

КИЇВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

На правах рукопису

Корольов Володимир Петрович

**Конструктивні, технологічні та експлуатаційні
фактори довговічності сталевих конструкцій у
корозійних середовищах**

Спеціальність 05.23.01 - Будівельні конструкції, будівлі та споруди

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук



Київ - 1996

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі "Металеві конструкції" Донбаської державної академії будівництва і архітектури.

Науковий консультант – доктор технічних наук, професор
Горохов Євген Васильович

Офіційні опоненти:

1. Доктор технічних наук, професор
Пермяков Володимир Олександрович
2. Доктор технічних наук, професор,
член-кореспондент НАН України
Похмурський Василь Іванович
3. Доктор технічних наук, професор,
заслужений діяч науки і техніки України
Сільвестров Анатолій Васильович

Провідна організація – Акціонерне товариство Український науково-дослідний та проектний інститут сталевих конструкцій Державного комітету України у справах містобудування і архітектури, м. Київ

Захист відбудеться "15" ~~БЕРЕЗНЯ~~ 1996 р. о 13 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 01.18.05 Київського державного технічного університету будівництва і архітектури за адресою: 252037, Київ-37, Повітрофлотський проспект, 31.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Київського державного технічного університету будівництва і архітектури за адресою: 252037, Київ-37, Повітрофлотський проспект, 31.

Автореферат розісланий "8" ~~лютого~~ 1996 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
К. Т. Н., С. Н. С.

Кобієв

Кобієв В.Г.

ЛННБ України ім.В.Стефаника



00740088 (R)

ЛННБ ім. В. Стефаника
АН України

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми і ступінь дослідженості тематики дисертації. Корозійне руйнування є одним з основних недоліків будівельних металоконструкцій, для усунення якого потрібні додаткові витрати матеріальних ресурсів. В наш час близько 50% металофонду будівель та споруд різних галузей промисловості та сільського господарства працює в умовах середньо - і сильноагресивних впливів. За даними експертних оцінок в Україні та в країнах СНД втрати від корозії складають 10-15% усього чорного металу, який виробляється, або 4-5% національного доходу. Проблема запобігання корозійному руйнуванню є важливою складовою частиною комплексного завдання підвищення надійності та довговічності будівельних металоконструкцій.

Основні розділи дисертації становлять теоретичні та експериментальні дослідження, виконані:

- у 1986-1990 рр. за завданням 04.01.Н1 науково-технічної програми 0.55.01.101 "Розробити і впровадити прогресивні способи захисту будівельних металоконструкцій промислових підприємств від корозії".

- у 1991-1993 рр. по розділу 8.5 "Вирішення проблеми антикорозійного захисту ЛКМ" теми "Розробка комплексної програми розвитку легких несучих та огорожувальних будівельних металоконструкцій в Україні".

Створення довговічних та економічних конструктивних форм, здатних тривалий час зберігати працездатність при певних фізико-хімічних впливах корозійних середовищ, повинно починатися на стадії проектування і враховувати вимоги технологічної та експлуатаційної надійності. За цих умов слід створити науково обґрунтовані методи оцінки надійності та довговічності сталевих конструкцій, розробити нормативні документи, які будуть регламентувати правила технічної експлуатації будівель та споруд промислових об'єктів.

Мета і основні завдання наукового дослідження. Мета роботи полягає у створенні розрахунково-теоретичного методу забезпечення гарантованих показників надійності та довговічності сталевих конструкцій у корозійних середовищах при проектуванні, виготовленні, експлуатації та реконструкції.

Здійснення цієї мети пов'язане з розвитком нового наукового напрямку дослідження взаємодії конструктивної форми і агресивного середовища, заснованого на використанні сучасних вимог теорії корозії і захисту металів, кібернетики і обчислювальної техніки, теорії надійності будівельних конструкцій.

Досягнення поставленої мети можливе шляхом вирішення таких завдань:

- визначення принципів систематизації якісного й кількісного опису складу та інтенсивності корозійних впливів на конструкції будівель та споруд;

- обґрунтування розрахункових ситуацій, які характеризують режим експлуатації конструкцій у часі;

- вибору розрахункових моделей взаємодії параметрів конструктивної форми і факторів корозійних впливів;

- діагностики корозійного стану конструктивних елементів на основі фізико-хімічного моделювання показників корозійної стійкості і строків служби захисних покриттів;

- розвитку методу розрахунку за граничним станом з урахуванням характеру та інтенсивності корозійного зносу для оцінки показників надійності;

- розробки ефективних засобів і методів підвищення довговічності сталених конструкцій у корозійних середовищах.

Методи досліджень. За основу розробленого розрахунково-теоретичного методу забезпечення гарантованих показників надійності та довговічності сталених конструкцій у корозійних середовищах беруться концептуальні підходи теорії граничних станів, які включають визначення напружено-деформованого стану з урахуванням взаємодії підсистем Н-К-С, що адекватно описується запропонованими моделями корозійних елементів, алгоритмом чисельного моделювання режиму експлуатації будівель і споруд за допомогою фундаментальних закономірностей кінетики корозійних процесів, апарату будівельної механіки та теорії надійності.

Особистий внесок дисертанта у розробку наукових результатів. На захист виносяться такі наукові результати:

- експериментально-статистичних досліджень режиму експлуатації сталених конструкцій у корозійних середовищах;

- фізико-хімічного та математичного моделювання показни-

ків корозійної стійкості сталей ВСтЗсп, 09Г2С, 10ХНДП і 10ХСНД;

- експериментальних і теоретичних досліджень закономірностей корозійного руйнування основних типів профілів конструктивних елементів залежно від складу та інтенсивності корозійних впливів;

- експериментальних досліджень показників надійності й довговічності несучих і огорожуючих конструкцій покриттів будівель та споруд;

- засоби і методи підвищення довговічності сталених конструкцій з урахуванням конструктивних технологічних та експлуатаційних особливостей об'єктів.

Обґрунтування теоретичної і практичної цінності досліджень та їх наукової новизни. Наукова новизна і теоретичне значення результатів роботи полягає у розробці аналітичного методу розрахунку показників надійності сталених конструкцій у корозійних середовищах:

- розроблено системний підхід до опису агресивних впливів і проведено формалізацію режимів експлуатації будівельних металоконструкцій на основі експериментально-статистичних методів;

- сформульовано екстремальні принципи визначення розрахункових ситуацій, за якими можна визначати тривалість експлуатації з урахуванням ознак корозійного стану;

- вперше для розвитку концепції граничних станів виконано розрахунки на надійність та довговічність на основі розроблених розрахункових моделей корозійних елементів, що відбивають особливості взаємодії конструктивної форми і факторів агресивності;

- обґрунтовано методи детерміновано-статистичної оцінки показників надійності та довговічності для нормативної оптимізації проектування сталених конструкцій будівель та споруд у корозійних середовищах;

- розроблено новий методологічний підхід, за яким можна враховувати конструктивні, технологічні та експлуатаційні фактори корозійного руйнування сталених конструкцій автоматизованими методами шляхом утворення експертної системи;

- вперше сформульовано умови оцінки надійності та довговічності сталених конструкцій у корозійних середовищах для першої та другої груп граничних станів;

- розроблено новий алгоритм, за яким можна визначати строки служби конструктивних елементів з урахуванням встановлених показників корозійного стану;

- обгрунтована можливість використання моделей корозійних елементів для розрахунково-аналітичної оцінки коефіцієнта надійності протикорозійного захисту γ_{zn} , аналізу напружено-деформованого стану сталених конструкцій при розв'язанні інженерних задач з використанням методу скінчених елементів;

- розроблено конструктивні й технологічні заходи, за якими можна підвищити довговічність несучих та огорожуючих конструкцій покриттів будівель та споруд, у тому числі легких металевих конструкцій (ЛМК) комплектної поставки.

Практична цінність роботи полягає у такому:

- одержано характеристики складу і концентрації агресивних впливів на сталені конструкції у робочих середовищах підприємств чорної та кольорової металургії, важкого машинобудування, хімічної та гірничорудної промисловості, енергетики, сільського господарства, спортивних і видовищних споруд;

- розроблений розрахунково-теоретичний метод забезпечення проектних показників доведено до комплексу програм, які використовуються для вибору та обгрунтування заходів щодо протикорозійного захисту об'єктів різного призначення;

- сформульовано додаткові вимоги до проектування ЛМК при використанні тонкого сталеного листа, гнутих і гнuto-зварних профілів;

- розроблено і обгрунтовано сфери раціонального застосування протикорозійної мастики ППК і методів катодного захисту сталених конструкцій;

- створено методики, рекомендації та посібники по забезпеченню довговічності сталених конструкцій у корозійних середовищах;

- результати досліджень впроваджено в практику проектування, розробку технічної документації при оцінці технічного стану конструкцій і розробці заходів протикорозійного захисту, в матеріали курсового й дипломного проектування.

Рівень реалізації, впровадження наукових розробок.
Об'єктом дослідження у дисертаційній роботі є металеві конструкції промислових будівель та споруд різного призна-

чення. На основі нового методичного підходу визначені розрахункові залежності взаємодії підсистем НАВАНТАЖЕННЯ-КОНСТРУКЦІЯ-СЕРЕДОВИЩЕ (Н-К-С), за якими можна оцінити напружено-деформований стан конструктивних елементів з урахуванням характеру та інтенсивності корозійного руйнування. Статистичні матеріали досліджень використано у розрахунках на корозійну стійкість та довговічність для обґрунтування гарантованих показників надійності сталевих конструкцій.

Результати роботи і розроблені методи впроваджено у ЦНДІПроектСтальконструкції, м. Москва; УкрНДІПроектСтальконструкції, м. Київ; Інституті хімії високомолекулярних сполук НАН України, м. Київ; Науково-дослідному інституті типового та експериментального проектування, м. Москва; при розробці технічних рішень щодо підвищення довговічності об'єктів:

- для структурних конструкцій покриттів заводу КРУ, м. Коломия; блоково-балкових конструкцій ангара КІІЦА, м. Київ; мембранного покриття спорткомплексу "Олімпійський", УЗС ЦСКА м. Москва (слабоагресивні середовища);

- кранової естакади ДМЗ, м. Дружківка; монумента "Голодомор-33", м. Лубни; ФЛК ЦСКА, м. Москва; складчастого будинку-модуля підприємства "Моноліт", м. Макіївка (середньоагресивні середовища);

- конструкції покриття травильного відділення ДМЗ, м. Дружківка; скруберів і похилого моста Ясиновського КХЗ, м. Макіївка; робочих площадок мінеральних добрив, м. Тельманово (сильноагресивні середовища).

Апробація роботи. Основні положення дисертаційної роботи доповідалися і обговорювалися на IX конференції молодих спеціалістів "Союзметалстройниипроекта" "Підвищення ефективності і вдосконалення проектування, досліджень, виготовлення і монтажу металоконструкцій" (м. Маріуполь, 1985 р.); Всесоюзному семінарі "Індустріальні технічні рішення для реконструкції будівель та споруд промислових підприємств" (м. Макіївка, 1986 р.); II Всесоюзній конференції "Фарбування по іржі-86" (м. Хотьково, 1986р.); Всесоюзній нараді "Сучасні методи і засоби контролю та обстеження антенних споруд" (м. Ташкент, 1986 р.); науково-технічному семінарі "Прогресивна технологія та організація будівельно-монтажних робіт

при реконструкції промислових підприємств" (м. Київ, 1987 р.); IV республіканській конференції "Розвиток, вдосконалення і реконструкція спеціальних зварних сталевих конструкцій будівель та споруд" (м. Сімферополь, 1988 р.); VIII Міжнародній конференції "Металеві конструкції" (м. Гданськ, 1989 р.); науково-технічному семінарі "Підвищення якості, надійності, будівництва і реконструкції" (м. Пенза, 1989 р.); VI-II Всесоюзній конференції "Корозія і захист будівельних конструкцій виробничих будівель та споруд" (м. Донецьк, 1990 р.); II Всесоюзній школі-семінарі "Сучасні методи дослідження й попередження корозійних та ерозійних руйнувань" (м. Севастополь, 1991 р.); конгресі "Захист-92" (м. Москва, 1992 р.); Республіканській конференції "Проблеми раціонального використання соціально-економічного та природно-ресурсного потенціалу регіону" (м. Луцьк, 1993 р.); II Міжнародній конференції "Матеріали для будівництва" (м. Дніпропетровськ, 1993 р.); III Міжнародній конференції "Матеріали для будівельних конструкцій" (м. Макіївка, 1994 р.); 17 Czech and Slovak International conference on Steel structures and Bridges - 94 (Bratislava, 1994); Міжнародній конференції-виставці "Проблеми корозії та протикорозійного захисту конструкційних матеріалів" (м. Львів, 1994 р.); на засіданні Асоціації кафедр металевих конструкцій вузів СНД (м. Липецьк, 1994 р.); Міжнародній конференції "Ресурсозбереження та екологія промислового району" (м. Макіївка, 1995 р.); на науково-технічних конференціях Донбаської державної академії будівництва і архітектури (м. Макіївка, 1992, 1994 рр.).

У повному обсязі закінчену дисертаційну роботу заслухано на кафедрі "Металеві конструкції" ДДАБА; на кафедрі "Металеві й дерев'яні конструкції" і науковому семінарі з будівельної механіки та будівельних конструкцій Київського технічного університету будівництва і архітектури; "Металеві конструкції" Придніпровської державної академії будівництва і архітектури у м. Дніпропетровську; семінарі "Корозія. Захист металів від корозії" ФМІ ім. Г.В. Карпенка у м. Львові.

Публікації. Основні положення дисертації знайшли своє відображення у 31 публікації, у тому числі в монографії та навчальному посібнику. Одержано 3 авторських свідоцтва.

Обсяг роботи. Дисертація складається з вступу, шести

розділів, основних результатів і висновків, списку літератури з 259 назв і додатків. Роботу викладено на 413 с., у тому числі 244 с. основного тексту, 91 рис. на 69 с., 62 табл. на 36 с., 41 с. додатків.

ЗМІСТ РОБОТИ

Складність і багатофакторність проблеми корозійного руйнування сталених конструкцій зумовлюють необхідність пошуку комплексних підходів до питань підвищення довговічності будівель та споруд. Вступ містить короткий аналіз сучасного стану нормативних вимог забезпечення показників надійності у вітчизняній та зарубіжній практиці металобудівництва. Показано основні напрями удосконалення теорії та методу граничних станів як основи нормативної оптимізації при проектуванні, експлуатації та реконструкції промислових і цивільних об'єктів. Сформульовано проблему створення науково обґрунтованих методів оцінки надійності та довговічності сталених конструкцій у корозійних середовищах. Наведено основні завдання, спрямовані на реалізацію поставленої мети теоретичних та експериментальних досліджень.

Розділ I присвячений розгляду існуючих методологічних підходів до розв'язання проблеми визначення показників надійності та довговічності будівельних металоконструкцій.

Постановка і формулювання завдань, пов'язаних з оцінкою впливу корозійних діянь на несучу здатність металоконструкцій, відображають відомі методи теорії надійності та граничних станів будівельних конструкцій, розвинуті у працях Майєра М., Хоціалова Н.Ф., Стрілецького Н.С., Жудіна М.Д., Ржаніцина А.Р., Болотіна В.В., Тимашева С.А., Мразека А., Тихи М. Нині нагромаджено значний практичний досвід, що дозволяє розглядати проблему надійності та довговічності сталених конструкцій на основі теорії граничних станів з урахуванням сучасних вимог будівельної механіки, теорії імовірності й теорії надійності, матеріалознавства, теорії корозії і захисту металів, обчислювальної техніки.

Дослідженню факторів, які визначають кінетику корозійної поведінки металів, присвячено праці Акімова Г.В., Герасименка А.А., Голубєва А.І., Колотиркіна Я.М., Михайловського Ю.Н., Рєви Р.У., Скорчеллеті В.В., Томашова Н.Д.,

Улига Г.Г., Хадсона Дж. К., Чендлера К.Л., Шрайера Л.Л., Еванса Ю.Р. та ін. Вплив механічних напружень в умовах знакозмінних навантажень і агресивних впливів на показники корозійної стійкості сталей вивчено у працях Ажогіна Ф.Ф., Бабей Ю.І., Гутмана Е.М., Карпенка Г.В., Петрова Л.Н., Похмурського В.І., Сопруньюка М.Г., Стеклова О.І. та ін.

Особливості конструктивної форми і режиму експлуатації визначили специфіку підходів до вивчення дійсної роботи несучих і огорожуючих конструкцій будівель та споруд в агресивних середовищах промислових підприємств. Основні напрями корозійних досліджень сталених конструкцій одержали теоретичне та експериментальне обґрунтування у численних наукових розробках, виконаних під керівництвом Стрілецького М.С., Кікіна А.І., Белені Є.І., Вольберга Ю.Л., Горохова Є.В., Жербіна М.М., Кошина І.І., Одеського П.Д., Петрова В.В., Райзера В.Д., Сільвестрова А.В., Уварова Б.Ю., Шляфінера О.М. та ін. Серед праць авторів далекого зарубіжжя слід відзначити дослідження Брудки Я., Лубиньські М., Зюлко С./Польща/, Пірхера Г., Беттхера Г., Скцисло З./Німеччина/, Габрі Г./Угорщина/, Бенкової А./Словачія/, Кноткової Д., Розливки Л./Чехія/.

Для обґрунтування основних теоретичних положень роботи розглядаються результати корозійної стійкості будівельних сталей, строків служби захисних покриттів, методів оцінки довговічності конструктивних елементів, порівняльного аналізу техніко-економічних показників протикорозійних заходів, виконаних протягом 70-х - 80-х років у наукових лабораторіях ЦНДІпроектстальконструкції, НДІЖБ, ЦНДІБК, МНДІТЕП, ВНІКІТстальконструкції, НВО "Спектр", ЦНДІпромспоруд, Харківському ПромбудНДІпроекті, на кафедрах Московського ІБІ, МАДІ, Дніпропетровського ІБІ, Карагандинського ПІ, Київського ІБІ, Саратовського ПІ, Макіївського ІБІ та ін. Відзначається внесок Абсиметова В.Е., Агаджанова В.І., Альменова К.С., Бережного К.П., Борисенка Л.Н., Владимирського В.А., Воробйова А.І., Гатаулліна І.Н., Гібаленка О.М., Заїкіна Б.Б., Іванова П.М., Карамолдаєва А., Колобова Н.В., Корякова А.С., Кудайбергенова Н.Б., Кузнецова В.П., Куденка В.М., Орешкіна С.В., Родіна Я.В., Тер-Акопова Б.Г., Філіпова В.В., Флакса В.Я., Харламова І.В., Шабаніна В.В., Шаповалова С.М., Еткіна Л.А. та інших у розвиток теоретичних і експери-

ментальних методів контролю корозійного стану і забезпечення довговічності протикорозійного захисту конструкцій будівель та споруд різного призначення.

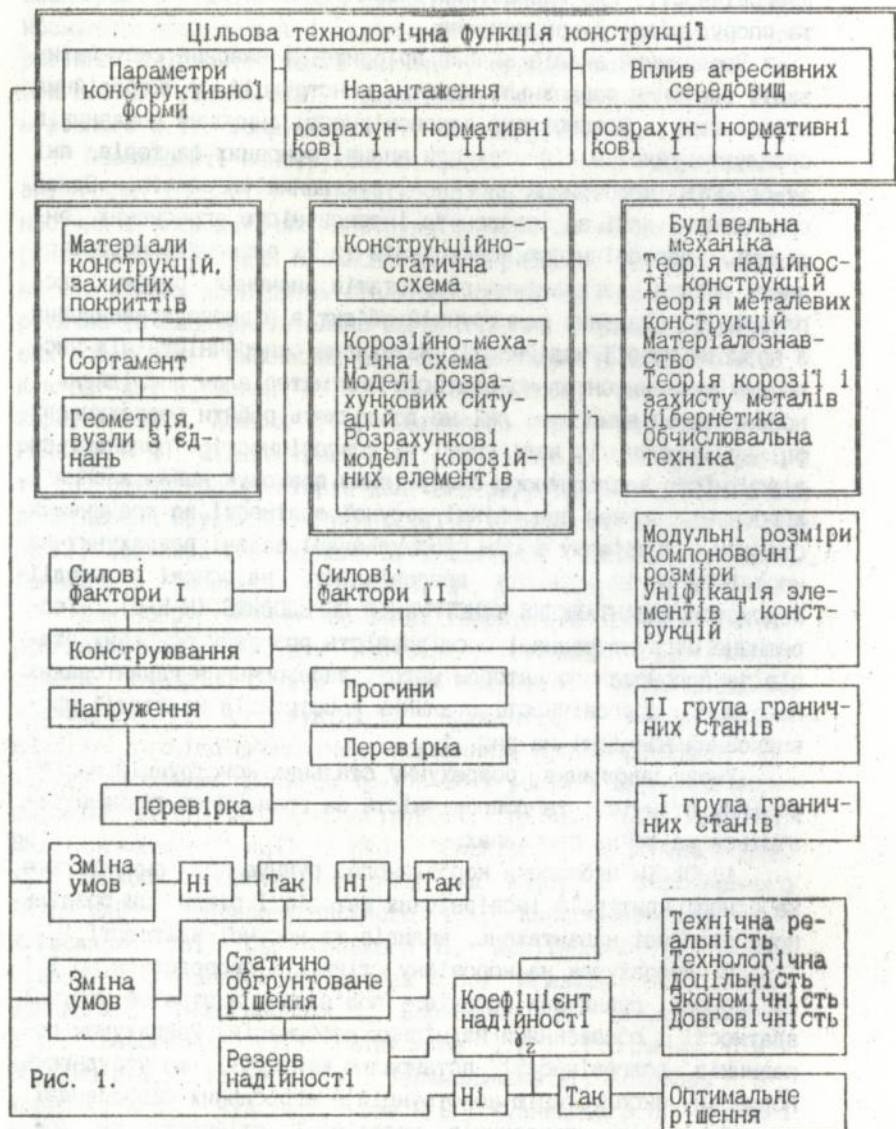
Проведений аналіз виявив пріоритетні напрями систематизації вивчення справжньої роботи конструкцій у корозійних середовищах. Встановлено закономірності зниження показників експлуатаційної надійності при впливі основних факторів, які зумовлюють корозійний знос конструктивних елементів. Однак статистичні дані за складом та інтенсивністю агресивних виділень, довговічністю конструкцій та їх елементів не дозволяють робити узагальнення результатів вивчення режиму експлуатації сталених конструкцій об'єктів різного призначення з позицій теорії надійності. Зазначена суперечність між численним експериментально-статистичним матеріалом досліджень і нормативними вимогами, які не дозволяють робити розрахункову оцінку показників надійності та довговічності, пояснюється відсутністю аналітичного опису, який враховує навантаження і агресивні впливи при оцінці несучої здатності за граничними станами. У зв'язку з цим сформульовані задачі розрахунку на корозійну стійкість та довговічність на основі взаємодії підсистем НАВАНТАЖЕННЯ-КОНСТРУКЦІЯ-СЕРЕДОВИЩЕ (Н-К-С). Теоретичне обґрунтування і послідовність розгляду основних етапів запропонованого автором методу забезпечення гарантованих показників довговічності сталених конструкцій на стадії проектування наведені на рис. 1.

Умови виконання розрахунку сталених конструкцій на корозійну стійкість та довговічність за граничними станами базуються на таких принципах:

1. Облік небезпеки корозійного руйнування виконується на основі критеріїв імовірнісних методів і рівня при роздільному розгляді навантажень, впливів та несучої здатності.

2. Розрахунок на корозійну стійкість проводиться по I і II групах граничних станів, пов'язаних з втратою несучої здатності і обмеженнями надмірних деформацій. Розрахунок показників довговічності встановлює критерії, що утруднюють нормальну експлуатацію конструкцій в агресивних середовищах.

3. Аналіз показників корозійної стійкості та довговічності будівельних металоконструкцій виконується на підставі вивчення причинно-наслідкових зв'язків зовнішніх і



внутрішніх факторів, які визначають умови фізико-хімічної взаємодії агресивного середовища і конструктивної форми.

4. Мінливість впливів враховується шляхом визначення найбільш несприятливого поєднання екстремальних значень факторів. Склад та інтенсивність агресивних впливів встановлюються за даними будівельної кліматології, нормативними параметрами корозійної агресивності атмосфери, результатами статистичної оцінки експлуатаційних впливів робочих середовищ.

5. Випадковий характер показників корозійної стійкості, пов'язаний з природою металургійних факторів, розглядається для будівельних сталей на основі нормального розподілу, який забезпечує точність оцінки параметрів процесів зносу.

6. Розрахунок будівельних конструкцій на корозійну стійкість та довговічність у постановці задачі, що розглядається, виконується при дії статичних навантажень без урахування природи мало- і багатоциклової корозійної втоми.

7. Розрахунково-експериментальна оцінка показників корозійної стійкості та довговічності виконується для однорідних за складом та інтенсивністю впливів зон експлуатації промислових і цивільних об'єктів.

Розділ 2 містить основні напрями системного аналізу показників надійності та довговічності у вигляді взаємодії підсистем (Н-К-С) НАВАНТАЖЕННЯ-КОНСТРУКЦІЯ-СЕРЕДОВИЩЕ.

Основу кібернетичного підходу у розв'язанні проблеми довговічності сталених конструкцій складає системний аналіз, відповідно до якого проектування протикорозійного захисту, моделювання і оптимізація корозійної поведінки в умовах експлуатації та реконструкції об'єднуються в загальну задачу. Поняття системи як об'єкта у вигляді взаємодії підсистем (Н-К-С) виділяється як основне поняття системного аналізу.

Відповідно до встановленої номенклатури показників якості для сталених конструкцій розглядаються такі характеристики довговічності :

- корозійна стійкість K (ступінь вплива середовища), мм/рік;
- строк служби захисних покриттів T_z , рік.

Як об'єкт управління система Н-К-С характеризується вхідною підсистемою, підсистемою станів і вихідною підсистемою.

До вхідної підсистеми входять параметри конструктивної форми, які визначають показники довговічності і фактори ко-

розійної агресивності A (L,G,S), що враховують характер впливів рідких (L), газоподібних (G) і твердих (S) середовищ.

Підсистема станів характеризується коефіцієнтом надійності протикорозійного захисту (γ_{zf}). Коефіцієнт γ_{zf} залежить від технічних вимог до режиму експлуатації сталевих конструкцій, характеру та інтенсивності корозійних руйнувань, що допускаються.

Вихідна підсистема характеризує корозійні втрати (P , $г/м^2$), пов'язані з відхиленнями від режиму нормальної експлуатації.

Суть системного аналізу показників корозійної агресивності полягає у визначенні складу корозійно-активних впливів і конструктивних параметрів відповідно до схеми (рис.2).

На основі аналізу взаємодії підсистем розроблено узагальнені моделі корозійних елементів, які виражають закономірності взаємодії конструктивної форми і агресивного середовища (рис. 3).

Фізичний зміст реакцій поверхонь $\Phi(N)$ полягає у тому, що реакції компенсують втрати від корозії при впливі агресивного середовища A (L,G,S) для збереження моделі ОКМЕ-N у рівновазі.

Визначення реакцій $\Phi(N)$ виконується на основі залежності:

$$\Phi(N) = A_1 + A_j + A_{i, i-1} + A_{j, i} \quad (1)$$

де A_1 - системна змінна показника корозійного зносу a_k , яка враховує вплив факторів агресивного середовища, $г/м^2$;

A_j - системна змінна a_k , яка враховує вплив конструктивних параметрів, $г/м^2$;

$A_{i, i-1}$ - системна змінна a_k , яка враховує вплив взаємодії (i) та (i-1) - факторів корозійного середовища;

$A_{j, i}$ - системна змінна a_k , яка враховує вплив взаємодії (j) параметра конструктивної форми та (i) фактора корозійного середовища.

Виконання розрахунків на корозійну стійкість та довговічність потребує обґрунтування розрахункових характеристик. З цією метою виділено дві групи показників:

I група характеристик корозійного руйнування матеріалу включає:

- ступінь агресивності середовища $\Phi(o)$, $[г/м^2 \cdot рік]$ або корозійну стійкість K (мм/рік чи бали);

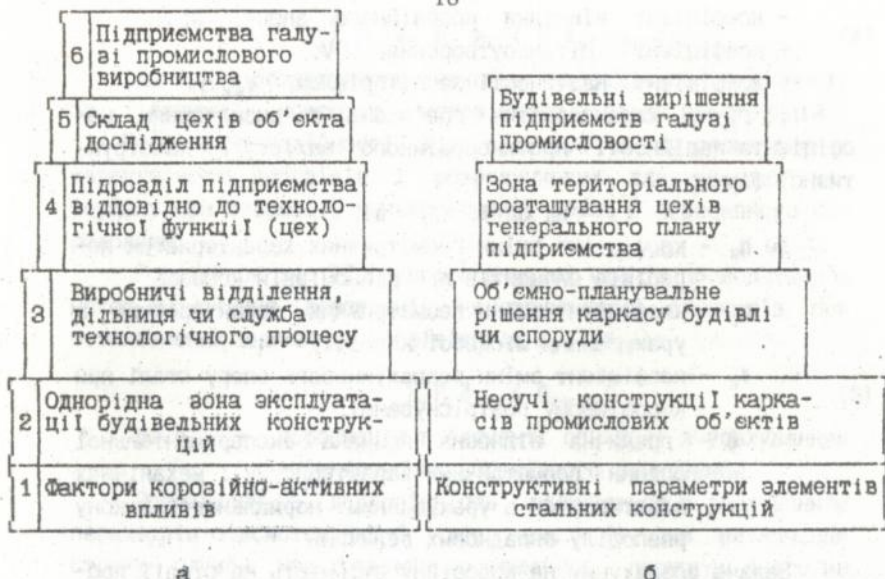


Рис. 2. Системне визчення технічного стану сталевих конструкцій у корозійних середовищах:

а - зонування факторів корозійних впливів;

б - зонування конструктивних особливостей будівель та споруд.

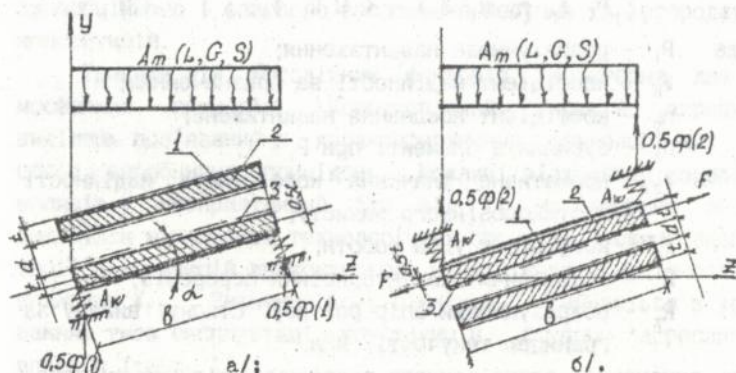


Рис.3 Узагальнені моделі корозійних елементів:

а - ОКМЕ-1;

б - ОКМЕ-2.

- коефіцієнт тривалості впливів, γ_d ;
- коефіцієнт кінетики корозійного зносу, c ;
- коефіцієнт пітингоутворення, V ;
- коефіцієнт надійності за матеріалом, γ_{mk} .

II група характеристик пов'язана з визначенням коефіцієнта надійності протикорозійного захисту γ_z конструктивної форми:

$$\gamma_z = \alpha_k \alpha_p \gamma_k (1 - \delta), \quad (2)$$

де α_k - коефіцієнт зміни геометричних характеристик перерізів елементів при рівномірній корозії;

α_p - коефіцієнт зміни геометричних характеристик з урахуванням місцевої корозії;

γ_k - коефіцієнт зміни розрахункового опору сталі при корозійному розтріскуванні;

δ - гранична відносна помилка експериментальної оцінки геометричних характеристик і механічних властивостей з урахуванням нормального закону розподілу випадкових величин.

Задача розрахунку на корозійну стійкість на стадії проектування полягає у визначенні фізичної природи корозійних фіктивних навантажень, додаткових переміщень і зусиль, які виникають в результаті взаємодії конструктивної форми і агресивного середовища.

По відношенню до відомої граничної нерівності це означає:

$$\sum_{i=1}^n P_i \gamma_n n_c \alpha_i / \gamma_{zn} < \Omega R_y \gamma_c, \quad (3)$$

де P_i - розрахункове навантаження;

γ_n - коефіцієнт надійності за призначенням;

n_c - коефіцієнт поєднання навантажень;

α_i - зусилля в елементі при $P_i = 1$;

γ_{zn} - нормативне значення коефіцієнта надійності протикорозійного захисту;

γ_c - коефіцієнт умов роботи;

Ω - геометричні характеристики перерізів;

R_y - розрахунковий опір розтягу, стиску, вигину за границею текучості, МПа.

При виконанні перевірного розрахунку під час експлуатації вираз (3) має вид:

$$\sum_{i=1}^n P_i \gamma_n p_c a_i < \Omega \gamma_{zf} R_y \gamma_c, \quad (4)$$

де γ_{zf} - розрахункове значення коефіцієнта надійності за даними контролю корозійного стану конструкцій.

Коефіцієнт надійності γ_{zf} враховує зміну геометричних характеристик перерізів і розрахункових властивостей матеріалу при взаємодії конструктивної форми і агресивного середовища.

Розрахунок за II групою граничних станів проводиться з метою визначення деформацій конструктивних елементів при встановлених значеннях коефіцієнтів γ_{zn} (γ_{zf}):

$$\sum_{i=1}^n P_i \delta_{ik} < \delta_{пр}, \quad (5)$$

де δ_{ik} - деформація в елементі при $P_i=1$ з урахуванням характеристик корозійного руйнування.

Розрахунок на довговічність виконується з урахуванням параметрів підсистем Н-К-С (див. рис. 1) для визначення строку служби конструктивного елемента, протягом якого не виявляються ознаки корозійного стану за непридатністю до нормальної експлуатації.

Визначення показників агресивних впливів здійснюється в характерних точках однорідних зон експлуатації сталених конструкцій з використанням вірогідісно-статистичних методів. Розроблено алгоритм і програму розрахунку тривалості адсорбційного і фазового зволоження несучих та огороджуючих конструкцій.

Тривала дія корозійних факторів характерна для атмосферних процесів. Короткочасний характер агресивних виділень пов'язаний з характеристиками технологічних процесів виробничих приміщень. Можливі відхилення корозійних впливів у несприятливий бік від їх нормативних значень внаслідок мінливості технологічних процесів, режиму експлуатації конструкцій враховується коефіцієнтом надійності за впливами γ_{fk} . Значення коефіцієнта γ_{fk} приймається з урахуванням умов експлуатації конструкцій, ступеня агресивності впливів (табл. 1).

Введення в розрахункові характеристики коефіцієнта надійності за матеріалом γ_{mk} дозволяє враховувати відмінності корозійної стійкості матеріалу конструкції у

Таблиця 1.

Коефіцієнти надійності за впливом корозійних середовищ

Умови експлуатації конструкції	Значення коефіцієнта $\gamma_{гк}$			
	Ступінь агресивності впливів			
	Неагресивний	Слабоагресивний	Середньоагресивний	Сильноагресивний
На відкритому повітрі	1,10	1,15	1,20	1,25
Під навісом	1,05	1,10	1,15	1,20
Всередині неопалюваних приміщень	1,00	1,05	1,10	1,15
Всередині опалюваних приміщень	1,00	1,00	1,05	1,10

порівнянні з нормативними значеннями, встановленими для вуглецевої сталі класу ВСтЗпс (табл.2).

Експериментальний матеріал розділу систематизує відповідно до розробленого підходу результати контролю корозійного стану конструкцій, досягнуті за участю автора у 1974-1994 рр. на підприємствах металургійної, машинобудівної, хімічної, гірничорудної промисловості, енергетики, сільського господарства, ряду спортивних і видовищних об'єктів.

Таблиця 2.

Значення коефіцієнта надійності за матеріалом у середовищах з різним ступенем агресивності впливів

Матеріал конструкції	Коефіцієнт $\gamma_{гк}$			
	Ступінь агресивності середовища			
	Неагресивний	Слабоагресивний	Середньоагресивний	Сильноагресивний
ВСтЗпс	0.95	0.95	1.00	1.00
09Г2С	0.95	0.85	0.95	1.1
10ХСНД	0.85	0.75	0.70	0.75
10ХНДП	0.85	0.75	0.80	0.85

Представлено експериментальні дані стендових випробувань сталей ВСтЗпс, 09Г2С, 10ХСНД, 10ХНДП у корозійних середовищах підприємств важкого машинобудування протягом 1981-1992 рр. Результати прискорених корозійно-механічних випробувань плоских фігурних зразків наведено у табл. 3. Аналіз одержаних експериментальних даних дозволяє виділити такі закономірності зміни розрахункових характеристик при впливі корозійного середовища:

- корозійні втрати сталених зразків характеризують корозійні впливи A (L , G , S) за період випробувань як середньоагресивні (див. табл. 3), що відповідає умовам експлуатації 50-60 % металоконструкцій будівель та споруд;

- встановлені показники рівномірної (α_k) та місцевої (α_p) корозії в цілому відбивають особливості корозійного руйнування для сталей марок ВСтЗпс, 09Г2С, 10ХСНД, 10ХНДП при стендових випробуваннях;

Таблиця 3.

Порівняльна оцінка коефіцієнтів γ_{zn} за даними корозійно-механічних випробувань

Режим випробування	Матеріал зразків	Характеристика корозійного руйнування				
		α_k	α_p	$\gamma_{k,n}$	α_y	γ_{zn}
	ВСтЗпс	0.95	0.98	0.92	-	0.77
	09Г2С	0.96	0.98	0.94	-	0.80
	10ХСНД	0.97	0.98	0.83	-	0.70
	10ХНДП	0.96	0.99	0.91	-	0.77
	ВСтЗпс	0.96	0.98	0.99	-	0.83
	09Г2С	0.97	0.98	0.99	-	0.85
	10ХСНД	0.96	0.98	0.84	-	0.71
	10ХНДП	0.97	0.98	0.89	-	0.76
	ВСтЗпс	0.95	0.98	1.07	1.08	0.82
	09Г2С	0.96	0.98	1.08	1.09	0.84
	10ХСНД	0.97	0.97	1.07	1.29	0.71
	10ХНДП	0.97	0.99	0.98	1.10	0.76
	ВСтЗпс	0.96	0.98	1.12	1.13	0.83
	09Г2С	0.97	0.98	1.41	1.43	0.84
	10ХСНД	0.98	0.97	1.06	1.30	0.71
	10ХНДП	0.97	0.98	0.37	0.42	0.32

ДНБ ім. В. Стефаника
АН України

- має місце зниження розрахункових значень коефіцієнта $\gamma_{k,n}$ при I схемі випробувань. Зростання величин $\gamma_{k,n}$ для II - IV схем пояснюється впливом попереднього напруження і концентрації напружень в зонах розташування U- та V-подібних надрізів;

- збільшення значень $\gamma_{k,n}$ пов'язане з різним впливом коефіцієнта концентрації напружень, який залежить від форми надрізу і матеріалу зразка. При значеннях $\alpha_v > 1.0$ реалізується механізм в'язко-пластичного руйнування. Характеристика $\alpha_v < 1.0$ свідчить про відсутність макропластичної деформації та крихкого руйнування зразків. При оцінці коефіцієнта $\gamma_{z,n}$ з урахуванням наявності концентрації напружень розрахунок в пружно-пластичній стадії проводиться за формулою

$$\gamma_{z,n} = \alpha_k \alpha_p \gamma_{k,n} (1 - \delta) / \alpha_v \quad (6)$$

Розрахунок корозійного розтріскування, яке є причиною крихкого руйнування матеріалу зразків, виконується при значенні коефіцієнта концентрації напружень $\alpha_v = 1$.

Результати корозійно-механічних випробувань (див. табл. 3) дозволяють виконувати нормування показників корозійної стійкості в будівельних сталях з урахуванням характеру корозійного руйнування.

Розділ 3 містить результати експериментальних досліджень, виконаних для обґрунтування аналітичного методу діагностики корозійного руйнування конструктивної форми.

Математичний вираз умови забезпечення надійності при розгляді взаємодії підсистем Н-К-С у розрахунках на корозійну стійкість має вид:

$$\gamma_z - 1/\Gamma > 0, \quad (7)$$

де $\Gamma = \Phi / N$ - відношення резерву надійності;

Φ - граничне зусілля, яке можна сприймати елемент, який обчислюється;

N - найбільше розрахункове зусілля.

Залежно від постановки задачі при визначенні розрахункової ситуації оцінка числових значень коефіцієнта надійності проводиться розрахунково-експериментальним або дослідно-статистичним методом, або на основі методів техніко-економічного аналізу.

Основна розрахункова залежність визначення строку служ-

би конструктивного елемента має вид:

$$T = e^{(ln P - ln A) / C}, \quad (8)$$

де P - граничний допустимий корозійний знос конструктивного елемента, $г/м^2$;

A - характеристика ступеня агресивності режиму експлуатації, $г/м^2$ рік;

C - коефіцієнт кінетики корозійного зносу.

Гранично допустимий корозійний знос визначається із співвідношення залежно від складу вихідних даних:

$$\left. \begin{aligned} \text{при проектуванні:} \quad P &= \frac{m \delta}{\alpha_f \gamma_{m,k}} (1 - \gamma_{zn}), \\ \text{при експлуатації:} \quad P &= \frac{m \delta}{\alpha_f \gamma_{m,k}} (\gamma_{zf} - \gamma_{zn}); \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

де δ - наведена товщина перерізу елемента, см;

α_f - конструктивний коефіцієнт, який враховує нерівномірність корозійного руйнування;

$\gamma_{m,k}$ - коефіцієнт надійності за матеріалом в розрахунках на корозійну стійкість та довговічність;

$m = 78500$ - перевідний коефіцієнт корозійних втрат.

Теоретичні та експериментальні дослідження, виправлені на розрахунково-експериментальну оцінку коефіцієнта γ_z , проведено у ДДАБА, починаючи з 1980 р.

Задачі, пов'язані з розробкою аналітичного методу діагностики корозійного руйнування конструктивної форми, дозволили сформулювати такі критерії відказу захисних покриттів:

- узагальнений показник захисних властивостей $A_3 = 0.35$ або товщина продуктів корозії $h_k = 100$ мкм під шаром лакофарбового покриття для проектної системи захисту (первинний відказ);

- порушення суцільності захисного покриття, встановлене при оцінці електрохімічних та ємнісно-омічних характеристик для системи захисту після виконання ремонтно-фарбувальних робіт (вторинний відказ).

На підставі експериментальних даних одержано функцію розподілу відказів лакофарбових покриттів:

$$(h_k)_j = 100 + 43 U_{pj}, \quad (10)$$

де: U_{pj} - квантиль нормального розподілу.

Критичне значення товщини $|\rho g| h_k = 100$ мкм під шаром лакофарбового покриття, що відповідає незадовільному стану захисних властивостей $A_3 = 0.35$, визначає нижню межу, при якій настає вичерпання захисних властивостей лакофарбового покриття протягом проміжку часу t_0 .

Розрахунок коефіцієнта зміни строку служби покриття виконується за формулою:

$$\beta_n = N_n / N_c, \quad (11)$$

де N_c - кількість циклів випробувань до відказу ємнісно-омічних характеристик існуючої (проектної) системи покриття;

N_n - кількість циклів випробування до відказу ємнісно-омічних характеристик відновленої системи протикорозійного захисту.

Таким чином, строк служби протикорозійного захисту при ремонтно-фарбувальних роботах визначається як проміжок часу, потрібний для досягнення відказу відновленої системи захисного покриття:

$$T_n = \beta_n T_3. \quad (12)$$

Для розрахунково-експериментальної оцінки строку служби металізаційного покриття при діагностиці корозійного стану конструктивної форми встановлена залежність:

$$T_m = \frac{a_m h_0 t_m}{K} 10^{-3}, \quad (13)$$

де a_m - ступінь руйнування існуючого металізаційного покриття;

h_0 - проектна товщина покриття, мкм;

t_m - середня відносна довговічність 1 мм металізаційного покриття, г/м² мм.

Результати теоретичних і експериментальних досліджень дозволяють сформулювати у загальному вигляді задачі розрахунку конструкцій на корозійну стійкість і довговічність. Склад і структура подання вихідних даних для виконання розрахунків залежать від стадії розробки технічних вирішень щодо забезпечення гарантованих показників надійності.

До задачі діагностики сталевих конструкцій у корозійних середовищах на стадії проектування входить будова аналітичних залежностей виду:

$$a_k = \Phi \left[A(L, G, S), \gamma_q, \gamma_m, N \right], \quad (14)$$

$$\gamma_{zn} = f \left(a_k, \gamma_f, \Gamma, \beta_n, T_{np}, T_n, T_n, T_m \right), \quad (15)$$

$$T_n = \Psi \left(\gamma_{zn}, a_k, c, \Gamma, \beta_n, T_n, T_n, T_m \right), \quad (16)$$

де T_{np} - призначений строк служби конструкції, рік.

Задача діагностики параметрів корозійного стану в період експлуатації або реконструкції передбачає аналіз залежностей:

$$\gamma_{zn} = f \left(a_k, \gamma_f, \gamma_{zf}, \Gamma, \beta_n, T_{np}, T_n, T_n, T_m \right), \quad (17)$$

$$T_n = \Psi \left(a_k, \gamma_{zf}, c, T_{np}, \beta_n, T_n, T_n, T_m \right), \quad (18)$$

де T_{gp} - граничний строк служби конструкції або елемента без відновлення протикорозійного захисту, рік.

Залежно від умов задачі показник корозійного зносу конструктивної форми a_k визначається за даними прискорених або стендових випробувань. У розділі описується алгоритм розрахунку параметрів корозійного стану на основі залежностей (14-18). Розроблений аналітичний метод діагностики використано для практичних розрахунків на корозійну стійкість і довговічність конструкцій технологічних площадок, мембранних панелей при проведенні стендових корозійно-механічних випробувань. Наведені практичні приклади числових розрахунків конструкцій на основі даних розрахунково-експериментальної оцінки параметрів корозійного стану.

Розділ 4 містить теоретичне обґрунтування вибору розрахункових моделей і розрахункових ситуацій для оцінки напружено-деформованого стану конструктивних елементів у корозійних середовищах на підставі методів будівельної механіки й теорії надійності. Розглядаються основні розв'язуючі рівняння будівельної механіки для розрахунку статично невизначеної системи з розрахунком корозійних впливів.

Оцінку впливу корозійних уражень на напружено-деформований стан елементів виконано за допомогою методу скінченних елементів (МСЕ).

Визначне рівняння МСЕ - рівняння рівноваги вузлів:

$$[K]\{\delta\} = \{P\}, \quad (19)$$

де $[K] = \sum_{i=1}^n [A]_i^T [K]_i [A]_i$ - матриця жорсткості розглядуваної конструкції;

$[K]_i$ - матриця жорсткості скінченного елемента в глобальній системі координат;

$\{\delta\}$ - вектор переміщень вузлів скінченно-елементної моделі конструкції;

$\{P\}$ - вектор узагальнених зовнішніх вузлових сил, що діють на конструкцію;

$[A]_i$ - бульова складальна матриця;

Зміна локальної матриці жорсткості стержневого скінченного елемента при наявності корозійних дефектів

$$[\Delta K_i^0] = (1 - \gamma_{z1}) [K_i^0] \quad (20)$$

де: γ_{z1} - коефіцієнт надійності протикорозійного захисту.

При проведенні перевірного розрахунку конструкції з урахуванням її корозійного зносу коефіцієнти надійності протикорозійного захисту вважаються заданими для усіх елементів конструкції. Тому глобальна матриця жорсткості

$$[K] = \sum_{i=1}^n \gamma_{z1} [A]_i^T [K]_i [A]_i; \quad (21)$$

однозначно визначена, і, отож, в результаті розрахунку одержуємо переміщення вузлів конструкції з урахуванням її корозійного зносу.

Маючи значення переміщень вузлів конструкції і використовуючи співвідношення

$$[K^L]_i \{U^L\}_i = \{N\}_i, \quad (22)$$

де $\{U^L\}_i$ - переміщення вузлів i-того елемента у локальній системі координат,

$\{N\}_i$ - вектор внутрішніх зусиль i-того елемента; зусилля у її елементах визначається відомими методами розрахунку.

При виконанні розрахунків у рамках лінійної моделі розрахунок корозійних пошкоджень елементів конструкції не впливає на значення одержуваних зусиль у її елементах. Для одержання справжніх значень зусиль в елементах конструкції слід провадити її розрахунок з урахуванням геометричної нелінійності поведінки конструкції.

Для визначення строку служби конструкції (T_{rp}) з урахуванням її корозійного зносу перепишемо рівняння (19) у виді:

$$[K_0(\{u\}) + \delta K(\{u\}, t)]\{u\} = \{F\} \quad (23)$$

$$[K_0(\{u\})]\{u\} = \{F\} - [\delta K(\{u\}, t)]\{u\}. \quad (24)$$

Тут $[K_0(\{U\})]$ - матриця жорсткості конструкції, обчислена з урахуванням переміщення її вузлів, але без урахування корозійного зносу; $\{U\}$ - вектор переміщень вузлів конструкції, обчислених з урахуванням геометричної нелінійності та її корозійного зносу; $\{F\}$ - вектор зовнішніх впливів, для яких виконується розрахунок,

$$[\delta K(\{u\}, t)] = \sum_{i=1}^N (1 - \gamma_{z_i}(t)) [A]_i^T [T]_i^T [K^L(\{u\})]_i [T]_i [A]_i \quad (25)$$

зміна матриці жорсткості, зумовлена наявністю корозійного зносу елементів конструкції; $\gamma_{z_i}(t)$ - коефіцієнт надійності протикорозійного захисту i -го елемента конструкції, який залежить від часу t .

Таким чином, задача визначення строку служби конструкції з корозійними пошкодженнями зводиться до розв'язання рівняння виду

$$\det([K_0(\{U\}) + \delta K(\{U\}, t)]) = 0, \quad (26)$$

де вектор переміщень вузлів конструкції визначається з рівняння (23), а зміна матриці жорсткості, зумовлена наявністю корозійного зносу елементів конструкції $[\delta K(\{U\}, t)]$ - із рівняння (24).

Відповідно до підходу, поданого на рис.1, розроблено умови визначення розрахункових ситуацій у розрахунках на корозійну стійкість і довговічність на основі логічних моделей, які відображають причинно-наслідкові зв'язки Н-К-С.

Використання методу системного аналізу при оцінці технічного стану дозволяє розглядати режим експлуатації сталених конструкцій на підставі структурних показників надійності конструктивних елементів.

Розроблені структурні схеми реалізовано при моделюванні показників надійності на підставі потокових графів у вірогіднісній постановці за даними обстежень технічного стану конструкцій і при детермінованих методах діагностики корозійного руйнування.

Блок-схема моделювання розрахункових ситуацій на підставі оцінки показників довговічності наведена на рис.4.

Для опису показників надійності у вірогіднісній задачі умову (7) подаємо у виді:

$$\ln \gamma_z + \ln \Gamma = 0 \quad (27)$$

Тоді індекс надійності β , який визначає вірогідність відказу P_f , визначаємо з виразу:

$$\beta = \frac{\mu \ln \Gamma}{\alpha \ln \Gamma} = \frac{\mu (-\ln \gamma_z)}{\alpha (-\ln \gamma_z)} = \frac{\mu (\ln \gamma_z \Gamma)}{\alpha (\ln \gamma_z \Gamma)} \quad (28)$$

де μ_x - середнє значення випадкової величини x ;

α_x - середньоквадратичне відхилення випадкової величини x .

Для виконання автоматизованих розрахунків з використанням інформаційно-пошукових систем параметрів корозійного стану запропоновано табличні математичні моделі розрахункових ситуацій, які встановлюють порядок аналітичного розрахунку показників надійності та довговічності при напівімовірнісному та імовірнісному розрахунку 1 та 2 рівнів.

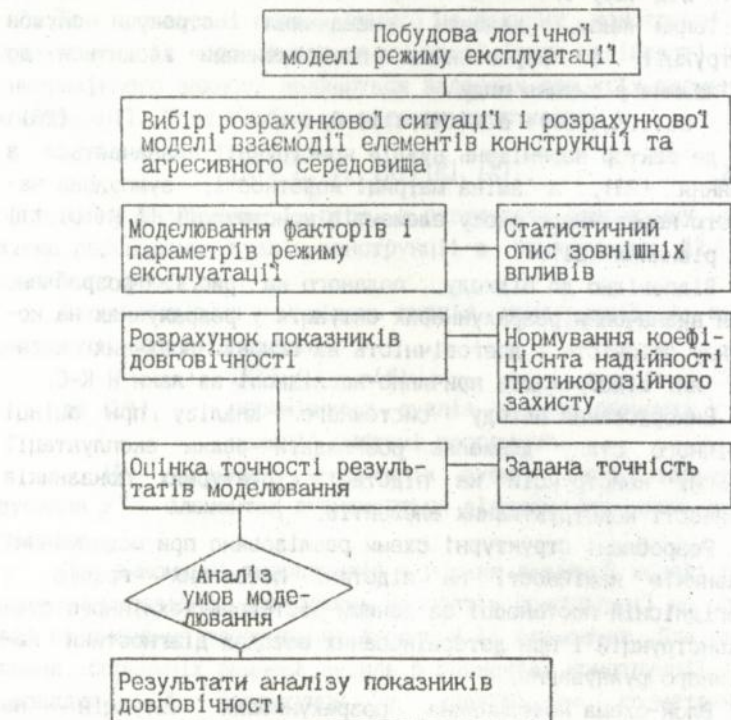


Рис. 4. Блок-схема розрахунково-експериментальної оцінки показників довговічності у корозійних середовищах.

Розділ 5 містить практичні приклади реалізації розробленого розрахунково-аналітичного методу забезпечення гарантованих показників надійності та довговічності при проектуванні, виготовленні, експлуатації та реконструкції.

Впровадження нових технологій тонколистових огорожуючих конструкцій передбачає комплексний розгляд питань корозійної стійкості конструктивних елементів, раціонального вибору засобів і методів протикорозійного захисту з урахуванням встановлених показників довговічності.

Забезпечення довговічності конструкцій панельно-шпунгельних систем (ПШС) покриттів, розроблених в УкрНДІПроектстальконструкції, виконано для об'єктів НВО "Автопромзварювання" з урахуванням технічних вирішень гідро-, тепло-, пароізоляції та протикорозійного захисту.

На прикладі існуючих конструкцій бронзово-латунного цеху "ДВЦМ" виявлено резерви несучої здатності та визначено граничні строки служби кроквяних ферм покриття з урахуванням показників корозійного стану.

Вивчення особливостей режиму експлуатації структурних конструкцій покриття з прокатних профілів (типу "ЦНИИСК") дозволило визначити гарантовані показники довговічності і розробити заходи щодо протикорозійного захисту для головного корпусу заводу комплектних розподільних пристроїв, м. Коломия.

Вплив конструктивних, технологічних та експлуатаційних факторів на довговічність блоково-балкових систем покриттів розглянуто на прикладах об'єктів УСЗ і ФЛК "ЦСКА", м. Москва і ангара літальних апаратів КІІЦА, м. Київ.

Задача діагностики корозійного руйнування покриття на підставі контролю експлуатаційних властивостей гідро- і теплоізоляційних матеріалів дала можливість розробити пристрій катодного захисту зовнішньої поверхні мембранної обшивки в зоні внутрішнього опірного кільця критого стадіону СК "Олімпійський", м. Москва.

Результати теоретичних та експериментальних досліджень, одержаних при оцінці технічного стану сталевих конструкцій об'єктів різного призначення, було впроваджено в чинні нормативні документи, а також використано для підготовки студентів і слухачів факультету підвищення кваліфікації спеціалістів.

Розділ 6 присвячено питанням забезпечення технологічної раціональності та економічної ефективності на стадії виготовлення і під час експлуатації.

Розглядаються питання регулювання рівня технологічної раціональності системи протикорозійних заходів на підставі даних контролю технічного стану, діагностики і прогнозування встановлених показників надійності та довговічності.

Проблема обґрунтування критеріїв технологічної раціональності протикорозійного захисту ЛМК пов'язана з оцінкою показників технологічності та довговічності. Як характеристики технологічної раціональності пропонується використання:

- питомої маси конструкції, G_k ;
- індекса зниження витрат матеріалів на протикорозійний захист β_m :

$$\beta_m = S_m(P) S_m(I) S_m(E), \quad (29)$$

де $S_m = G_{mb} / G_{mg}$ - індекс зміни витрат протикорозійного матеріалу при порівнянні базового варіанту (G_{mb}) з розроблюваним (G_{mg}) при проектуванні (P), виготовленні (I) та експлуатації (E);

- індекса зниження трудомісткості протикорозійного захисту і ремонтно-фарбувальних робіт β_T :

$$\beta_T = S_T(P) S_T(\Pi) S_T(E), \quad (30)$$

де $S_T = T_b / T_r$ - індекс зниження трудомісткості фарбувальних робіт при порівнянні базового варіанту (T_b) з розроблюваним;

- індекса зниження експлуатаційних витрат β_p :

$$\beta_p = S_p(P) S_p(I) S_p(E), \quad (31)$$

де $S_p = P_b / P_r$ - індекс зниження витрат на підтримку якості і довговічності конструкцій базового варіанту (P_b) і розроблюваного (P_r);

- індекса надійності протикорозійного захисту β_z :

$$\beta_z = S_z(P) S_z(I) S_z(E), \quad (32)$$

де $S_z = \gamma_{zb} / \gamma_{zg}$ - індекс підвищення коефіцієнта надійності протикорозійного захисту базового варіанту (γ_{zb}) і розроблюваного (γ_{zg});

Розв'язано задачу обліку конструктивних і технологічних факторів на етапі розробки технічного завдання для визначення показників коефіцієнта γ_{zn} , відношення резерву несучої здатності Γ , індекса технологічної раціональності при оцінці витрат на виготовлення та експлуатацію конструкцій:

$$\left. \begin{aligned} Q(t) &= P(t) - [Z_B + (\delta Z_B / \delta t) * \Delta t] \rightarrow \max; \\ T_{np} &= \arg Q_{\max} \rightarrow t_{opt}; \\ P(t) &= f [Z_B (\delta Z_B / \delta t) \Delta t; \gamma_z(Z_B), t]; \\ \delta Z_B / \delta t &= \varphi [Z_B, \gamma_z(Z_B), t]; \\ \gamma_z(Z_B) &= \gamma_{zo} + \sum_{i=1}^n [(\delta \gamma_z / \delta Z_{B_i}) \Delta Z_{B_i}]; \end{aligned} \right\} \quad (33)$$

$$Z_B = \arg \gamma_z(Z_B) \rightarrow \min,$$

де $P(t)$ - суми амортизаційних відрахувань відповідно до норм по основних фондах промисловості, крб.;

Z_B - витрати на виготовлення конструкції чи об'єкта;

$\delta Z_B / \delta t$ - зміна витрат на експлуатацію за проміжок часу Δt , крб/рік.

γ_{zo} - коефіцієнт надійності протикорозійного захисту при первісних витратах на утворення конструкції;

$\delta \gamma_z / \delta Z_{B_i}$ - коефіцієнт впливу вартості i -того елемента на його надійність;

ΔZ_{B_i} - витрати на збільшення надійності внаслідок підвищення якості та довговічності i -того елемента;

$\delta Z_B / \delta t$ - швидкість зміни експлуатаційних витрат;

$\gamma_z(Z_B)$ - коефіцієнт надійності протикорозійного захисту з урахуванням витрат на виготовлення (Z_B).

Зазначені залежності дозволяють розв'язувати наступні задачі економіко-математичного моделювання:

- визначати економічний ефект від використання заходів щодо протикорозійного захисту при виготовленні та експлуатації;

- забезпечувати нормативні значення коефіцієнта надійності протикорозійного захисту і норм амортизаційних відхилень з урахуванням розрахункової ситуації при експлуатації конструкцій в агресивних середовищах;

- встановлювати доцільний строк експлуатації конструктивних елементів $T_{np} = t_{opt}$.

Розроблений методичний підхід використано при аналізі технологічної підготовки операцій протикорозійного захисту на заводах корпорації "Укрмонтажспецбуд", розробці концепції розвитку ЛМК в Україні та обґрунтування ефективності використання технології фарбування металоконструкцій з використанням мастики ППК.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ І ПІДСУМКОВІ ВИСНОВКИ

1. Розв'язано комплексну науково-технічну проблему, пов'язану з утворенням аналітичного підходу до розрахунку показників надійності та довговічності будівельних метало-конструкцій у корозійних середовищах. Універсальність розробленого розрахунково-теоретичного методу забезпечення гарантованих показників надійності та довговічності обґрунтовано при проектуванні, виготовленні, експлуатації та реконструкції виробничих будівель та споруд.

2. Розроблено теоретичну основу визначення принципів систематизації корозійних впливів, обґрунтування розрахункових ситуацій і вибору розрахункових моделей взаємодії конструктивної форми і агресивного середовища.

3. Виконано формалізацію корозійного стану сталейних конструкцій на основі детермінованих та імовірнісних методів розрахунково-експериментальної оцінки показників надійності та довговічності.

4. Сформульовано умови оцінки надійності та довговічності сталейних конструкцій при корозійних впливах відповідно до удосконалення теорії і методу граничних станів. Вперше обґрунтовано розрахунок сталейних конструкцій у корозійних середовищах за II граничним станом з використанням фактора часу.

5. Одержано експериментальні матеріали кількісної та якісної оцінки факторів корозійної агресивності для металургійної, машинобудівної, хімічної промисловості, сільсько-го господарства, спортивних і видовищних об'єктів.

6. Вперше розроблено універсальний алгоритм, який дозволяє визначати строки служби конструктивних елементів на підставі методів фізико-хімічного й математичного моделювання корозійного руйнування конструктивної форми.

7. Сформульовано додаткові вимоги до проектування ЛМК при використанні тонкого сталеного листа, гнутих і гнуто-зварних профілів на підставі стендових корозійно-статичних випробувань мембранних панелей з каркасом із холодногнутих тонкостінних елементів.

8. Визначено сфери раціонального застосування розробленої за участю автора полімерно-пластичної композиції та

пристрою катодного захисту для несучих і огороджуючих конструкцій цивільних і промислових об'єктів.

9. Розроблено й впроваджено технічні вирішення щодо протикорозійного захисту будівель та споруд на підставі розрахунково-експериментального визначення гарантованих показників довговічності сталених конструкцій.

Основний зміст дисертації викладено у таких публікаціях:
МОНОГРАФІЇ

1. Королев В.П. Теоретические основы инженерных расчетов стальных конструкций на коррозионную стойкость и долговечность: Научные труды ДГАСА. Вып. 1-95. -Макеевка: 1995 - 110 с.

2. Долговечность стальных конструкций в условиях реконструкции /Е.В.Горохов, Я. Брудка, В.П. Королев и др. Под ред. Е.В.Горохова. -М.: Стройиздат, 1994г. - С.488.

3. Горохов Е.В., Рухович И.Р., Королев В.П. Техническая эксплуатация промышленных зданий и сооружений. / Учебное пособие. - Киев, УНК ВО. - 97 с.

БРОШУРИ І НОРМАТИВНІ ДОКУМЕНТИ

4. Рекомендации по обследованию строительных конструкций зданий и сооружений ВДНХ СССР. - М., 1986. - С. 89.

5. МУ 34-70-177-87 Методические рекомендации по оценке технического состояния опор воздушных линий электропередач и порталов. /Сост.: Горохов Е.В., Шевченко Е.В., Шаповалов С.Н., Королев В.П. - М., СПО Союзтехэкспорт, 1988. - С. 36.

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

7. РД 12.004-93 Металлические конструкции шахтных копров. Общие требования к защите от коррозии. /Сост.: Кириленко А.Б., Иноземцева Л.П., Куценко В.Н., Королев В.П. и др. - Киев, Госуглепром Украины, 1993. - С. 57.

8. ТУ У 22026170.001-95 Мастика противокоррозионная марки ППК/Сост.: Королев В.П., Гибаленко А.Н., Сохина С.И. и др. - Донецк, ДЦСМС, 1995. - С.14.

СТАТТІ У НАУКОВИХ ВИДАННЯХ

9. Горохов Е.В., Королев В.П. Методика оценки эффективности противокоррозионных мероприятий при проектировании и эксплуатации металлоконструкций // Реконструкция промышленных зданий и сооружений: сб. трудов - М., Стройиздат, 1988. - С. 41 - 45.

10. Горохов Е.В., Королев В.П., Мушанов В.Ф. Прогнозиро-

вание вероятностного срока службы металлоконструкций с учетом режима эксплуатации // Новые технологические решения для строительной промышленности Донбасса: сб. научн. трудов. - Киев, УМК ВО, 1989, с. 98 - 107.

11. Королев В.П. Принципы расчета стальных конструкций на коррозионные воздействия/ сб. трудов Межд. научн. техн. конф. "Ресурсосберегающие технологии в проектировании конструкций и технологических процессов"/ т.3 - Макеевка, 1995. - С.89-95

12. Горохов Е.В., Королев В.П. Определение срока службы конструктивных элементов при реконструкции склада минеральных удобрений. // Металлические конструкции / научная информация /. Вып. I - К.: АКМЕК, 1993. - С. 87 - 92.

13. Горохов Е.В., Королев В.П. Системный анализ коррозионных воздействий при оценке долговечности стальных конструкций // Пром. стр.-во - М., 1986, N5. - С. 5 - 7.

14. Горохов Е.В., Королев В.П., Мушанов В.Ф. Контроль несущей способности стальных конструкций покрытия // Строительные материалы и конструкции - 1988, N4. - С. 24 - 25.

15. Горохов Е.В., Доня А.П., Королев В.П., Сохина С.И., Парфилова С.С., Кубрак Ю.П. Нитро- и аминоксодержащие композиции для грунтовки по ржавчине // Защита металлов, т. XXV. - М., 1989. - С. 325 - 328.

16. Горохов Е.В., Королев В.П. Прогнозирование долговечности металлических конструкций в коррозионных средах // Пром. стр.-во. - М., 1989, N12 - С. 26 - 27.

17. Горохов Е.В., Королев В.П., Шаповалов С.Н. Структурные методы оценки долговечности металлоконструкций с учетом коррозионного состояния // Изв. вузов. Стр.-во и арх. - 1990, N3 - С. 5 - 8.

18. Горохов Е.В., Высоцкий Ю.Б., Доня А.П., Королев В.П. и др. О прогнозировании времени жизни антикоррозионных покрытий по стали ст3. Покрытия на основе кубовых остатков производства синтетических жирных кислот. /Защита металлов, 1995 г., т.31, N 1. - С.63-66

19. Королев В.П., Безлегкий А.П. Учет коррозионных воздействий при оценке долговечности стальных конструкций по предельным состояниям /Будівництво України, N6, 1995. -с.27-28.

АВТОРСЬКІ СВИДОЦТВА

20. А.с. N1213744 Горохов Е.В., Доня А.П., Королев В.П. и др. Состав для покрытий. - Бюл.изобр., 1986, N2.

21. А.с. N1670920 Горохов Е.В., Доня А.П., Королев В.П. и др. Композиция для защитного покрытия. -Бюл. изобр., 1989, N5.

22. А.с. N1560628 Горохов Е.В., Королев В.П., Заикин Б.Б. и др. Устройство для катодной защиты от коррозии метал-

лического объекта с тепловой изоляцией. - Бюл. изобр., 1990, N16.

ДЕПОНОВАНІ СТАТТІ

23. Королев В.П. Техническая диагностика коррозионного разрушения стальных конструкций. /НТЛ ЦНИИС. Раздел Б "Проектирование в строительстве", вып.3.; М., 1987.-17 с.

24. Методика расчета строительных металлоконструкций на коррозионную стойкость и долговечность при проектировании /Королев В.П.; Донбас. гос. академия стр.- арх. - Макеевка, 1995 - 12с. - Библиогр.: 3 назв.; рус.-Деп. в ГНТБ Украины 11.05.95, N 1215-УК95.

25. Критерии технологической рациональности противокоррозионной защиты легких металлоконструкций /Королев В.П. Донбас. гос. академия стр.-ва и архитектуры. Макеевка, 1995. - 16с.; ил. библиогр.: 6 назв.; - рус.- Деп. в ГНТБ Украины 05.12.95 N 2612-УК95.

26. Диагностика коррозионного разрушения стальных конструкций на стадии проектирования /Королев В.П. Донбас. гос. академия стр.-ва и архитектуры. Макеевка, 1995. - 13с.; ил. библиогр.: 2 назв.; - рус.- Деп. в ГНТБ Украины 05.12.95 N 2613-УК95.

ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ

27. Королев В.П. Системный подход при оценке эксплуатационной надежности стальных конструкций в коррозионных средах // IV Украинская научно - техн. конф. "Развитие, совершенствование и реконструкция сварных стальных конструкций зданий и сооружений" /Тез. докл. - Симферополь, 1988. - С.21-24.

28. Горохов Е.В., Королев В.П. Прогнозирование показателей долговечности металлоконструкций в коррозионных средах // VIII Международная конференция "Металлические конструкции". - Гданьск, 1989. - С. 72 - 79.

29. Горохов Е.В., Королев В.П., Заикин Б.Б. Расчетно-экспериментальная оценка показателей долговечности при определении межремонтных сроков стальных конструкций // VIII Всесоюзн. конф. "Коррозия и защита строительных конструкций производственных зданий и сооружений": тез. докл. - Донецк, 1990. - С. 71 - 72.

30. Горохов Е.В., Королев В.П., Галактионов А.В. Оценка коррозионного состояния структурных блоков покрытия типа "ЦНИИСК" //V Украинская конф. "Усиление и реконструкция производственных зданий и сооружений, построенных в металле" - Тез. докл. - Киев, 1992. - С. 55 - 56.

31. Королев В.П. Экспериментальная оценка коррозионной стойкости при выявлении резервов несущей способности стальных конструкций. // II Междунар. конф. "Материалы для строительства": тез. докл. - Днепропетровск, 1993. - С. 199 - 201.

Korolyov V.P. "Structural, technological and operational factors of steel structures life in corrosive environments"

Dissertation in manuscript for degree of the Technical Sciences Doctor on 05.23.01 speciality - Building constructions, buildings and structures. Kiev State Technical University of Civil Engineering and Architecture, Kiev, 1995.

The dissertation concerns the solution of scientific and technical problem of development of analytical approach to design of steel structures life and reliability factors in corrosive environments.

Theoretical basis for determination of corrosive effects systematization principles has been developed, design conditions and design models of structural elements and corrosive environment interaction have been based. The conditions of reliability and life analysis for limit state method theory improvement have been formulated. Technical decisions on buildings and structures corrosion control have been shown on the basis of design and experimental determination of guaranteed steel structure life factors.

Королев В.П. "Конструктивные, технологические и эксплуатационные факторы долговечности стальных конструкций в коррозионных средах". Диссертация в виде рукописи на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.23.01 - Строительные конструкции, здания и сооружения. Киевский государственный технический университет строительства и архитектуры. - Киев, 1995.

Диссертация посвящена решению комплексной научно-технической проблемы, связанной с созданием аналитического подхода к расчету показателей надежности и долговечности строительных металлоконструкций в коррозионных средах.

Разработана теоретическая основа определения принципов систематизации коррозионных воздействий, обоснованы расчетные ситуации и расчетные модели взаимодействия конструктивной формы и агрессивной среды. Сформулированы условия оценки надежности и долговечности стальных конструкций для совершенствования теории и метода предельных состояний. Представлены технические решения по противокоррозионной защите зданий и сооружений на основе расчетно-экспериментального определения гарантируемых показателей долговечности стальных конструкций.

Ключові слова: корозійне руйнування, надійність, довговічність, розрахунково-теоретичний метод, сталі конструкції, фактори корозійно-активних впливів, конструктивні параметри, моделі корозійних елементів, моделі розрахункових ситуацій.

РП "Южнийгипрогаз" зак142 тираж 100 экз. 1.02.1996г.

44341

AB 34.093