

УДК 620.192.67:624.05:656.71:656.71:629.7.021.7(045)

Г.Ф. Зеленкова, О.Ю. Запорожченко

## БІОЛОГІЧНЕ РУЙНУВАННЯ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ І ВИРОБІВ В АЕРОПОРТАХ

*Подано відомості про проблеми захисту будівельних конструкцій від біологічних пошкоджень. Розглянуто проблеми процесів біокорозії, хімічної корозії, а також наведено приклади методів захисту дерев'яних, металевих, бетонних та залізобетонних конструкцій.*

Захист будівельних конструкцій від біопошкоджень – одна з найдавніших наукових практичних проблем, які завжди вимагали своєчасного рішення.

В аеропортах цивільної авіації багатьом конструкціям споруд та будівель великі пошкодження наносять бактерії, грибки, комахи, гризуни.

Грибки і червиці за декілька місяців здатні зруйнувати конструкції, виготовлені з деревини. Бактерії і грибки викликають корозію бетону і залізобетону, металевих конструкцій, пошкоджують штукатурку та лакофарбові покриття.

Живі організми руйнують водовідводи і трубопроводи, а рослинність – дорожні та аеродромні покриття. Рослинні і тваринні нарости на поверхні бітумних покриттів здатні зменшити строк експлуатації конструкцій в два рази і більше.

Найбільше біопошкоджень пов'язано з діяльністю мікроорганізмів і грибків.

Особливо руйнівна діяльність біоорганізмів і органогенних агресивних середовищ спостерігається в цехах харчових блоків, в санітарно-технічних кабінах, авіаційно-технічних базах, в приміщеннях складів та спорудах пально-мастильних матеріалів (ПММ), каналізаційних і водовідвідних колодязях.

Розглянемо умови розвитку процесів біокорозії матеріалів. Розвиток процесів біокорозії можна розподілити на два види: поверхневі та дистанційні. В першому випадку біоорганізми, рослини, найчастіше мікроорганізми, знаходяться в безпосередньому контакті з зовнішньою або внутрішньою поверхнями будівельної конструкції і в процесі метаболізму взаємодіють з матеріалом. В результаті виникає пошкодження матеріалу і скорочується строк експлуатаційної придатності.

При дистанційних умовах біологічної корозії біоорганізми – це продукти речовин, агресивних по відношенню до будівельного матеріалу. Руйнівальні процеси можуть розвиватися на значній відстані від місця заселення біоорганізмів, які виробляють агресивні речовини по відношенню до будівельного матеріалу.

Часто виникають умови, за яких сумісні процеси хімічної корозії збігаються в результаті дії агресивних речовин, що вміщуються в контактному з будівельним матеріалом середовищі, та схожі речовини виділяються в процесі метаболізму мікроорганізмів. Наприклад забруднені води, що стікають в каналізаційні колодязі, розташовані на території служб ПММ, агресивні по відношенню до бетону і водночас є середовищем для розвитку мікрофлори. За ступенем і можливістю руйнування будівельні матеріали і виробни можна розмістити в такій послідовності:

- деревинні та інші матеріали органічного походження;
- лакофарбові покриття;
- кам'яні матеріали;



- бетонні і залізобетонні конструкції;
- металеві конструкції, трубопроводи.

В будівлях і спорудах аеропортів дерев'яні конструкції займають невеликий об'єм тимчасові споруди, оздоблювальні, личкувальні вироби тощо).

Біопошкодження пов'язані з діяльністю мікроорганізмів, які розвиваються при наявності рідкого середовища. Якщо вологи недостатньо, бактеріальні процеси стримуються, але на поверхні матеріалів і виробів розвиваються грибки при відносній вологості повітря понад 75%.

Розглянемо руйнування лакофарбових покриттів. Сприятливими умовами розвитку біопошкоджень будівельних матеріалів грибками є підвищена вологість конструкцій і умов експлуатації; плюсова температура і відсутність повітрообміну.

Пошкодження матеріалів грибками завжди починається з невеликих ділянок на поверхні конструкції. Навіть на біостійких матеріалах мінерального походження (бетон, облицювальна керамічна плитка, плитка з вапнякових порід тощо) можна побачити дрібні колонії ідеальних грибків, які поселилися на забруднених поверхнях. Забруднення, як правило, має органічне походження.

В цехах харчових блоків аеропортів руйнуються в першу чергу підлога і поверхня стін, навіть коли вони облицьовані керамічною плиткою. Осідаючи на керамічну плитку, жири всмоктуються швами між плитками, з часом в цементно-пісчаному розчині; виникає ослаблення когезії на межі "дрібний заповнювач" + "цементний камінь", який є  $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ . Хемічно зв'язана вода переходить в макромолекулу органічної сполуки і поступово міцність зчеплення кераміки з бетонним чи цегляним покриттям зменшується, а згодом плитка легко відривається. Керамічні покриття підлоги можуть зруйнуватися за декілька місяців, якщо постійно на них будуть діяти жири тваринного походження, особливо в розігрітому стані.

Плісняві грибки відносяться до основних агентів біопошкоджень, насамперед лакофарбових покриттів. Але ними можуть бути зруйновані природні кам'яні матеріали з туфу, черепашнику, цементні та силікатні бетони, штукатурка, виготовлена на основі вапна чи глини, покриття підлоги з полімерних матеріалів, металеві конструкції і трубопроводи. Будівельні конструкції будинків і споруд, особливо в умовах контакту з ґрунтами (заглиблені конструкції), необхідно дуже ефективно захищати (ізолювати) від можливості заселення грибками.

Плісняві грибки велику шкоду спричиняють лакофарбовим покриттям. Пофарбовані поверхні стін в приміщеннях АТБ, складів, аеродромної служби, санітарно-технічних кабін тощо покриваються бурими, іноді яскраво-зеленими плямами і здуваються пухирями, а згодом розтріскуються. Конструкції втрачають привабливий естетичний вигляд і експлуатаційну цінність.

Прикладом пошкоджень пліснявими грибками можуть бути поверхні стін цокольного поверху п'ятого корпусу, а також сходового прорізу третього корпусу Київського міжнародного університету цивільної авіації. Стіна сходового прорізу на висоту п'яти поверхів огорожує санітарно-технічні кабінки, де спостерігаються підвищена вологість і постійне зволоження стіни від сантехнічного устаткування.

Руйнівна дія грибків на матеріали залежить від складу їх метаболітів органічних кислот, окисно-відновлювальних і гідролітичних ферментів. Найбільш активні кислотоутворювачі – це грибки видів *L.nigez*, *Penicillium chrysogenum*, *P.ochrolon* тощо, які досліджували багато вчених [1]. Грибки різних видів в одних і тих же умовах проявляють різну здатність до новоутворення органічних кислот. За руйнівною здатністю на лакофарбові покриття різних речовинних складів кислоти можна поставити в такий ряд: щавлева > оцетова > лимонна > глюконова > піровиноградна. Такі кислоти виділяють в основному грибки із сім'ї *Aspergillaceae*, що розвиваються на поверхні покриттів разом з іншими грибками. Органічні



кислоти, що виділяють колонії грибків, у порівнянні з іншими метаболітами, володіють найбільшим руйнівним ефектом по відношенню до лакофарбових покриттів [4].

Швидкість руйнування покриттів різна при дії на них різних кислот. Щавлева і лимонна кислоти можуть також бути джерелом вуглецю для розвитку спор або клітинок грибків, які вдруге потрапили на поверхню покриття. Навіть маленька колонія грибків, що з'явилась на покритті, виділяє лимонну кислоту і стимулює вторинний пишний зріст міцелія грибків на поверхні покриття. Отже, первинне виділення органічних кислот грибками, які ростуть на поверхні лакофарбового покриття, може бути не тільки прямою, а й побічною причиною його руйнування від дії метаболітів грибків, які ростуть вже за рахунок цих кислот.

Можна запропонувати декілька способів підвищення грибокостійкості покриттів: не допускати підвищення вологості в приміщеннях і зволоження стін; не здійснювати введення фунгіцидів в ґрунтовку і покривний шар; не проводити обробку поверхні різними способами перед фарбуванням.

В фарбах, окрім плівкоутворювачів і отверджувачів, в цілому велике значення мають пігменти. Вони можуть механічно перешкоджати розповсюдженню міцелію або діяти токсично, наприклад, оксиди хрому, цинку, рутилу тощо. Також може впливати окисна дія пігментів, реакція з пігментами продуктів обміну речовин грибків, зміна рН до величини, несприятливої для росту грибків. Такі пігменти, як сажа, графіт, оксиди заліза, тальк тощо здатні погіршувати грибокостійкість покриттів.

Найефективнішим способом захисту лакофарбового покриття від появи пліснявих грибків є пряме введення фунгіцидів безпосередньо в усі види фарб і обробка розчинами фунгіцидів поверхні, на яку наноситься фарба. Високу фунгіцидну активність мають сполуки міді і свинцю, олова і ртуті (їх органічні мономери і полімери), хромати і оксиди цинку, нітрофеноли, солі важких металів [2].

Покриття, які вміщують ґрунтовки на основі водорозчинної модифікованої алкідної смоли з фунгіцидними добавками оксидів заліза, двооксиду титану і силікохромату свинцю, а також фосфатів цинку і хрому, мають високу грибокостійкість. Фосфати цинку і хрому добре сполучаються з більшістю зв'язуючих речовин. Активність багатьох фунгіцидів в покритті залежить від типу зв'язуючого. Наприклад, салициланлід, введений в емаль ЕП-567 на ґрунтовці Ак-070 при покритті сталі підвищує захисні властивості покриття, а добавлений в тій же кількості (5%) в кремнійорганічні лаки не дає бажаного ефекту [3].

Слід звернути увагу на те, що грибки здатні адаптуватися до більшості фунгіцидів. Інколи треба змінювати речовинний склад фунгіцидів при тривалій експлуатації матеріалів в одних і тих же умовах. Фунгіцид в покритті, активний в певних умовах, може втратити цю активність із зміною того чи іншого фактора середовища, а саме: зміною сезону, рівня вологості, сонячної радіації тощо.

Ефективність застосування фунгіцидів залежить також від їх розчинності в воді, інгібуючих або стимулюючих властивостей по відношенню до корозії металів і старіння полімерів, а основне – доступність та нешкідливість для людини.

Розглянемо руйнування кам'яних матеріалів. В більшості аеропортів України майже в усіх будинках і спорудах використовуються природні й штучні кам'яні матеріали, які в основному складаються із силікатів. В деяких аеропортах (Сімферополь, Одеса, Миколаїв та ін.) аеровокзали зовні личковані плитками, виготовленими з карбонатних порід.

Бетон, залізобетон та асфальтобетон – це основні конструкційні матеріали будинків і споруд аеропортів.

При певних умовах експлуатації конструкції з цих матеріалів можуть бути зруйновані за дуже короткий час. Основні процеси руйнування силікатів обумовлені дією кислот, які виділяють мікроорганізми в процесі їх життєдіяльності. Такими кислотами є: сильні мінеральні



сірчана і азотна кислоти, багатоатомні органічні гумінова і піровиноградна кислоти, прості за структурою органічні кислоти - оцтова, молочна, щавлева, яблучна, лимонна тощо.

В природних умовах найбільш розповсюдженою кислотою є вугільна. Відомо, що в водних розчинах вона легко дисоціює і при звичайному тиску в чистій, без вмісту солі воді, її кількість складає 0,59 мг/л в рівновазі з атмосферою, в якій її вміст дорівнює 0,03%  $\text{CO}_2$ ; а в воді, що вміщує рівноважну кількість  $\text{CO}_2$ , дорівнює 5,7.

Загазованість повітря в аеропортах, особливо в промислових районах України (Донецьк, Дніпропетровськ, Кривий Ріг, Керч та ін.), дуже сприяє передчасному руйнуванню конструкцій з природного каменю, бетону і залізобетону, а також облицювання керамічною плиткою.

Руйнування природних алюмосилікатів від дії мікроорганізмів проявляється повільно, але зовнішні умови можуть бути такими, що руйнування значно прискорюється: Такими умовами в спорудах АТБ, автобазах транспортних засобів, ПММ тощо можуть бути: накопичення бруду на поверхні бетонних та залізобетонних конструкцій, керамічного облицювання, а також органічних продуктів від ПММ. Інтенсивно руйнуються також бетонні колектори для стічної води, яка одночасно вміщує органічні речовини ПММ і сполуки сірки різного ступеня окислення. Необхідно враховувати весь комплекс умов і процесів взаємодії середовища і матеріалу споруди, в якому переважними можуть бути процеси хемічної корозії або процеси фізичної деструкції. Часто виникають умови, коли збігаються процеси хімічної корозії в результаті дії агресивних речовин, які вміщуються в агресивному середовищі, контактному з будівельним матеріалом, і схожих агресивних речовин, що виділяються в процесі метаболізму мікроорганізмів, які розвиваються на поверхні матеріалу.

За вмістом сірководню виділяють такі агресивні середовища:

- слабковідновлювальне (киснево-сірководневе), в якому концентрація  $\text{H}_2\text{S}$  складає 5-10 мг/л і  $E_h = 0-25$  мВ;
- помірновідновлювальне, де концентрація  $\text{H}_2\text{S}$  змінюється в межах 10 - 50 мг/л і  $E_h = 0 \dots (-150)$  мВ);
- різковідновлювальне, де  $\text{H}_2\text{S} > 50$  мг/л,  $E_h < -150$  мВ ( $E_h$  або  $r_{\text{H}_2}$  окисно-відновлювальний потенціал, який впливає на співвідношення різних форм іонів, присутніх у воді, і кількість вільного кисню. Знаючи значення  $E_h$ , можна зробити висновок, наскільки можлива в такій воді життєдіяльність мікроорганізмів різних типів [3].

Чим менше  $E_h$ , тим більше здатне відновлюватися середовище, і навпаки. Границя окисних і відновлювальних зон  $E_h$  знаходиться в межах від 17 до 18. Менше цих значень розчинений кисень у воді практично відсутній. До високого показника  $r_{\text{H}_2}$  (16 і більше) пристосувалися аеробні бактерії, до низького (0 - 12) – анаеробні, 0 - 20 – факультативні. Сірководневим мінералізованим водам супутні аеробні тіонові і анаеробні сульфатредуцуючі бактерії. Тіонові бактерії з'являються скрізь, де є сприятливі екологічні умови, які допомагають їхньому розвитку, а саме:

- присутність основного енергетичного матеріалу – сірководню або інших відновлених полук сірки;
- достатня вологість;
- достатня температура (ці бактерії розмножуються при середніх температурах від 10 до 40 $^{\circ}\text{C}$ , оптимальною є – 32--35 $^{\circ}\text{C}$ );
- наявність харчових біоречовин ( вуглець, азот, фосфор, калій тощо);
- певна реакція середовища (рН) і окисно-відновлювальний потенціал ( $r_{\text{H}_2}$ ).

Для бактерій *Th. thioragus* рН=4...9,8 і  $r_{\text{H}_2} = 10...16$ , а для *Th. thiooxidans* рН=0,5...5,2 і  $r_{\text{H}_2}=20...25$  [3].

На поверхнях бетонних конструкцій, які омиваються сірчановодневими, забрудненими водами, можуть розвиватися тіонові бактерії. Знаходячись в мікронах, тіонові бактерії окис-



слюють  $H_2S$ ,  $CaS$ ,  $Al_2S_3$  і  $S^0$  до сірчаної кислоти. Потім сірчана кислота взаємодіє з гідроксидом кальцію і утворюючи двоводний гіпс:  $Ca(OH)_2 + H_2SO_4 \rightarrow CaSO_4 + 2 H_2O$ .

Двоводний гіпс має твердість 2 за шкалою Мооса. Ним наповнюються пори, і при збільшенні його об'єму бетон руйнується. З часом в результаті утворення сірчаної кислоти виникають збільшення площі мікрозон і повна сульфатизація всієї поверхні бетонної конструкції.

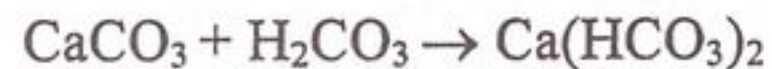
Бетонні і залізобетонні конструкції, маючи однакову природу поверхні, характеризуються пористою структурою цементного каменю і його лужною природою. Мікропориста структура цементного каменю характеризується порами, які відрізняються розмірами і становлять в діаметрі від тисячної долі мікрона до десятої долі міліметра. Для мікроструктури цементного каменю властива непроникність для частинок та мікроорганізмів, навіть найбільш менших за середній діаметр пор. Цементний камінь, залишаючись проникним для рідких газів, тобто для частинок молекулярного розміру, є фільтром для об'єктів більшого розміру. Мікроорганізми розміром понад 0,1 мкм залишаються на поверхні бетону або в шарі цементного каменю, утвореного мікроорганізмами, або інших органічних речовинах, які осіли безпосередньо на зовнішню поверхню конструкції. Біопшкодження бетону за рахунок продуктів життєдіяльності мікроорганізмів починаються, як правило, з поверхні, а згодом проникають в глибину конструкції.

Накопичення сірчаної кислоти і зниження рН на бетонній поверхні до 1-4 призводить до зміни форм тіонових бактерій *Th.thioragus* на *Th.thiooxidns*. Паралельно при накопиченні на поверхні бетону сірчаної кислоти с рН=1...2 виникає пряме хемічне окислення до  $H_2SO_4$ . Проникнення сірчаної кислоти в глибину бетонної конструкції викликає інтенсивне руйнування від поверхні усередину.

В природних умовах вугільна кислота руйнує в першу чергу карбонатні природні каменні матеріали і вироби. На поверхні облицьовувальних плиток з черепашнику можуть утворюватися легкорозчинні вуглекислі солі:



Руйнування цементного каменю в бетоні і заповнювачів, особливо пористих, може викликати також дереворуйнівний грибок *Serpula lacrymans* (суха гниль). В процесі метаболізму грибки утворюють велику кількість продуктів обміну, якими є вода,  $CO_2$ , органічні кислоти: мурашина, щавлева, молочна, янтарна, оцтова, яблучна, лимонна тощо. Продукти метаболізму, потрапляючи в пори бетону, утворюють легкорозчинні речовини. Наприклад, оцтова кислота утворює легкорозчинний оцтовокислий кальцій, мурашина – мурашинокислий кальцій, а розчинений у воді  $CO_2$  взаємодіє з карбонатами, утворюючи легкорозчинний кислий карбонат кальцію:



Утворена сіль легко вимивається водою.

Аналогічно руйнуються силікатні породи. Руйнування викликає сірчана кислота, яку утворюють сірганоокислювальні бактерії. В результаті виникають такі нові сполуки, як гідросульфоалюміній кальцію. Ці сполуки, збільшуючись в об'ємі, утворюють тріщини в бетоні.

Вуглеводи, що виділяються грибками, також негативно впливають на міцність бетону. Їх розчини в концентрації менше 0,6 % можуть загальмувати твердіння цементу, а розчини, які вміщують не більше 3 % цукру протягом року можуть зменшити міцність бетону на 13 % більше [5].

Одним з найбільш небезпечних видів мікробіологічної корозії є анаеробна, яка виникає без доступу вільного кисню. Від такого виду корозії можуть зруйнуватися ємкості для зберігання і транспортування ПММ, системи оберненого водопостачання. Такий вид руйнування



остерігається також в нейтральних умовах, якщо вода забруднена органічними речовинами.

Облицьовування будинків та споруд аеропортів плитами, виготовленими з природного каменю, за сприятливих умов експлуатації (відсутності біокорозії) забезпечить їх довговічність і архітектурну виразність.

В таблиці наведені ознаки руйнування і можлива довговічність облицьовування плити, виготовленими з природного каменю.

#### Довговічність облицьовувального каменю

Вид каменю	Перші ознаки руйнування, число років	Повне руйнування, число років
варцит, граніт дрібно- і середньозернистий	до 500	до 1500
граніт крупнозернистий, сієніт, габро, лабрадорит	до 250	до 700
мрамор, щільний пісковик, вапняк	до 150	до 450
крупнопористий вапняк, гіпсовий вапняк	до 50	до 50

З таблиці видно, що найдовговічнішими можуть бути облицьовальні матеріали, виготовлені з твердих гірських порід. Однак таким матеріалам необхідно забезпечити умови технічної експлуатації будинків та споруд.

Проведені наукові дослідження різних авторів дають можливість зробити висновок, що при належній експлуатації будинків та споруд аеропортів ЦА можливе запобігання передчасного руйнування будівельних конструкцій, виробів та матеріалів.

Стаття надійшла до редакції 20 лютого 1998 року.

#### Список літератури

1. Кулик Е.С., Карякіна М.І. Микроорганизмы и низшие растения – разрушители материалов и изделий.– М.: Наука, 1979.– с. 246.
2. Кулик Е.С. Біостійкість лакофарбових покриттів // Біоповреждения в строительстве.– М.: Стройиздат, 1984.– с. 84.
3. Биологические повреждения строительных и промышленных материалов.– К.: Наук. думка, 1978. – 102 с.
4. Біопошкодження в будівництві.– М.: Стройиздат, 1984.– 280 с.
5. Москвін В.М., Іванов Ф.М. Коррозія бетону і залізобетону, методи їх захисту.– М.: Стройиздат, 1980.– с. 534.