

УДК 691.328

КОМПЛЕКСНИЙ ПІДХІД ДО МОДЕЛЮВАННЯ КОРОЗІЇ КОНСТРУКЦІЙНО-ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНОГО АРБОЛІТУ

Бурлака О.О., кандидат технічних наук

*Харківський національний технічний університет сільського господарства
ім. П. Василенка.*

Розглянуто основні корозійні процеси, які протікають у компонентах арболіту під час його експлуатації. Запропоновано комплексну фізико-хімічну модель корозійних процесів у тривірневій структурі конструкційно-теплоізоляційного арболіту. Розглянуто вплив технології виробництва арболіту на формування внутрішнього корозійного потенціалу.

Вступ. Основним способом використання композитних матеріалів на основі відходів деревообробки та цементного в'язучого є конструкційно-теплоізоляційні вироби та конструкції. Ці матеріали можуть бути представлені як окремими арболітними блоками, так і монолітними масивами на тій же основі. При цьому можливість використання арболіту у якості економічного стінового матеріалу обмежена невизначеністю щодо мір по його захисту від зовнішніх впливів, оскільки на відміну від пористого бетону із неорганічним заповнювачем, структура арболіту може зазнавати необернених змін навіть під дією води [1].

Розробка ефективних методів захисту конструкційно-теплоізоляційного арболіту можлива тільки за умови комплексного розгляду структури арболіту та фізико-хімічної взаємодії, яка відбувається на розгалуженій і різномірній поверхні, що притаманна цій структурі. При цьому варто також розглянути вплив на корозійні процеси речовин, які додаються до суміші з метою покращення зчеплення деревини із цементним каменем та усунення впливу речовин, що містяться у деревині на цементний камінь [1, 2].

Мета роботи. Виходячи із вищесказаного актуальною задачею є побудова моделі корозії арболіту, яка б враховувала усі фізико-хімічні взаємодії як в цементному камені, так і на поверхні деревинного заповнювача. Також необхідною умовою є урахування внутрішніх напружень та біологічних впливів на матеріал.

Аналіз літературних джерел. Сталі погляди на корозію бетону зосереджені на тому, що головним чином її зазнає цементний камінь, у той час, як заповнювачі переважно залишаються інертними і зазнають тільки фізичної корозії (дії текучої води та вітру). При цьому у корозії цементного каменю виділяють три головні види: корозія внаслідок розчинення компонентів цементного каменю під дією вод із малою тимчасовою жорсткістю, корозія під дією вод, що містять речовини, які взаємодіють із компонентами цементного каменю з утворенням легкорозчинних сполук, що вимиваються водою, або

аморфних мас та корозію, при якій у порах та капілярах цементного каменю за рахунок обмінної реакції із оточуючим середовищем утворюються і починають рости кристали новоутворень, що спричиняють появу внутрішніх напружень [3].

З іншого боку, дослідження хімічної корозії деревини також виявили у ній кілька факторів. Перший із них пов'язаний із тим, що деревина є природнім композитом і складається із волокон целюлози, які скріплені разом лігніном. Лігнін є достатньо нестійкою речовиною ароматичної будови, що легко вступає у реакцію окислення [4]. Целюлоза є значно більш стійкою речовиною, яка не розчиняється у воді і більшості органічних розчинників. Однак при взаємодії із кислотами целюлоза може зазнавати гідролізу. Крім того, значною загрозою для целюлози є гриби, що виділяють ферменти, які у свою чергу, сприяють перетворенню целюлози на розчинну у воді глюкозу [5].

Проведені дослідження також вказують на те, що речовини, які містяться у деревині або утворюються внаслідок її корозії можуть вступати у хімічну реакцію із хімічними речовинами, що складають основу цементного каменю. Зокрема солі, що утворюються при взаємодії лігніну із кислотами відомі своєю уповільнюючою дією на гідратацію $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ та $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$. Крім того, танін та інші дубильні речовини, які містяться у деревині відносяться до тих, вміст яких у компонентах бетону на цементному в'язучому не можна допустити [3, 5].

Разом із тим існуючі дослідження [5, 6, 7] при аналізі корозійних ризиків для бетону не розрізняють поняття: «теплоізоляційний арболіт», «конструкційно-теплоізоляційний арболіт» та «конструкційний арболіт». У них у якості моделі структури арболіту розглядається схема, при якій частки деревини, загальний об'єм яких є значно меншим за об'єм цементного каменю, мають незначні розміри у порівнянні із товщиною виробу і з усіх боків оточені цементним каменем, який надійно захищає їх [8]. Крім того, у такій схемі вважається, що більша частина деревинних решток захищена від впливу зовнішнього середовища шаром більш хімічно інертного цементного тіста. Така модель у найбільшій мірі відповідає структурі конструкційного арболіту, критерієм оптимізації якого є забезпечення максимальної міцності на стиск та вигин [9]. Однак на сьогоднішній день у якості основних переваг арболіту як матеріалу пропонуються його теплоізоляційні властивості, що потребує наявності великої кількості пор як всередині деревного заповнювача, так і у макроструктурі матеріалу.

Основні результати дослідження. Запропоновано модель структури конструкційно-теплоізоляційного бетону із трьох основних елементів: решток деревинного походження, що мають переважно видовжену форму та утворюють каркас структури, цементного тіста, що скріплює між собою деревинні волокна та порожнин між ними. При цьому запропонована структура є трирівневою і складається із мікро-, мезо- та макрорівнів.

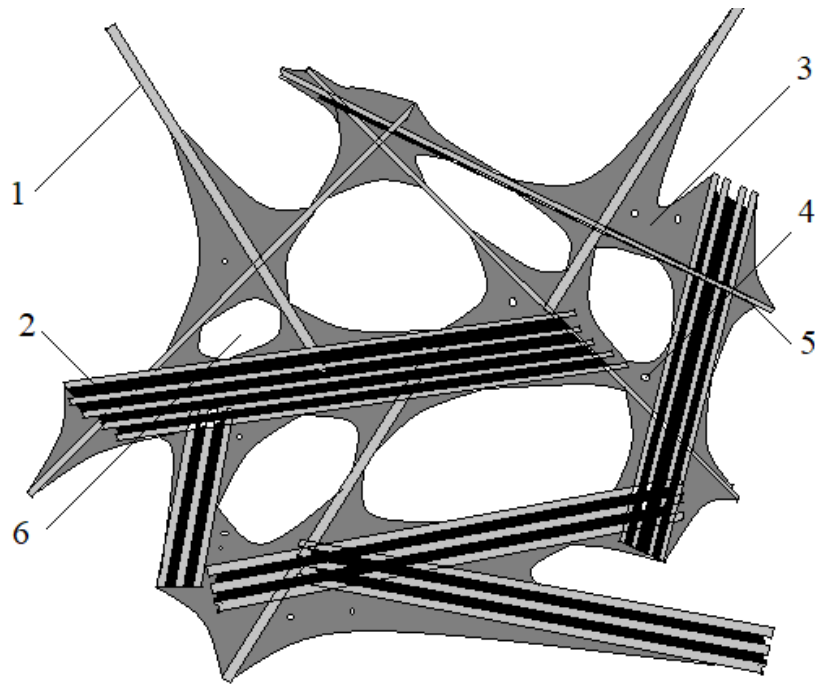


Рисунок 1 – Модель структури конструкційно-теплоізоляційного арболіту. 1 – целюлозне волокно, 2 – лігніновий проміжок, 3 – цементний камінь, 4 – пора у цементному камені, 5 – контактна зона «цементний камінь – деревина», 6 – порожнина у макроструктурі.

До мікроструктури у запропонованій системі відносяться кристалічна будова цементного каменю, мікроструктура окремих волокон деревини та контактна зона «цементний камінь-деревина». Мезоструктура представлена чергуванням смужок целюлози та лігніну всередині деревинного наповнювача, орієнтацію часток тирси або стружки у просторі та порову структуру цементного каменю. Макроструктура представлена порожнинами у матеріалі, які утворюються внаслідок нещільного заповнення простору між деревинними елементами.

Як і у важкому бетоні, між рівнями арболіту існують складні зв'язки, які проявляються у тому, що мікродефекти та нерівномірності структури на нижчому рівні можуть стати основою для формування складної структури на більш високих рівнях. Одночасно зміни структури на макрорівні можуть розглядатися як глобальний перерозподіл поверхонь розділу фаз, тобто як появу нових ділянок, на яких процеси слід розглядати на мікро- та мезорівнях [3].

При цьому переважна частина корозійних процесів є хімічними реакціями, які відбуваються на поверхні твердої фази, яка граничить із зовнішнім середовищем. Тобто для розуміння процесу корозії необхідно, в першу чергу, розглядати мікрорівень. Для відкритих поверхонь цементного каменю це стосується корозії першого типу, яка проявляється у вимиванні зі зростку різномірних кристалів легкорозчинних компонентів, головним чином $\text{Ca}(\text{OH})_2$, що призводить до підвищення пористості і зменшення міцності матеріалу.

При цьому інтенсивність цього виду корозії знижується у тому випадку, якщо поверхня цементного каменю інтенсивно адсорбує CO_2 . Це можливо за умови, якщо всередину структури арболіту вільно проникає атмосферне повітря. У цьому випадку відбувається реакція утворення карбонату кальцію:



У випадку ж, якщо порожнини у конструкційно-теплоізоляційному арболіті заповнені водою від самого моменту його твердіння, то вилужування тільки посилюється. Разом із тим, навіть у тому випадку, коли уся поверхня цементного каменю вкрита шаром карбонату кальцію, але у порах знаходиться волога, матеріалу загрожує корозія, яка особливо активно розвивається у арболіті, де можливе розкладання органічної частки. Внаслідок цього вода, яка затримується у відкритих порожнинах збагачується вуглецевим газом [2]. Результатом стає вуглецева корозія, здатна зруйнувати навіть CaCO_3 утворюючи водорозчинний гідрокарбонат кальцію:



Традиційно найбільш руйнівною для портландцементу вважається загальнокислотна корозія, яка вражає усі мінерали цементного каменю. Вона виникає в умовах, коли до пор арболіту проникають води із $\text{pH} < 7$, який є характерним практично для усіх продуктів розкладання деревини. Також, з урахуванням того, що арболіт часто розглядається як недорогий конструкційно-теплоізоляційний матеріал для сільського будівництва варто відмітити, що мінеральні добрива, такі як аміачна селітра, будучи розчиненими у воді викликають особливо інтенсивну корозію цементного каменю [10].

Окремо слід розглянути такі види корозії як магнезіальна, сульфатно-магнезіальна та сульфатна. Вони пов'язані із реакціями компонентів цементного каменю із солями розчиненими у ґрунтових водах. Застосування блоків або монолітного масиву арболіту у якості стінового матеріалу не передбачає прямого контакту матеріалу із ґрунтовими водами. Однак у тому випадку, коли конструкційно-теплоізоляційний арболіт використовується у якості утеплювача підлоги будівель промислового, складського або сільськогосподарського призначення і гідроізоляція під ним не передбачена, цей вид корозії є вірогідним.

При цьому конкретний характер корозійних змін структури залежить від складу розчинених у воді солей. Так за наявності у ґрунтових водах іонів Mg^{2+} відбувається їх реакція із гідроксидом кальцію із утворенням розчинної солі кальцію та Mg(OH)_2 у вигляді крихкої маси:



У тому випадку, коли у оточенні арболіту присутні розчинені у воді солі сульфатів, спостерігається комплексна корозія, яка полягає не тільки у хімічному руйнуванні мінералів цементного каменю, але і у утворенні нерозчинних солей, які накопичуються у порожнинах. У важкому бетоні цей процес зазвичай викликає ріст напружень у бетоні і появу мікродефектів, які можуть розвиватися у тріщини. Структура арболіту залишає для таких новоутворень більше місця і, крім того, деревинні волокна, що здатні до пружної деформації дозволяють значну частку напружень згасити.

Також достатньо складною є корозія деревини у арболіті. Структура матеріалу відрізняється розвинутою питомою поверхнею, а невелика кількість цементного каменю не може у повній мірі захистити поверхню деревини від впливу зовнішнього середовища і, як наслідок, деревина зазнає впливу і кислих і лужних середовищ [5].

Під дією лугів на целюлозу одночасно із хімічною реакцією протікають і фізико-хімічні процеси: набрякання, розчинення низькомолекулярних фракцій і структурні перетворення. Ці процеси відбуваються на мікрорівні, однак вони створюють основу для дефектів мезоструктури, які можуть вплинути на характеристики міцності арболіту під час тривалої експлуатації. У присутності кислот відбувається гідроліз целюлози з руйнуванням ланцюгів макромолекул. Целюлоза відносно легко піддається модифікації: її можна перетворити у розгалужений або зшитий полімер.

Крім того необхідно враховувати наявність у деревинному каркасі арболіту напружень, які виникають в результаті зміни вологості матеріалу. Деревина здатна до набухання та усихання. Набухання призводить до того, що кожне волокно чи група волокон целюлози, з'єднаних між собою лігніновими прошарками збільшуються у об'ємі, створюючи у контактній зоні «цементний камінь-деревина» додаткові напруження, які призводять до появи мікродефектів. З іншого боку при усиханні деревина зменшує свій об'єм нерівномірно і схильна до викривлень. Через це частинки стружки нерівномірно тиснуть на цементний камінь. У контактній зоні «цементний камінь-деревина» виникають локальні максимуми напружень, які є більш небезпечними за рівномірне напруження від набухання.

Таким чином загальна модель корозії арболіту під дією вологи, що проникає у його структуру із зовнішнього середовища виглядає наступним чином. Вода, при контакті із відкритою поверхнею деревини поглинається нею, що призводить до набухання деревинного заповнювача і виникнення напружень. При цьому у воду, що залишається у порожнинах макроструктури арболіту проникають дубильні та інші речовини, які здатні викликати кислотну корозію цементного каменю. Одночасно із цим відбувається розчинення $\text{Ca}(\text{OH})_2$ зі структури цементного каменю крім тих ділянок, на яких цементний камінь внаслідок тривалого перебування на повітрі вкрився шаром карбонату кальцію. У поєднанні із виникненням напружень від набухання деревини вилужування викликає появу дефектів на мезорівні і відбувається комплексне механо-хімічне руйнування структури бетону. На мезорівні утворюються

дефекти, які можуть перерости у порушення цілісності структури арболіту на макрорівні.

Одночасно це призводить до утворення нових ділянок відкритих деревини та цементного каменю, на яких починаються процеси корозії. Таким чином виникає позитивний зворотній зв'язок, який пришвидшує процес руйнування структури арболіту. Наявність у воді кислот пришвидчує ці процеси, оскільки викликає корозію одразу усіх компонентів арболіту, як органічних, так і неорганічних. Як і у випадку із водою цей процес також іде зі додатним зворотним зв'язком. При цьому руйнується не тільки цементний камінь, що відіграє у арболіті роль матриці, але і самі деревинні волокна.

У свою чергу наявність у воді сульфатів впливає, головним чином, на цементний камінь, однак є надзвичайно інтенсивною. Також, по мірі того, як у пори арболіту, відсоток яких на поверхні матеріалу збільшується, проникає вода, разом із нею проникають і спори грибів. Зниження лужності середовища внаслідок вимивання цементних мінералів та наявність великої кількості органіки спричиняють ріст грибів, які пришвидчують розкладання деревинного каркасу і спричиняють появу великої кількості глюкози, яка теж негативно впливає на цементний камінь.

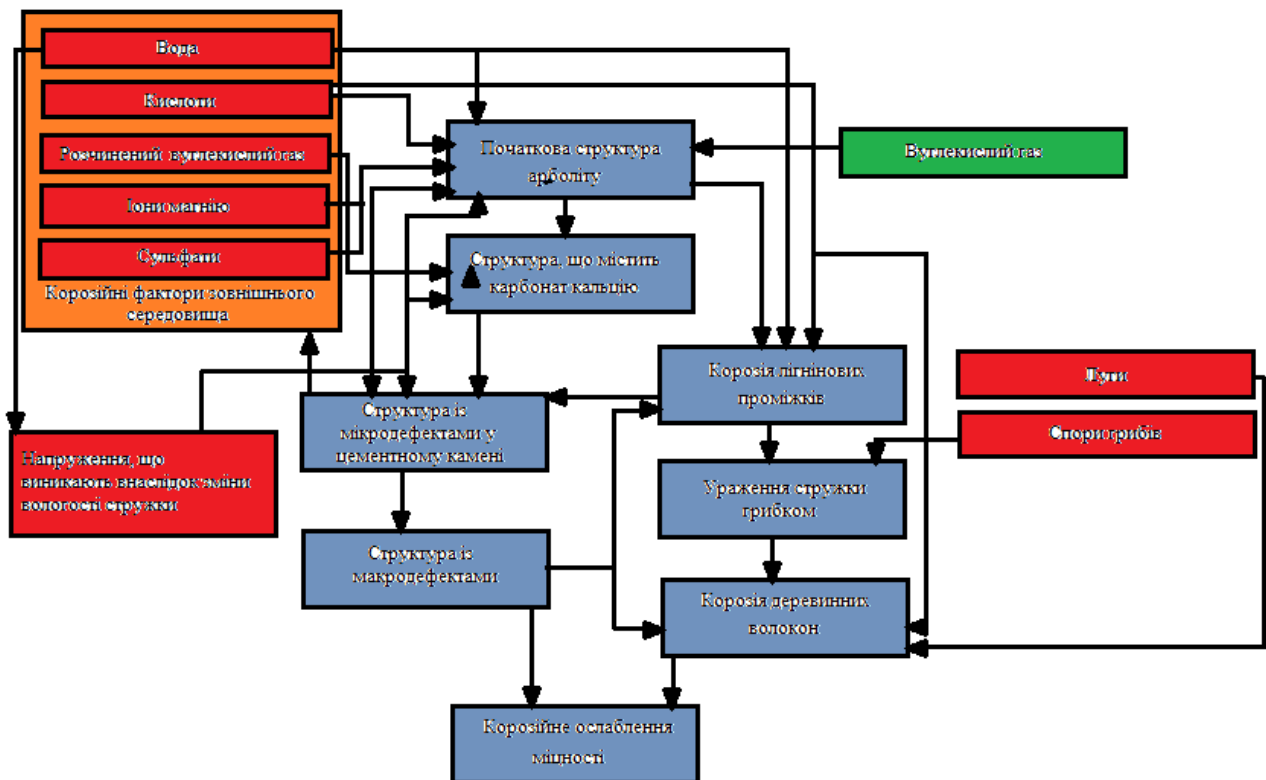


Рисунок 2 – Модель корозії конструкційно-теплоізоляційного арболіту

Таким чином процес корозії арболіту є автокаталітичним у якому розвиток процесів деградації деревини робить хімічне середовище більш корозійно несприятливим для цементного каменю, а руйнування останнього викликає появу нових ділянок придатних для корозії ділянок деревини. Залежності ступеня корозії від часу експлуатації є нелінійними і відрізняються

одна від одної в залежності від відсотку відкритих пор у об'ємі арболіту. Чим більшою є пористість матеріалу, тим швидше у ньому відбуваються процеси корозії. Таким чином можна заключити, що потрапляння будь-якої вологи до структури конструкційно-теплоізоляційного арболіту є неприпустимим, оскільки неминуче викликає початок автокаталітичного процесу руйнування усіх компонентів матеріалу. Тому при застосуванні такого матеріалу як стінового необхідно обов'язково передбачати гідроізоляцію.

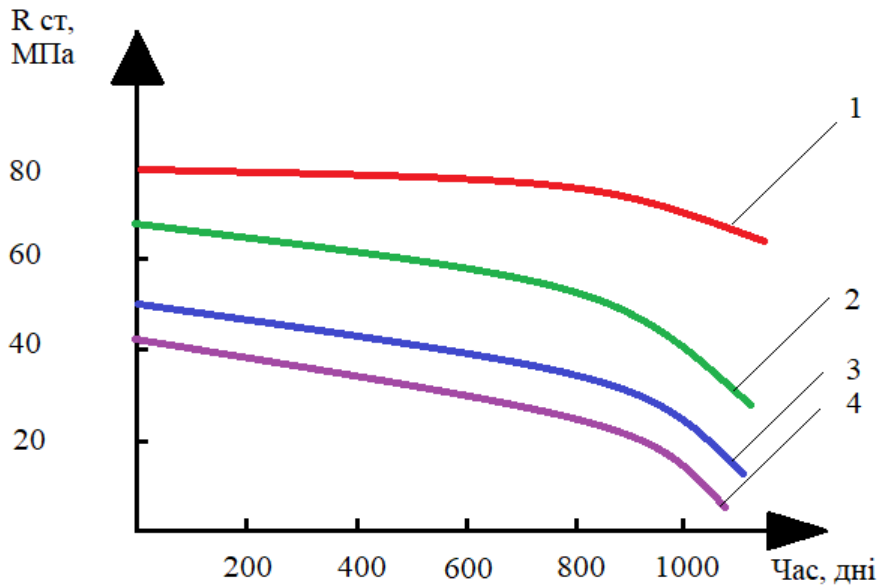


Рисунок 3 – Вплив макropористості на інтенсивність корозії. 1 – 40%, 2 – 45%, 3 – 50%, 4 – 55%

Крім того важливо відмітити, що відсутність зовнішніх джерел вологи не виключає можливості виникнення у арболіті корозійних процесів. Технологія процесу виготовлення арболіту передбачає додавання у суміш води у кількості, яка значно перевищує необхідну для гідратації цементу. Ця вода необхідна для змочування поверхні деревини, яка її активно адсорбує і забезпечення необхідної рухливості суміші. Після гідратації ця надлишкова волога залишається переважно у деревині і викликає її набухання.

Внаслідок цього утворюється значний внутрішній корозійний потенціал, який полягає у поєднанні напружень набухання та усихання деревини у структурі матеріалу та наявності вільної води яку можна розглядати як корозійне середовище. Виникає фізико-хімічний механізм корозії аналогічний тому, що спостерігається при проникненні у структуру арболіту вологи ззовні.

Обговорення результатів дослідження. Розроблена модель корозії конструкційно-теплоізоляційного арболіту є дійсною для достатньо широкого діапазону складів, у яких об'єми цементного тіста та деревини є порівнюваними. Разом із тим у описаному механізмі не враховано поширену практику захисту деревини у арболіті шаром матеріалу, який є хімічно інертним як до деревини, так і до цементного каменю.

У якості такої речовини частіше за все використовуються хлорид кальцію та сульфат алюмінію, які створюють навколо деревини захисний шар і

стримують протікання багатьох вищезазначених процесів [3, 8]. Зокрема повністю ізолюється від зовнішнього хімічного середовища деревина і порушується зворотній зв'язок, що викликає пришвидчення процесу руйнування арболіту. Також у значній мірі вдається позбутися від внутрішнього корозійного потенціалу. Разом із тим така модифікація практично не впливає на корозію цементного каменю, тож механізм появи у ньому мікродефектів потребує додаткових досліджень.

Висновки. Докладне дослідження окремих механізмів корозії, які протікають як на поверхні цементного каменю, так і деревини, а також їх взаємного впливу. Це дозволило побудувати комплексну фізико хімічну модель корозій конструкційно-теплоізоляційного арболіту, яка описує сукупність руйнівних процесів як єдиний автокаталітичний процес. Внаслідок моделювання можна зробити висновок про неприпустимість потрапляння всередину пористого арболіту вологи, особливо ґрунтових вод, насичених солями сульфатів. Також встановлено, що цементно-деревинним композитам притаманний внутрішній корозійний потенціал, поява якого зумовлена технологічним процесом приготування арболітної суміші.

Список літератури

1. Бурлака О.О. Перспективи використання виробів з цементно-деревинних композицій в умовах сучасного будівництва / О.О. Бурлака // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка – 2016 - № 167 - С. 39-46.
2. Дворкін Л.Й. Використання техногенних продуктів у будівництві : навч. посіб. / Л.Й. Дворкін, К.К. Пушкарьова, О.Л. Дворкін [та ін.]. – Рівне : НУВГП, 2009. – 339 с.
3. Кривенко П.В. Будівельне матеріалознавство: Підручник/ П.В. Кривенко, К.К. Пушкарьова. – К: «Видавництво Ліра-К» - 2012. - 624 с.
4. Казімагомедов І.Е. Дослідження впливу хімічних домішок на міцність арболіту із заповнювачем з костри льону / І.Е. Казімагомедов, А.В. Лобанова // Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту – 2015 - № 152.
5. Ємельянов В.Г. Основи деревинознавства і лісового товарознавства/ В.Г. Ємельянов, С.А. Шевченко. – Харків: Едена - 2010 – 250 с.
6. K. Anandaraju. Experimental Investigation of Papercrete Brick. / K. Anandaraju , V. Jose Ravindra Raj, R. Vijaya // Sarathy International Journal of Machine and Construction Engineering. -2015 - Volume 2 - Issue 2 - pp 26-30.
7. Лебедев М.А. Экспериментальные исследования коэффициента теплопроводности кладки из опилкобетонных кирпичей / Лебедев М.А., Лихачёва С.Ю. - Вестник МГСУ – 2011 - №3 – С. 89-94.
8. Сеничев В.П. Влияние фракционного состава довесного заполнителя на физико-механические показатели арболита / Сеничев В.П., Воропай Л.М., Осипов Ю.Р., Шлыков С.А // Вестник Череповецкого государственного университета. - 2015 - №6 - С. 47-50.

9. Сафин Р.Г. Современные строительные композиционные материалы на основе древесных отходов / Сафин Р.Г., Степанов В.В., Хайруллина Э.Р., Гайнуллина А.А., Степанова Т.О // Вестник Казанского технологического университета. – 2015 - С. 139-142.

10. F.C. Jorge. Wood-cement composites: a review/ F.C. Jorge., C. Pereira, J. M.F. Ferreira / European Journal of Wood and Wood Products – 2004 - Volume 62 - Issue 5 – pp. 370–377.

Аннотация

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ КОРРОЗИИ КОНСТРУКЦИОННО-ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО АРБОЛИТА

Бурлака А.А.

Рассмотрены основные коррозионные процессы, которые протекают в компонентах арболита во время его эксплуатации. Предложена комплексная физико-химическая модель коррозионных процессов в трёхуровневой структуре конструкционно-теплоизоляционного арболита. Рассмотрено влияние технологии производства арболита на формирование внутреннего коррозионного потенциала.

Abstract

COMPLEX APPROACH TO MODELING CORROSION OF CONSTRUCTION-HEAT-INSULATING ARBOLIT

Burlaka O.O

The main corrosion processes that occur in the components of wood concrete during its use are considered. A complex physico-chemical model of corrosion processes in a three-level structure of structural thermally insulated wood concrete is proposed. The influence of arbolite production technology on the formation of the internal corrosion potential is considered.