Прядко Ю.Н.

висимо от типа конструкции и материала, из которого она сделана, ему отвечает уровень надежности $\beta = 3,8$.

Система проектирования, действующая в Украине, представлена в таблице 1.

EN 1990:2002, IDT. Еврокод формулирует правила определений расчетных комбинаций нагрузок, и Национальное приложение к нему является базовым для всех остальных разделов Еврокода. От того, какие запасы будут заложены в расчетные комбинации нагрузок, зависит какие коэффициенты запаса должны использоваться при расчетах прочности, устойчивости, деформативности.

EN 1991-1-6:2005, IDT. Еврокод 1 определяет уровень нагрузок на сооружения, и Национальное приложение к нему также является базовым для всех остальных разделов Еврокода.

Определение расчетного значения эффекта воздействия в Европейском стандарте приведено на рис. 1.

Определение расчетного значения несущей способности в Европейском стандарте приведено на рис. 2.

В Украине предельные состояния по степени ограничений и эксплуатации, а также возможных последствий отказа разделяют на 2 группы:

- к 1-й группе относятся предельные состояния, при выходе за которые возникает полная потеря пригодности к эксплуатации (общая потеря устойчивости, потеря устойчивости положения, разрушение любого характера, переход в изменяемую систему, качественное изменение конфигурации вследствие чрезмерных деформаций ползучести или пластичности, сдвигов в соединениях);
- ко 2-й группе относятся предельные состояния, при выходе за которые затрудняется нормальная эксплуатация (недопустимые деформации и перемещения, недопустимые уровни колебаний, недопустимые образования или раскрытия трещин).

Таблица 1

Система проектирования, действующая в Украине

Основанная на национальных технических традициях	Гармонизированная с Еврокодами		
	Документ Украины		Идентичный Европейский стандарт
ДБН В.1.2-14-2018. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ	ДСТУ-Н Б EN 1990:2008 Єврокод. Основи проектування конструкцій	Национальное приложение к ДСТУ-Н Б EN 1990:2008	EN 1990:2002, IDT. Еврокод
ДБН В.1.2-2:2006. Навантаження і впливи	ДСТУ-Н Б EN 1991-1-5:2012 Єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 1–5. Загальні дії. Теплові дії	Национальное приложение к ДСТУ-Н Б EN 1991-1-5:2012	EN 1991-1-5:2003, IDT. Еврокод 1
	ДСТУ-Н Б EN 1991-1-6:2012 Єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 1–6. Загальні дії. Загальні ції. Дії під час зведення	Национальное приложение к ДСТУ-Н Б EN 1991-1-6:2012	EN 1991-1-6:2005, IDT. Еврокод 1
	ДСТУ-Н Б EN 1991-3:2012 Єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 3. Дії, що викликані кранами та обладнанням	Национальное приложение к ДСТУ-Н Б EN 1991-3:2012	EN 1991-3:2006, IDT. Еврокод 1
	ДСТУ-Н Б EN 1991-4:2012 Єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 4. Бункери і резервуари	Национальное приложение к ДСТУ-Н Б EN 1991-4:2012	EN 1991-4:2006, IDT. Еврокод 1
ДБН В.2.6-198:2014. Сталеві конструкції. Норми проектування	ДСТУ-Н Б EN 1993-1-3:2012 Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1–3. Загальні правила. Додаткові правила для холодноформованих елементів і профільованих листів	Национальное приложение к ДСТУ-Н Б EN 1993-1-3:2012	EN 1993-1- 3:2006, IDT. Еврокод 3
	ДСТУ-Н Б EN 1993-1-4:2012 Єврокод 3. Проектування сталевих конструкцій. Частина 1–4. Загальні положення. Додаткові правила для нержавіючої сталі	ДСТУ-Н Б EN 1993-1-4:2012	EN 1993-1-4:2006, IDT. Еврокод 3

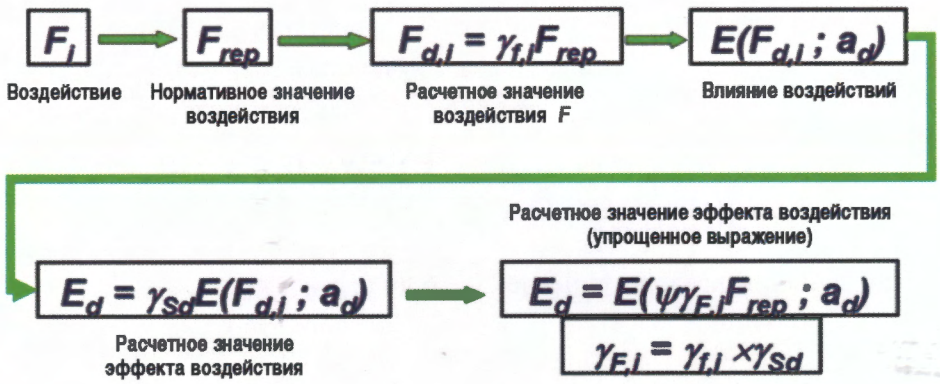


Рис. 1. Определение расчетного значения эффекта воздействия:

F_k – нормативное значение воздействия; F_{rep} – определяющее характерное значение воздействия; γ_f – частный коэффициент безопасности для воздействия, учитывающий возможность неблагоприятного отклонения воздействия по отношению к характерным значениям; γ_F – частный коэффициент безопасности для воздействий с учетом погрешностей модели и отклонений величин γ_F = 1,0, если в EN 1991–EN 1999 не установлено иное; ψ – принимает значения 1,00 или ψ_0, ψ_1 и ψ_2; a_d – расчетное значение геометрических величин (см. 6.3.4 Еврокод); γ_{Sd} – частный коэффициент безопасности для учета погрешностей: в расчетной модели влияний; в расчетной модели воздействий



Рис. 2. Определение расчетного значения эффекта воздействия:

γ_{Rd} – частный коэффициент безопасности для учета погрешности модели сопротивления, включая геометрические отклонения, если они не учтены в соответствии с 6.3.4 (2); η – коэффициент перерасчета для показателей образца и определяющих показателей элемента конструкции, который в среднем учитывает влияние эффектов объема и масштаба; влажности и температуры; других основных параметров; a_d – расчетное значение геометрических величин (см. 6.3.4); γ_m – частный коэффициент безопасности для показателя строительного материала или изделия, который включает следующее: возможность неблагоприятных отклонений показателя строительного материала или изделия от нормативного значения; рассеяние коэффициента перерасчета η

В то же время, в Европейских стандартах различают две группы предельных состояний: абсолютные предельные состояния (Ultimate Limit-States) и предельные состояния по эксплуатационной пригодности (Serviceability Limit-States), которые в свою очередь делятся на дополнительные группы.

При проектировании несущей конструкции с использованием Еврокодов необходимо выполнять расчеты по следующим предельным состояниям несущей способности:

a) EQU: Потеря прочности и устойчивости несущей конструкции или отдельных ее частей, рассматриваемых как жесткий каркас, в котором:

– отклонения размеров или пространственного распределения воздействий, имеющих одинаковое происхождение, незначительны;

– прочность строительных материалов и изделий или грунтов оснований, как правило, не оказывает влияния;

b) STR: Отказ или чрезмерные деформации несущей конструкции или ее частей, включая фундаменты, массив фундамента, сваи; при этом несущая способность строительных материалов и элементов конструкции играет решающую роль;

c) GEO: Отказ или чрезмерные деформации грунтов оснований, при этом в запасе несущей способности определяющей является прочность грунта или скальной породы;

d) FAT: Отказ несущей конструкции или ее частей в связи с усталостью.

Для расчета усталости в ЕН 1992 – ЕН 1999 указаны сочетания воздействий.

На расчетные значения воздействий распространяется приложение А Еврокода.

Абсолютные предельные состояния (Ultimate Limit-States) по Еврокоду наглядно представлены на рис. 3 и рис. 4.

Для определения влияния воздействий следует применять общее сочетание

$$E_d = \gamma_{Sd} E\{\gamma_{g,j} G_{k,j}; \gamma_P P; \gamma_{q,1} Q_{k,1}; \gamma_{q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}\};$$
$$j \geq 1; i > 1. \quad (1)$$

Сочетание воздействий в скобках {} может быть выражено следующим образом:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} "+" \gamma_P P "+" \gamma_{Q,1} Q_{k,1} "+" \sum_{i>1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}. \quad (2)$$

При подтверждении STR и GEO более неблагоприятный из двух сочетаний

$$\begin{cases} \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} "+" \gamma_P P "+" \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} "+" \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}, \\ \sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} "+" \gamma_P P "+" \gamma_{Q,1} Q_{k,1} "+" \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}, \end{cases} \quad (3)$$

$0{,}85 \leq \xi \leq 1{,}00$ – коэффициент уменьшения для неблагоприятно действующих воздействий.

Для каждого критического случая нагрузки следует определить расчетные значения влияний сочетания воздействий E_d, которые принимаются как действующие одновременно. В каждом сочетании воздействий должно быть доминирующее или чрезвычайное воздействие.

В некоторых случаях формулы (1–3) требуют уточнений. Руководство по осуществлению таких уточнений содержится в определяющих частях ЕН 1991–ЕН 1999 и Национальных приложениях к ним.

Числовые значения частных коэффициентов безопасности и общих коэффициентов для воздействий приведены в ЕН 1991 и приложении А, EN 1990, а также Национальных приложениях к ним.

Частные коэффициенты безопасности показателей строительных материалов, изделий и элементов конструкции приведены в ЕН 1992–ЕН 1999, а также Национальных приложениях к ним.

Сравнительная таблица системы расчета по предельным состояниям, основанная на национальных технических традициях в Украине и в соответствии с Еврокодом, представлена в таблице 2.

Хотелось бы отметить учет фактора времени в соответствии с ДБН и Еврокодом, представленный в таблице 3. Используется понятие об установленном сроке службы T_{ef}, от которого зависят значения предельных нагрузок.

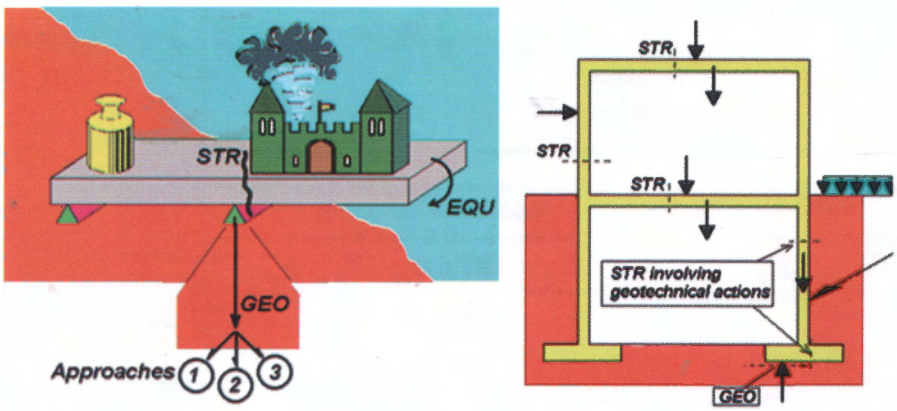


Рис. 3. Абсолютные предельные состояния (Ultimate Limit-States) EQU – STR – GEO

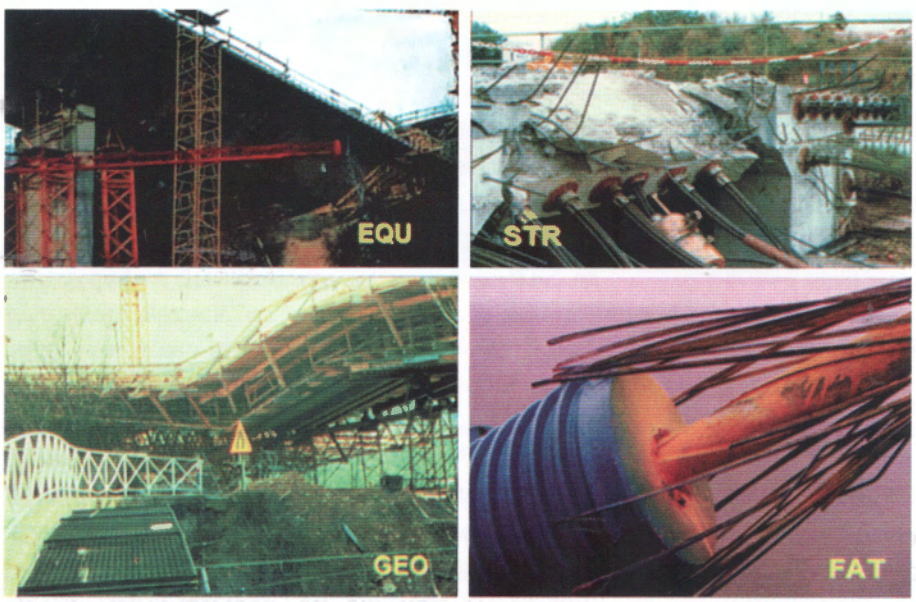


Рис. 4. Абсолютные предельные состояния (Ultimate Limit-States) EQU – STR – GEO – FAT

Таблица 2

Система расчета по предельным состояниям, основанная на национальных технических традициях в Украине и в соответствии с Еврокодом

$\gamma_n \psi \gamma_{f_i} S_i^n \le \gamma_C \frac{r^n}{\gamma_m}$	$E_d \le R_d$ $E_d = \gamma_{Sd} E\left\{\sum_{j\ge1}\gamma_{G,j}G_{k,j}"+"\gamma_P P"+"\gamma_{Q,1}\psi_{0,1}Q_{k,1}"+"\sum_{i\ge1}\gamma_{Q,i}\psi_{0,i}Q_{k,i}\right\}$ $R_d = \frac{R_k}{\gamma_M}$ или $R_d = \frac{R\left\{\eta\frac{X_k}{\gamma_M}; a_d\right\}}{\gamma_{Rd}}$ (Также см. ЕН 1992–ЕН 1999)
γ_n – коэф. надежности по назначению (ДБН В.1.2-14:2018. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд, т. 5) γ_f – коэф. надежности по нагрузке (ДБН В.1.2-2-2006. Нагрузки и воздействия, разд. 5–12) ψ – коэф. сочетаний нагрузок (ДБН В.1.2-2-2006. Нагрузки и воздействия) γ_m = 1,025...1,1 – коэф. надежности по материалу (ДБН В.2.6-198:2014. Сталеві конструкції. Норми проектування, т. 7.2.) γ_C = 0,75...1,2 – коэф. условий работы (ДБН В.2.6-198:2014. Сталеві конструкції. Норми проектування, табл. 5.1.)	γ_{Sd} = 1,05…1,15 – частный коэффициент безопасности для учета погрешностей модели при идеализации воздействий и/или влияний (Приложение А.1. табл. А.1.2(В) EN 1990. Еврокод); $\gamma_{Gj,sup}$ = 1,10…1,35; $\gamma_{Gj,inf}$ = 0,90…1,15 (EQU); $\gamma_{G,sup}$ = 1,00…1,35; $\gamma_{G,inf}$ = 1,00 (STR/GEO) – частный коэффициент безопасности для постоянных воздействий j для расчета с использованием верхних/нижних расчетных значений (Приложение А.1. табл. А.1.2 (А), А.1.2 (В) EN 1990. Еврокод); $\gamma_{Q,1}$ = 1,5, $\gamma_{Q,i}$ = 1,5 (EQU); $\gamma_{Q,1}$ = 1,3…1,5, $\gamma_{Q,i}$ = 1,3…1,5 (STR/GEO) – частный коэффициент безопасности для переменного воздействия Q_i (Приложение А.1. табл. А.1.2 (А), А.1.2 (В) EN 1990. Еврокод); $\psi_{0,i}$ = 0,2…1,0 – коэффициент для общих, переменных, квазипостоянных значений переменных воздействий (Приложение А.1. табл. А.1.1. EN 1990. Еврокод); γ_m = 1; $\gamma_{M,i} = \gamma_{Rd}\gamma_{m,i}$ (если в ЕН 1991–ЕН 1999 не установлено другое) – частный коэффициент безопасности для показателя строительного элемента с учетом погрешностей модели и отклонений величин (П. 6.3.3–6.3.5, п. 6.5.4 , ф. 6.3–6.6. EN 1990. Еврокод); ξ = 0,85 – коэффициент уменьшения для неблагоприятно действующих постоянных воздействий G (Приложение А.1. табл. А.1.2 (В), STR/GEO, EN 1990. Еврокод); X_k – расчетное значение показателя строительного материала или изделия i ; η – переводной коэффициент (перерасчета); γ_P – частный коэффициент безопасности для воздействий от предварительного напряжения (см. ЕН 1992–ЕН 1996 и ЕН 1998–ЕН 1999); γ_{Rd} – частный коэффициент безопасности для учета погрешностей модели сопротивления
E_d – расчетное значение влияния воздействий; R_d – расчетное значение соответствующей несущей способности.	

Эксплуатационные расчетные значения нагрузок определяются в зависимости от части η установленного срока службы конструкции T_{ef}, на протяжении которой она может превышаться. Коэффициент η – относительное время, в течение которого может быть допущено нарушение требований по второму предельному состоянию. Например, для некоторых объектов для 2 % времени может быть допущено превышение прогибов, нормируемых из технологических соображений.

Примерные значения сроков эксплуатации приводятся в нормах.

При назначении расчетного срока эксплуатации следует учитывать некоторые различия между документами, поскольку проектный срок эксплуатации по ДБН В.1.2-14-2018 «Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ» [2] превышает аналогичный показатель Єврокода 0 [6] (табл. 3). Например, для сельскохозяйственных зданий ориентировочное значение установленного срока эксплуатации по ДБН составляет 50 лет, а аналогичный показатель по Еврокоду – максимум 30 лет. Для жилых и гражданских зданий установленный срок эксплуатации по ДБН может иметь значение до 100 лет, по Еврокоду же максимум 50 лет.

Согласно Постановлению Кабинета Министров от 23-5-2011 № 547 в настоящее время заказчик совместно с генпроектировщиком принимают решение проектировать здание (сооружение) по Еврокодам или же по нормативным документам Украины. Кроме того, что очень важно,

Таблица 3

Учет фактора времени в ДБН и Еврокоде

Индикативный (проектный) срок эксплуатации по Еврокоду			Ориентировочное значение установленного срока эксплуатации по ДБН В.1.2-14-2018	
Категории проектного срока службы	Индикативный проектный срок службы (лет)	Примеры	Здания и сооружения	T_{ef} (годы)
Здания				
1	10	Временные сооружения	Мобильные контейнерные	15
2	10–25	Сменные части сооружения, например, пролетные строения козлового крана, опоры		
3	15–30	Сельскохозяйственные и подобные здания	Сельскохозяйственные здания Теплицы Мобильные сборно-разборные	50 30 20
4	50	Строительные сооружения и другие здания общего назначения	Здания жилые и гражданские Производственные и вспомогательные Складские	100 60 60
Инженерные сооружения				
5	100	Монументальные строительные сооружения, мосты и другие гражданские инженерные сооружения	Мосты в зависимости от типа Дамбы Туннели Резервуары для воды Резервуары для нефти и нефтепродуктов Резервуары для химической промышленности Емкостные конструкции для сыпучих материалов Башни и мачты в зависимости от назначения Дымоходы	80–100 120 120 80 40 30 20–30 20–40 30

при проектировании одного объекта, но разных разделов проекта, не могут одновременно применяться различные строительные нормы.

Проводя сравнительный анализ (в рамках рассматриваемых вопросов), на примере сопоставления ДБН В.2.6-198:2014 [3] и Eurocode 3 [8], а также ДБН В.1.2-14-2018 [2] и Еврокод 0 [6], прежде всего, стоит отметить:

1. Принципы расчета строительных стальных конструкций и в ДБН [3], и в ЕС3 [8] – базируются на методе предельных состояний. В этих документах проверочные расчеты осуществляются для двух групп предельных состояний – по потере несущей способности (1-я группа) и по непригодности к нормальной эксплуатации (2-я группа). Однако, в ДБН эти состояния не описаны (теоретическое их обоснование приводится в литературе по металлическим конструкциям и в пособии к ДБН), в то время, как в ЕС3 приводится четкое описание как самих критериев наступления предельного состояния, так и граничных условий. Предельные значения по перемещениям, которые предусматриваются ДБН, содержатся в ДСТУ «Прогибы и перемещения» [5], что не совсем удобно при выполнении проверки по 2-й группе предельных состояний для рассчитываемых конструкций.

2. В номенклатуре коэффициентов надежности имеются некоторые отличия. Коэффициенты надежности по ДБН [3] более детализированы, чем в ЕС3 [8], что объясняется более длительным использованием метода расчета по предельным состояниям в бывшем СССР, чем в Европе. Поскольку ответственность за надежность зданий и сооружений, а также здоровье граждан несут именно национальные компетентные органы, в ЕС3 эти коэффициенты выделены рамкой (т.н. «рамковые» значения – *boxed values*), например $\gamma_{M1} = \boxed{1,1}$, и каждая страна имеет право на изменение их значений согласно своим требованиям.

3. Особенностью ЕС3 [8] является наличие в нем большого количества описываемых терминов и возможных случаев проектирования при использовании соответствующих положений. Каждый раздел ЕС3 начинается с соответствующих однозначных трактований основных понятий, приводится описание того, какие расчетные предпосылки и условия будут использоваться, даются также расчетные ограничения. В этом смысле ДБН [3] является менее информативным, ориентированным на хорошо подготовленного инженера, знающего возможные конструктивные, технологические и расчетные ограничения.

4. Значительное внимание в ЕС3 уделяется проблеме расчета на выносливость (усталость). По объему это один из самых больших разделов. ДБН [3] в расчетах на выносливость ограничивается одной формулой.

5. Особенности проектирования элементов и компоновки конструктивных систем в ЕС3, как и ДБН [3], рассматриваются в общем, без детального уточнения, так как их должны рассматривать проектировщики, которые берут на себя ответственность за качество принятых решений.

6. Одним из самых важных положений ЕС3 является наличие раздела 8 «Проектирование, основанное на испытаниях», в котором указано следующее: «Когда применяемые расчетные модели недостаточны для конкретной конструкции или ее компонентов, при проектировании возможно применение данных экспериментальных исследований вместо предлагаемых методов расчета и проектирования». Также ЕС3 разрешает применять результаты экспериментальных исследований, когда проектирование в соответствии с ЕС3 дает не экономичные результаты. Эти положения ЕС3 позволяют активно внедрять в практику проектирования результаты экспериментальных исследований и оставляют возможность для постоянного обновления и совершенствования ЕС3. Требования к экспериментальным образцам, экспериментальным установкам, контрольным приборам и испытательному оборудованию, порядку и методам обработки эксперимента в ЕС3 достаточно жестко регламентируются.

7. Можно отметить, что по ДБН, в отличие от Еврокода, предполагается проектировать здания, имеющие более высокую степень надежности, в связи с расчетом на более длительный установленный срок эксплуатации, что влечет за собой удорожание конструкции. В любом случае, при нынешней системе проектирования, которая действует в Украине, ответственность за принятие решений лежит на инженере-проектировщике. Но, при этом, требование Еврокода по обеспечению уровня надежности всего ряда строительных конструкций не ниже 0,0001 отказов за 50 лет должно обязательно соблюдаться.

[1] ДБН В.1.2-14:2018. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ. / Мінрегіонбуд України. – К.: ДП «Укрархбудінформ», 2018.

[2] ДБН В.1.2-2:2006. Навантаження і впливи. Норми проектування / Мінбудархітектури України. – К.: Сталь, 2006.

[3] ДБН В.2.6-198:2014. Сталеві конструкції. Норми проектування/ Мінрегіон України. – К.: ДП «Укрархбудінформ», 2014.

[4] ДБН А.1.1-94:2010. Проектування будівельних конструкцій за Єврокодами. Основні положення / Мінрегіонбуд України. – К.: ДП «Укрархбудінформ», 2012.

[5] ДСТУ Б В.1.2.-3:2006. Прогини і переміщення. Вимоги проектування/Мінбуд України. – К.: Сталь, 2006.

[6] EN1990 Eurocode 0: Basis of structural design.

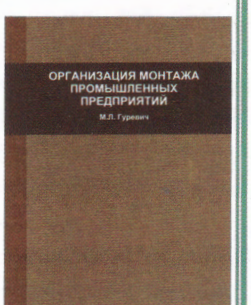
[7] EN1991 Eurocode 1: Actions on structures.

[8] EN 1993 Eurocode 3: Design of steel structures.

Надійшла 24.01.2020 р.

Нові книги

«ОРГАНИЗАЦИЯ МОНТАЖА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ»
(автор М.Л. Гуревич)



В книге описаны прогрессивные методы монтажа, большинство из которых осуществлены на практике. Наряду с описанием опыта монтажа строительных конструкций в книге также приведен опыт монтажа основного технологического оборудования. Большое внимание обращено на решение инженерно-технических задач в процессе подготовки к монтажу.

Книга также дает общее представление о промышленных предприятиях и сооружениях, их предназначении и краткое описание происходящих в них технологических процессах.

Издание предназначено для инженерно-технических работников, занимающихся вопросами проектирования и организации монтажных работ. Описанный опыт монтажа поможет им в выборе эффективных технических решений и в дальнейшем совершенствовании методов монтажа.

Информация по адресу: **gurevychm@gmail.com**

КЛАССИФИКАЦИЯ СОВРЕМЕННЫХ ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ

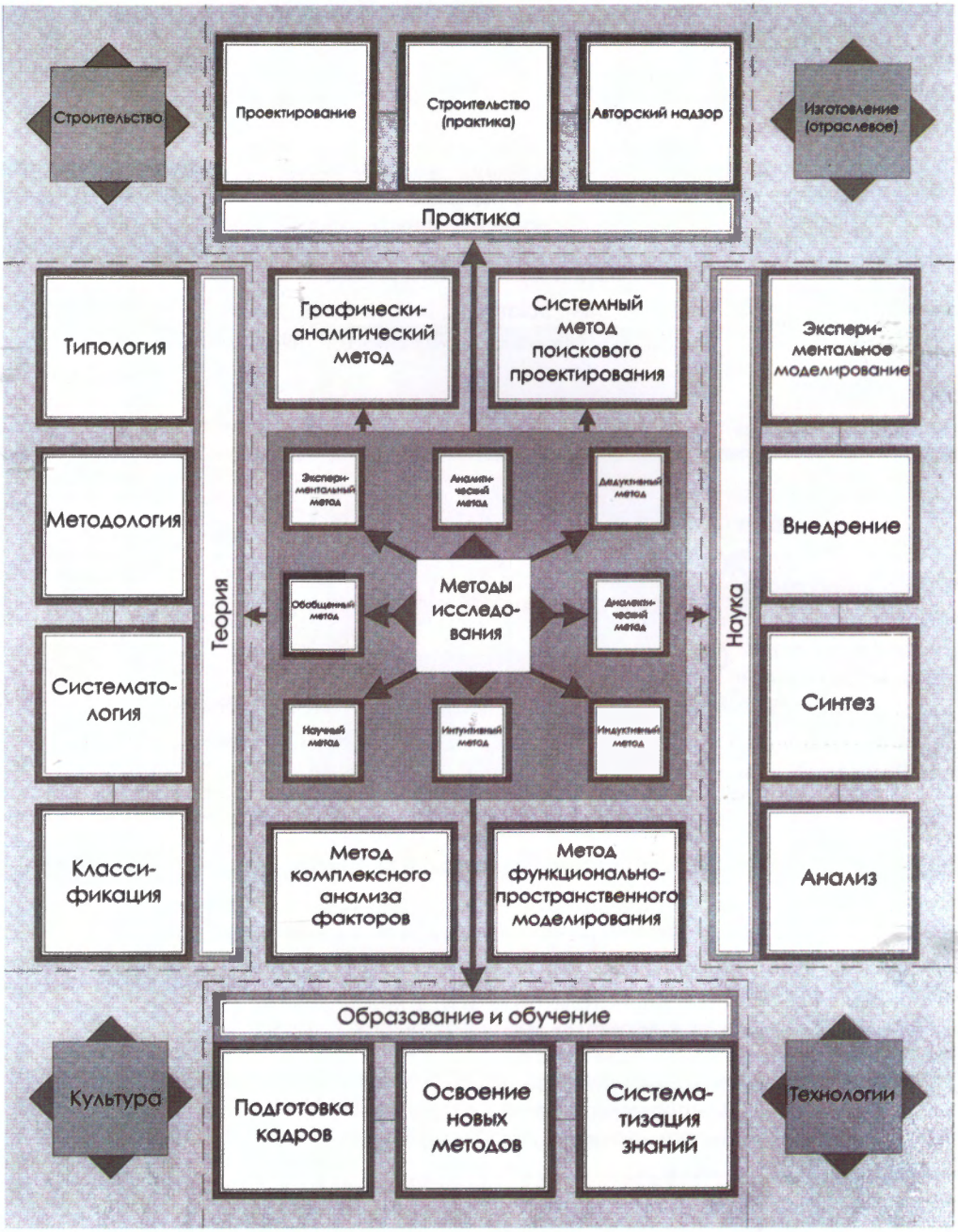


Моради Пур Омид
аспирант Киевского национального университета строительства и архитектуры

Типологическая систематизация любого типа современных зданий основывается на научно-исследовательских, экспериментальных наработках и нормативных требованиях. В экспериментальное проектирование внедряются новые идеи, устанавливаются общие положения методики исследования. Однако, современный период развития энергоэффективных технологий отличается повышенной активностью научно-исследовательской работы и экспериментального проектирования с целью выработки общих принципов архитектурно-планировочной организации зданий с адаптированными в их структуру элементами системы энергосбережения. Подобная систематизация должна основываться на научно-обоснованных приемах и принципах энергосбережения (традиционных и инновационных) с особенностями их влияния на архитектурное проектирование, которое в свою очередь (особенно в период предпроектного анализа) должно обязательно опираться на научно обоснованные нормы, требования и проектный опыт. Это тот случай, когда традиции и новаторство объединяясь, образуют новое глобальное направление в науке, технике и архитектуре. Проведенный анализ архитектурно-планировочных схем гражданских зданий с ЭСТ показывает, что основными признаками для их классификации выступают критерии, очень тесно связанные с основными формообразующими факторами: природно-климатические, градостроительные, конструктивно-технологические, экологические, социально-экономические, научно-технические, а также – эстетические, функционально-планировочные, уровень технического общества и инновационных технологий в этой области, безопасность эксплуатации ЭС оборудования для окружающей природы и сохранение существующих экосистем.

Согласно анализу мирового зарубежного и отечественного опыта, энергоэффективные здания можно классифицировать по таким признакам:

- ***величине*** – здания малой и средней этажности, многоэтажные здания; малые, средние жилые образования, комплексы, микрорайоны, поселки;
- ***виду используемого возобновляемого источника энергии*** – солнечной, ветровой, волн, приливов и отливов (гидроэнергия), органических отходов (биоэнергия), геотермальная, гидротермальная, внутренних источников, энергия сброса тепла в различных технологических циклах;
- ***типу взятой за основу конструктивной системы*** – стеновая конструкция, ж/б каркас, сборно-монолитный каркас, оболочки;
- ***типу технологического оборудования*** – солнечные аккумуляторы, мини-ГЭС, ветроустановки, гидротермальное оборудование, насосы для улавливания тепла от технологических процессов;
- ***типу планировочной сетки*** – квадратная, треугольная, радиально-кольцевая, сложная – смешанного типа;
- ***виду применяемых в энергосбережении инноваций*** – традиционное оборудование, экспериментальное оборудование, высокотехнологичное оборудование, нанотехнологии;
- ***приему размещения оборудования относительно зданий*** – размещение внутри или на здании: *встроенные* генераторы тепловой энергии; *пристроенные* специальные печи по переработке и сжиганию биотоплива; *надстроенные* – размещенные на крышах солнечные батареи, аккумуляторы, вмонтированные на стенах и крышах и другое оборудование; размещенные *вне здания*: ветрогенераторы (с ветроустановками, находящимися на здании или вне здания); аккумуляторы энергии и насосы, улавливающие энергию подземных термальных источников и тепла земных недр; гидроэлектростанции, размещающиеся вблизи рек, геотермальные и гидротермальные насосы, донные морские гидрогенераторы, использующие энергию приливов и отливов. А также классификация энергосберегающего жилья *по уровню выдвигаемых задач переоснащению и строительству*: новое строительство, модернизация, реконструкция с модернизацией, реконструкция с пристройкой (надстройкой);



Последовательность организации архитектурно-планировочной структуры ЭСТ

- ***типу блокирования зданий*** – модулей, секций;
- ***типу размещения в городской среде***;
- ***типу организации архитектурного пространства***.

Классификация по всем вышеупомянутым признакам, по мнению автора, создает наиболее полную картину и формирует систему требований к проектированию энергосберегающих и энергоэффективных зданий еще на стадии предпроектного анализа и экспериментального моделирования. Подобная классификация позволяет на первой стадии проектирования наиболее детально проанализировать все исходные данные, условия проектирования и разработать теоретическую модель будущего здания или комплекса зданий. При соблюдении всех положений, рекомендаций, учета основных формообразующих факторов, а также основных пунктов этой классификации, возможно получить в результате вариативного проектирования наиболее проработанный вариант энергоэффективного здания, наилучшим образом адаптированного к функционированию в местных природно-климатических условиях.

Надійшла 20.08.2019 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 № 1 від 05.03.2020 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 05.03.2020 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**

Вітаємо із 80-річчям

СЕРГІЯ ФЕДОРОВИЧА ПІЧУГІНА

доктора технічних наук, професора, завідувача кафедри конструкцій з металу, дерева та пластмас Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», члена редакційної колегії журналу «Промислове будівництво та інженерні споруди»



Пічугін С.Ф. після закінчення Полтавського інженерно-будівельного інституту працював у Сибірському відділенні інституту «Проектстальконструкція». Самостійно проектував такі унікальні об'єкти, як телевізійні опори для Іраку, бункерні естакади Західно-Сибірського металургійного комбінату, сейсмостійкі будівлі Байкальського целюлозного заводу.

З 1974 р. працює в Національному університеті «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка». У 1994 р. захистив докторську дисертацію на тему «Надійність сталевих конструкцій виробничих будівель» і отримав звання професора. З 1995 р. і по теперішній час обіймає посаду завідувача кафедри конструкцій з металу, дерева та пластмас, яка готує висококласних фахівців, у т.ч. за розробленою за ініціативи Сергія Федоровича освітньо-професійною програмою «Проектування та спорудження об'єктів нафтогазодобувного комплексу».

Крім основного курсу «Металеві конструкції», він підготував, методично забезпечив та веде на основі своїх досліджень авторські навчальні курси «Надійність технічних систем», «Надійність будівель і споруд», «Сучасні проблеми надійності в будівництві», «Методика граничних станів і нормування навантажень».

Під керівництвом проф. Пічугіна С.Ф. протягом 50 років плідно працює і розширюється єдина в Україні наукова школа «Надійність будівель і споруд», в рамках якої проводяться масштабні ймовірнісні дослідження випадкових навантажень на будівлі і споруди, розробляються розрахунки надійності конструктивних елементів і систем.

Під науковим керівництвом професора Пічугіна С.Ф. підготовлено та захищено 2 докторські та 18 кандидатських дисертацій; отримано 27 патентів.

Пічугін С.Ф. є автором 20 монографій і 18 навчальних посібників та понад 400 наукових статей. Він брав активну участь у розробленні нормативних документів України: ДБН 362-92 «Оцінка технічного стану сталевих конструкцій виробничих будівель і споруд, що експлуатуються», ДБН В.1.2-2:2006 «Навантаження і впливи. Норми проектування», ДБН В.1.2-14-2009 «Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ», ДБН В.2.6-163:2010 «Сталеві конструкції. Норми проектування, виготовлення і монтажу», ДСТУ-Н Б В.1.2-16:2013 «Визначення класу наслідків відповідальності та категорії складності об'єктів будівництва», ДСТУ Б В.2.6-210:2016 «Оцінка технічного стану будівельних сталевих конструкцій, що експлуатуються».

Пічугін С.Ф. – академік Академії будівництва України, експерт секції «Технології будівництва, дизайн, архітектура» Наукової ради МОН України, член двох спеціалізованих рад із захисту докторських і кандидатських дисертацій, головний редактор «Збірника наукових праць. Серія: галузеве машинобудування, будівництво» ПолтНТУ, член редколегій наукового журналу и трьох наукових збірників.

Пічугін С.Ф. – лауреат Державної премії України в галузі науки та техніки (2011 р.) за участь у роботі «Високоефективні технології та комплексні конструкції в промисловому й цивільному будівництві», Державний стипендіат як видатний діяч науки (2017–2019 рр.), відмінник освіти України. Нагороджений Почесною грамотою Верховної ради України, Почесними грамотами та нагрудними знаками Міністерства освіти і науки України: «Петра Могили» за вагомий внесок у розвиток національної освіти і науки України, «За наукові досягнення» та «За наукові та новітні дослідження».

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