

часом, але проявляє себе у просторі-часі у вигляді резонансно-квантової взаємодії матерії на всіх рівнях її структуризації.

Результати теоретичних та експериментальних досліджень унікальних властивостей досконалих циклічних пропорцій засвідчують, що таких пропорцій дуже багато. Так, зростання кількості елементів досконалих циклічних пропорцій на один порядок супроводжується збільшенням загальної кількості цих структур приблизно на три порядки. Можна впевнено говорити про існування теоретично як завгодно великих множин таких співвідношень, число інваріантів яких тим більше, чим більше елементів вони обіймають. Це відкриває можливості для розгортання фундаментальних та прикладних досліджень для створення новітніх технологій на засадах теорії досконалих циклічних

пропорцій. З-поміж важливих проблем, які треба подолати, слід визначити клас задач, які можуть бути успішно розв'язаними на засадах теорії досконалих циклічних пропорцій з використанням зручних методів та відповідних графічних, геометричних чи алгебричних моделей. Цей підхід відкриває можливості для широкого застосування одно- і багатовимірних досконалих циклічних пропорцій і їх симетричних перетворень у практиці проектування новітніх засобів, систем та пристроїв обчислювальної техніки з поліпшеними технічними характеристиками за надійністю, швидкістю, роздільною здатністю та іншими важливими показниками і не лише в технічних галузях, але й в суспільних науках та навчально-освітній сфері на засадах законів гармонії „природи і виховання”<sup>3</sup>.

Володимир РІЗНИК

## ПРОБЛЕМИ КОРОЗІЇ МЕТАЛІВ В УКРАЇНІ

Корозія металів — процес їх руйнування унаслідок самовільної хемічної чи електрохемічної взаємодії з корозивним середовищем. Цей вид руйнування — одна з найпоширеніших причин передчасного, нерідко аварійного виходу з ладу будівельних конструкцій, різних машин, приладів тощо. Корозія спричинює великі матеріальні збитки в різних галузях промисловості, особливо інтенсивно кородують морські споруди, підземні комунікації, обладнання хемічних, енергетичних та інших підприємств.

Особливо актуальна ця проблема для України як однієї з найбільш металонасичених держав Східної Європи, металофонд якої за рівнем корозійної захищеності, довговічності та надійності значно поступається рівневі, якого вже досягнула більшість промислово розвинутих країн.

За останні десятиліття різко скоротилося будівництво нових промислових об'єктів, а корозійне руйнування старих швидко розвивається. Така тенденція може стати небезпечною для нашої держави.

Металургійна промисловість України випускає ще надто мало корозійно захищеного прокату (менш ніж 5 відсотків), у той час як у США, західноєвропейських країнах та Японії деякі профілі прокату становлять понад 60—80 відсотків. Зокрема, у Польщі сьогодні працює близько 80 заводів, цехів і виробничих дільниць з покриття гарячим цинком (розплавом) металоконструкцій, в Німеччині — удвічі більше, а в Україні — одиниці, до того ж повною мірою не завантажені. На дорогах Європи не можливо побачити незахищені неоцинковані іржаві стовп,

загрожу чи іншу металеву конструкцію. У нас — звичне явище.

Будівельники, комунальники та інші споживачі металопродукції недостатньо забезпечені якісними вітчизняними засобами протикорозійного захисту. Значним залишається обсяг робіт з протикорозійного захисту металоконструкцій в так званих польових умовах, коли їх поверхню абияк захищають металевими щітками, брудним піском тощо. Така „підготовка“ дає тільки зайві витрати, оскільки покриття, зроблене на погано підготовлену поверхню, не ефективно, під ним конденсується волога, яка зумовлює підпльовку корозію і руйнує метал іноді швидше, ніж без будь-якого захисту. На жаль, така практика, коли конструкцію **малюють**, а **не захищають**, ще застосовується під час ремонту мостів, будівельних металевих конструкцій, комунальних споруд і комунікацій.

Все це спричинює значні матеріальні збитки від корозії у різних галузях господарства, які через ліквідацію статистичної звітності та об'єктивних методик оцінки точно визначити неможливо. Перед здобуттям Україною незалежності (коли ще здійснювався облік таких втрат) ця цифра становила близько 4,5—5 відсотка внутрішнього валового продукту (ВВП). Сьогодні такі втрати набагато більші. На численних підприємствах металоконструкції просто „зігнивають”.

Сьогодні більше половини мостів, які перебувають у комунальній власності, не відповідають вимогам чинних норм експлуатації. Нині телекомунікаційні вежі, опори ліній електропередач та



Загальний вигляд ураженого корозією резервуару гарячої води на коксохемічному заводі

<sup>3</sup> Вейль Г. Симметрия.— Москва, 1968.— 192 с.

інші подібні споруди через корозійні ураження часто руйнуються від незначних вітрових навантажень.

Близько 17 тис. км водопровідних та понад 5 тис. км каналізаційних мереж перебувають в аварійному стані. Це створює значні проблеми у багатьох населених пунктах, особливо на Півдні України.

Наведені приклади належать до таких видів корозійного руйнування металів, які розвиваються впродовж порівняно тривалого часу, їх можна легко виявити і за бажанням і можливістю усунути.

Особливо небезпечне корозійно-механічне руйнування, зокрема, корозійна втома металів, яка відбувається під час одночасної дії на них корозивних середовищ і циклічних навантажень. Корозійна втома характерна для всіх конструкційних сплавів на основі алюмінію, заліза, магнію, міді і часто є причиною аварійного руйнування конструкцій. Наприклад, штучна морська вода (3-відсотковий розчин NaCl) у п'ятеро-ушестеро знижує межу втоми середньовуглецевої сталі у загальному машинобудуванні. Аналогічно знижує цю характеристику сталі звичайна водопровідна вода та багато інших середовищ.

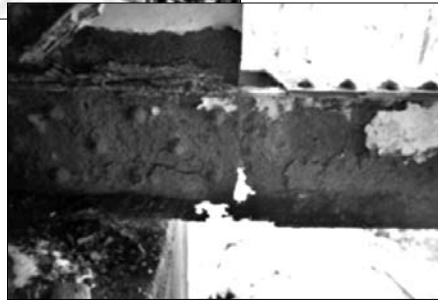
Надзвичайно небезпечне також корозійне розтріскування металів, яке настає унаслідок експлуатування під одночасним впливом механічних напружень розтягу та корозійних середовищ елементів конструкцій. Уже виявлено близько 300 систем метал-середовища, для яких можливе корозійне розтріскування. Ці види руйнування поширені в енергетиці, трубопроводному транспорті, на хемічних, металургійних, гірничорудних, нафтогазодобувних підприємствах.

Вивчення явищ корозії і боротьба з ними має давню історію. Відтоді, як людство почало використовувати для своїх потреб метали, питання їх захисту від корозії не перестало бути актуальним. Розкриття механізмів корозії металів за умов впливу різних експлуатаційних чинників, поглиблення теорії цього процесу та створення нових методів підвищення опору корозії та корозійно-механічному руйнуванню матеріалів винятково актуальна міждисциплінарна проблема, різні аспекти якої є предметом досліджень науковців багатьох промислово розвинутих країн, у тому числі й України. В нашій країні такі дослідження проводять колективи багатьох інституцій Національної академії наук України, вищих навчальних закладів та галузевих інститутів. До них насамперед слід віднести такі наукові центри НАН України, як Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка (ФМІ), Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона (ІЕЗ), Інститут проблем

матеріалознавства ім. І. М. Францевича (ІПМ), Інститут фізики твердого тіла, матеріалознавства та технологій Національного наукового центру „Харківський фізико-технічний інститут“ (ІФТТМТ ННЦ „ХФТІ“), Інститут загальної і неорганічної хемії ім. В. І. Вернадського (ІЗНХ), Інститут мікробіології і вірусології ім. Д. К. Заболотного (ІМВ), Інститут хемії високомолекулярних сполук (ІХВС). Серед вищих шкіл, що працюють у цій галузі науки, відзначимо НТУУ „Київський політехнічний інститут“, НТУ „Харківський політехнічний інститут“, Дніпропетровський хеміко-технологічний університет (ДХТУ), Чернігівський державний технологічний університет (ЧДТУ), Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу (ІФНТУНГ), Національна металургійна академія України (НМетАУ) та ін.

На жаль, за останні десятиріччя наша наука втратила багатьох талановитих учених, керівників наукових шкіл (акад. Г. Карпенка, І. Францевича, чл.-кор. Л. Антропова, Г. Максимовича, О. Романіва, проф. Ю. Бабея, В. Кузуба, А. Кузюкова, Р. Мелехова, Ю. Лошкарьова, К. Омельченка). Багато відомих фахівців-корозіоністів за віком припинили активну наукову діяльність. Все це відобразилося на зміні наукових пріоритетів у багатьох університетах та інститутах, дослідження численних важливих наукових напрямів помітно скоротилися.

Негативно вплинули на таку трансформацію занепад багатьох галузей промисловості та втрата зацікавленості виробників новими науковими здобутками, скорочення обсягів фінансування науки, вкрай недостатнє її матеріально-технічне та інформаційне забезпечення. Попри те, Україна зберегла провідні наукові позиції у багатьох



Типовий приклад корозійного руйнування сталевих мостів

напрямах корозійної науки.

У дослідженні корозійно-механічного руйнування металів і сплавів провідні позиції посідає ФМІ, де ці роботи започаткував акад. Георгій Карпенко.

Світового рівня результати отримав акад. Карпенко під час дослідження масштабного ефекту при корозійній втомі металів з використанням спеціально створеного в інституті оригінального обладнання. Ці результати дали можливість машинобудівникам раціональніше вибирати матеріали та технології виготовлення гребних валів великотоннажних суден, атомних криголамів, обважнених свердлильних труб та подібних до них великогабаритних конструкцій.

На основі поєднання положень механіки руйнування і електрохемії В. Панасюк, О. Романів, І. Дмитрах, Г. Никифорчин зі співробітниками<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Романів О. Н., Никифорчин Г. Н. Механіка корозійного руйнування сплавів.— Москва, 1986.— 294 с.; Дмитрах І. М., Панасюк В. В. Вплив корозійних середовищ на локальне руйнування металів біля концентраторів напружень.— Львів, 1999.— 341 с.

дослідили взаємозв'язок умов навантаження та електрохімічних параметрів металу біля вершини корозійно-механічної тріщини під час її росту, запропонували критерії та нові підходи до оцінки ресурсу металоконструкцій.

Під керівництвом Г. Максимовича<sup>2</sup> у ФМІ започатковано дослідження рідкометалевої корозії, які успішно розвиваються, а саме вивчення механізму руйнування сталей і сплавів на основі заліза і важкоплавких металів у розплавах натрію, літію, свинцю та інших легкоплавких металів, що є перспективними теплоносіями енергетичних установок нового покоління.

В інституті створено унікальне обладнання і методики дослідження водневої корозії, зокрема, впливу газоподібного водню за високих тисків і температур на дифузійні процеси в металах, їх міцність і пластичність<sup>3</sup>. Результати цих досліджень використані під час створення ракетного комплексу „Енергія-Буран“. Сьогодні вони мають важливе значення у зв'язку з перспективою використання водню як екологічно чистого пального у різних двигунах та енергетичних агрегатах.

Щоб глибше зрозуміти механізм початкової стадії корозії та корозійно-механічного руйнування металів і раціонально підібрати методи їх протикорозійного захисту, віднедавна у ФМІ розпочалися дослідження з комп'ютерного моделювання взаємодії атомів і молекул середовища з кластерами металів із застосуванням квантово-хімічних і молекулярно-динамічних методів.

Вагомий внесок у розвиток теорії та в практичну реалізацію електрохімічного захисту сталевих конструкцій від корозії зробили вчені ІПМ. Ще 1953 р. І. Францевич зі співробітниками визначили оптимальний захисний потенціал сталі в умовах катодного захисту, а також корозійну активність різних ґрунтів, і на цій основі розробили комплексний електрохімічний захист газопроводу Дашава—Київ. Започатковані в ІПМ, роботи з електрохімічного захисту сталевих конструкцій актуальні до сьогодні, їх успішно продовжують інші наукові колективи. В ІПМ розроблено також ефективні протекторні сплави, які застосовують для захисту морських споруд, плавзасобів, підземних комунікацій від корозії. ІПМ має вагомий здобутки у галузі дослідження кінетики

та механізму високотемпературної корозії різноманітних матеріалів, які потрібні для розвитку авіаційної промисловости, ракетної техніки, машинобудування.

Методи боротьби з корозією металів, що ґрунтуються на раціональному виборі їх хімічного складу і структури, зменшення вмісту сірки, фосфору, інших шкідливих домішок, нанесення покриттів і наплавок розвиваються в ІЕЗ під керівництвом акад. Б. Патона, І. Походні та ін. Ці дослідження дали можливість істотно підвищити опір корозійно-механічному руйнуванню сталей і їх зварних конструкцій, що сприяло широкому практичному використанню цих методів під час виготовлення енергетичного, хімічного, металургійного устаткування, у будівництві магістральних нафто-, газопроводів, інших інженерних споруд, що експлуатуються під впливом корозійних середовищ. ІЕЗ розвиває також дослідження у галузі корозійного моніторингу магістральних трубопровідних систем, та інших об'єктів. Роботи з цієї проблематики сьогодні успішно проводять також у ФМІ, НТУУ „КПІ“, Івано-Франківському НТУ нафти і газу, у ряді галузевих інститутів.

Наукові колективи ІЕЗ, ІПМ, ФМІ, ІХВЕ, ІЗНХ зробили вагомий внесок у створення вакуумних, магнетронних, газотермічних покриттів і наплавок для захисту від газової й електрохімічної корозії та зношування елементів реактивних двигунів, компресорів, деталей енергетичного, хімічного, металургійного, нафтогазового обладнання тощо. Ці дослідження відповідають світовим тенденціям, у нас починає формуватися новий у матеріалознавстві піднапрямок „Інженерія поверхні“.

У цьому напрямку вагомий теоретичний і практичний результати отримали також колективи матеріалознавчих кафедр НТУ „ХПІ“, ДХТУ і НУ „Львівська політехніка“, НТУУ „КПІ“ та ін.

У ІФТТМТ ННЦ „ХФТІ“ в рамках програми МАГАТЕ досліджують природу і механізм корозійного пошкодження елементів реакторів АЕС залежно від часу та умов їх експлуатації. Для подібних досліджень у ФМІ створено міжгалузеву лабораторію для вивчення корозійної тривкості конструкційних реакторних матеріалів АЕС у теплоносії за робочих тисків і температур. Отримано кількісні дані про вплив води високих параметрів на тріщиноздатність реакторних ста-



Корозійне руйнування залізобетонних конструкцій перекриття мостів і морських естакад

<sup>2</sup> Максимович Г. Г., Шатинский В. Ф., Лютый Е. М. Високотемпературная работоспособность тугоплавких металлов и сплавов в агрессивных средах.— К., 1982.— 224 с.

<sup>3</sup> Похмурский В. И., Швед М. М., Яремченко Н. Н. Влияние водорода на процессы деформирования и разрушения железа и стали.— К., 1977.— 59 с.; Швед М. М. Изменение эксплуатационных свойств железа и стали под влиянием водорода.— К., 1985.— 118 с.; Похмурский В. И., Федоров В. В. Влияние водню на дифузійні процеси в металах.— Львів, 1998.— 207 с.; Панасюк В. В., Андрейкив А. Е., Харин В. С. Теоретический анализ роста трещин в металах при воздействии водорода // Физ.-хим. механика материалов.— 1981.— № 4.— С. 61—75; Ткачев В. И., Холодный В. И., Левина И. Н. Работоспособность сталей и сплавов в среде водорода.— Львов, 1999.— 255 с.

лей, які використані проєктними організаціями для розрахунку корпусів реакторів та пароперегрівачів. Сьогодні такі дослідження необхідні для достовірнішої оцінки надійності обладнання АЕС у зв'язку з вичерпуванням ним розрахункового експлуатаційного ресурсу.

Відомим центром дослідження біологічної корозії матеріалів є ІМВ ім. Д. К. Заболотного НАН України. Дослідження мікробіологічної корозії магістральних газопроводів у різних кліматичних зонах СНД підтвердили, що активний і пасивний захисти металевої споруди часто сприяють формуванню геохімічного активного угруповання мікроорганізмів, яке стає агресивним і руйнує цю споруду. Місце утворення такого угруповання — тонка феросфера, що контактує з металевою поверхнею. В цій зоні активно розмножуються й функціонують бактерії циклу сірки та їх асоціанти, відбуваються основні процеси мікробної корозії. Отримано нові дані про формування й архітектури біоплівки на поверхні металу і захисних покриттів, запропоновано ефективні методи пригнічення біокорозії.

Дослідження з інгібіторного захисту металів від корозії проводять у ФМІ та ІНФООУ, а також у багатьох вищих школах і галузевих інститутах (НТУУ „КПІ“, ДХТУ, ЧДТУ, НМетАУ, НВО „Галичина“, НВО „Інкор“ та ін.).

Це свідчить, що в Україні, попри кризові явища, зберігся і плідно працює значний науковий потенціал, але практична реалізація його наукових рекомендацій залишається досить низькою через брак ділових контактів між ученими і виробниками, вкрай низьке інвестування у науку.

На розвиток наукових досліджень у скрутний період становлення нашої держави позитивно впливає Українська асоціація корозіоністів (УАК), заснована 1992 р. як добровільне самоврядне об'єднання організацій і окремих фахівців, що працюють у різних галузях захисту конструкційних матеріалів від корозії. Вона об'єднує майже 60 ор-

ганізацій-колективних членів та приблизно 100 індивідуальних членів — корозіоністів, хеміків, електрохіміків та матеріалознавців.

Основна увага асоціації зосереджена на організації та проведенні в Україні міжнародних і національних конференцій-виставок, семінарів з корозійної проблематики. Проведено десять міжнародних конференцій-виставок з проблем корозії та протикорозійного захисту (щодва роки, починаючи з 1992 р.), на яких розглянуто понад 1000 пленарних, секційних та стендових доповідей. Проведено низку тематичних конференцій, семінарів, нарад та ін. Видано збірники матеріалів доповідей цих конференцій, а також спецвипуски журналу „Фізико-хімічна механіка матеріалів“, у яких опубліковано найкращі наукові матеріали цих конференцій.

У випуску друкованої продукції допомогу УАК подало Наукове товариство ім. Шевченка.

На конференціях, які проводяться УАК та ФМІ ім. Г. В. Карпенка НАНУ під патронатом Європейської корозійної федерації (ЕФС), НАН України, Міністерства освіти і науки, Міністерства промислової політики України, виступили з доповідями молоді перспективні вчені — відомі тепер доктори наук, проф. Марина Ведь, Роман Джала, Іван Зінь, Олег Калахан, Орест Кунтий, Сергій Поляков, Любомир Побережний,

Ганна Похмурська, Ольга Сиза, Мирон Хома, Олена Чигиринець та десятки кандидатів наук, що працюють у галузі матеріалознавства і протикорозійного захисту матеріалів.

У роботі цих конференцій брали участь відомі професори, вчені, зокрема президент Європейської корозійної федерації Л. Бонора (Італія), провідні науковці Азербайджану, Великобританії, Казахстану, Німеччини, Польщі, Португалії, Росії, Саудівської Аравії, Туреччини, Фінляндії, Угорщини, Хорватії, Японії та інших країн.

Асоціація виступила ініціатором, підготувала матеріали та забезпечила включення в 1993 р.



Члени організаційного комітету конференції-виставки „Корозія—98“, дійсні члени НТШ. Зліва направо: Василь Похмурський, Георгій Максимович і Олег Романів.  
9 червня 1998 р.



Спецвипуски журналу „Фізико-хімічна механіка матеріалів“, надруковані в Науковому товаристві ім. Шевченка у Львові

України до Міжнародної корозійної ради (ІСС). Україну в особі асоціації корозіоністів як недержавної установи у 1998 р. прийнято до Європейської корозійної федерації (ЕФС). Це сприяло встановленню контактів між українськими і зарубіжними вченими, а також розширенню участі наших науковців у таких авторитетних міжнародних форумах, як Європейські корозійні конгреси серії „Еврокор“, що відбулися в містах Тронхеймі (Норверія), Аахен (Німеччина), Лісабон (Португалія), Будапешт (Угорщина) та ін.

Отже, проблема захисту від корозійного руйнування металофонду у базових галузях про-

мисловості особливо актуальна для України; в країні функціонує значний науковий потенціал, що має вагомі наукові здобутки в галузі протикорозійного захисту конструкційних матеріалів, але рівень їх використання промисловістю і інвестиції промисловості в науку вкрай низькі; щоб суттєво поліпшити питання захисту від корозії та продовжити ресурс металоконструкцій базових галузей промисловості, треба на державному рівні цю проблему віднести до пріоритетних і прийняти окрему цільову програму, забезпечивши її необхідним фінансуванням.

Василь ПОХМУРСЬКИЙ

## ТЕХНОГЕННЕ ЛИХО ШАХТАРСЬКОГО КРАЮ

Промислове добування вугілля в Україні розпочалося наприкінці ХІХ ст. і набуло максимального розвитку у 60—80 рр. ХХ ст. Упродовж останніх двадцяти років його видобуток скоротився утричі. Це пов'язане не лише з виснаженням родовищ вугілля та кризовими явищами в економіці, але й з технічним занепадом вугледобувних підприємств, основні засоби виробництва яких уже давно відпрацювали свій потенціальний ресурс і потребують оновлення. Саме тому віднедавна на наших шахтах відбуваються масштабні техногенні катастрофи.

Основні запаси вугілля зосереджені у Донецькому вугільному басейні. Велика частина його залягає у Львівсько-Волинському кам'яно-вугільному та Дніпровському буровугільному басейнах.

На сьогодні фонд шахт в Україні становить 160 шахт, з яких 140 — державні. Виробнича потужність їх не перевищує 80 млн. тонн вугілля на рік.

**Техногенна екологічна небезпека**

**шахтарських виробничих комплексів.** Загалом від 1880 р. — донині видобуто щонайменше 4 мільярди тонн вугілля, обсяг якого становить приблизно 3 мільярди куб. м. Залягає кам'яне вугілля у вигляді пластів і лінзоподібних покладів різної потужності (від десятків сантиметрів до кількох

десятків і сотень метрів) на різних глибинах (від виходів на поверхню до 2500 м і глибше).

Унаслідок такого тривалого масштабного видобутку вугілля виникли величезні підземні порожнини, нагромадження відвалів гірської породи — териконів, різних хвостосховищ. Усе це зумовило негативні техногенні зміни в навколишньому середовищі<sup>1</sup>, з-поміж яких вельми загрозливі такі:

- нагромадження пухких і нестійких техногенних відкладів гірської породи, що містить агресивні хемічні субстанції, у териконах (Іл. 1);
- втрата значних площ природних та агрокультурних екосистем, які відіграють вагомую локальну екологістабілізуювальну функцію;
- осідання земної поверхні та її затоплення (Іл. 2);
- зміна балансу ґрунтових вод і виснаження водоносних горизонтів;
- порушення природної циркуляції вод та їх забруднення;
- забруднення ат-



1. Великомасштабне космічне зображення гірничодобувного та збагачувального виробничого комплексу в смт Соснівка (Сокальський р-н Львівської обл.). Дж.: Google Планета Земля: безкоштовна версія. — [www.earth.google.com](http://www.earth.google.com)

мосфери;

- зміни мікроклімату;
- заповнення порожнин копалень шахтними водами.

Ці явища негативно впливають на здоров'я населення. Зокрема, спостерігаються масове ура-

<sup>1</sup> Про вдосконалення структури екологічної служби Міністерства вугільної промисловості України // Міністерство вугільної промисловості України (Мінвуглепром). Наказ № 88 від 08. 02. 2006, станом на 26 березня 2007 року. — [www.uapravo.net/data/base12/ukr12545.htm](http://www.uapravo.net/data/base12/ukr12545.htm) — 20к