DOI: https://doi.org/……
УДК 620.197.4

Човнюк Юрій Васильович,
кандидат техічних наук,
доцент кафедри сільськогосподарської техніки і системотехніки,
Національного університету біоресурсів і природокористування України;
ychovnyuk@ukr.net,
http://orcid.org/0000-0002-0608-0203,
Чередніченко Петро Петрович,
доцент кафедри міського будівництва,
petro_che@ukr.net,
http://orcid.org/000-0001-7161X,
Кравчук Володимир Тимофійович,
кандидат техічних наук, доцент кафедри охорони праці та навколишнього середовища,
vtk1@ukr.net,
http://orcid.org/0000-0002-5213-3644,
Остапущенко Ольга Павлівна,
кандидат техічних наук,
доцент кафедри електротехніки та електроприводу,
Київський національний університет будівництва і архітектури
olga_ost_17@ukr.net,
http://orcid.org/0000-0001-8114-349X,

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ МАСОПЕРЕНОСУ ПРИ КОРОЗІЇ ЦЕМЕНТНИХ БЕТОНІВ ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ ТА ПОКРИТТІВ АЕРОДРОМІВ

Анотація: розглянуті різновиди корозійних процесів при впливі на цементні бетони дорожнього одягу та покриттів аеродромів різноманітних агресивних середовищ у межах класифікації за В.М. Москвіним й описані їх відмінні ознаки. У роботі зазначено, що руйнування цементних бетонів визначаються процесами масопереносу та хімічних реакції. На основі цього дається обгрунтування узагальненого методологічного підходу щодо моделювання процесів масопереносу при рідинній корозії будівельних матеріалів. Для корозій I та II видів отримані аналітичні розв’язки за конкретних початкових та граничних умов задачі.

Ключові слова: цемент; бетон; корозія; масо перенос; дорожній одяг; покриття аеродромів; моделювання; аналітичні розв’язки.

Постановка проблеми і аналіз останніх публікацій по темі дослідження.

У сучасних умовах експлуатації будівельні матеріали, які використовуються для створення дорожнього одягу або покриття аеродромів, знаходяться під впливом різноманітних агресивних середовищ, які з плином часу призводять до корозійних руйнувань і, насамкінець, до поступового знищення експлуатаційної надійності конструкції.

Москвіним В.М. [1] була запропонована класифікація основних видів корозії. На основі отриманих експериментальних даних та накопиченого досвіду експлуатації конструкцій процеси, котрі протікають при корозії бетону, були розділені на три основних вида.

Слід зазначити, що у природних умовах зазвичай має місце одночасний прояв кількох видів корозії бетону, але один з них є ведучим [2].

Гідратовані матеріали, які складають цементний камінь, у різних ступенях розчинні у воді. Руйнування бетону внаслідок розчинення й виносу з нього, з його структури, компонентів цементного каменю було назване корозією І виду. Найбільш розчинним компонентом портландцементного каменю є гідрооксід кальцію. Гідросилікат й гідроалюмінати кальцію також піддаються розчиненню у воді. Лужні реакції щодо гідрооксиду кальція у бетоні з плином часу призводять до втрати міцності бетону.

Корозія ІІ виду відрізняється від корозії І виду тим, що пошкодження бетону визначається розчиненням компонентів цементного каменю й їх хімічною взаємодією з агресивними компонентами, які входять до складу води, з утворенням розчинних продуктів корозії чи з виділенням важко розчинних сполук у вигляді крихких новітніх утворень, котрі не мають властивостей, що зміцнюють бетон. Важливим у цьому випадку є тип кислоти та її вміст у водному розчині. Чітко за ступенем агресивності розділяють органічні кислоти, агресивність котрих для цементних бетонів визначається розчинністю їх солей кальцію. Так, наприклад, оцтова, лимонна, молочна кислоти доволі агресивні, а щавелева - слабко агрессивна.

До ІІІ виду корозії відносяться процеси, при яких руйнування - зниження міцності - обумовлене виникненням внутрішніх напружень в результаті утворення у цементному камені нових з’єднань зі збільшенням об’єму твердої фази чи кристалізації з’єднань із зовнішнього водного розчину.

За майже столітній період експериментальних досліджень корозії бетону накопичений величезний фактичний матеріал, що й створило передумови для узагальнень, спроби подати результати у формі математичних моделей.

Мета роботи полягає у обґрунтуванні фізико-механічної та математичної моделей процесів масопереносу при корозії цементних бетонів дорожнього одягу та покриттів аеродромів.

Виклад основного змісту дослідження.

Масоперенос речовин у тілі бетону здійснюється шляхом фільтрації рідини чи газу при наявності градієнту тиску чи/або дифузії речовин при наявності різниці концентрацій.

У роботі [2] наведена математична модель корозійного масопереносу, що характерна при корозії I виду. У даному дослідженні здійснена уточнена постановка задачі:

$$\frac{\partial C(x,\tau)}{\partial \tau} = k\frac{\partial^2 C(x,\tau)}{\partial x^2},\ \tau > 0,\ 0 \le x \le \delta; \tag{1}$$

при початкових умовах:

$$C(x,\tau)\Big|_{\tau=0} = C(x,0) \equiv C_0(x); \tag{2}$$

й граничних умовах:

$$k\frac{\partial C(0,\tau)}{\partial x} - \beta_0 C(0,\tau) = -\beta_0 C_p(\tau);\ k\frac{\partial C(\delta,\tau)}{\partial x} + \beta_\delta C(\delta,\tau) = \beta_\delta C_p(\tau), \tag{3}$$

де: x - просторова, τ - часова координата, відповідно (одновимірна постановка задачі); $C(x,\tau)$ - концентрація “вільного гідроксиду кальцію” у бетоні у момент часу τ у довільній точці з координатою x, у перерахунку на CaO, кг/кг бетону; $C_p(\tau)$ - рівноважна концентрація на поверхні твердого тіла, кг CaO/кг бетону; k - коефіцієнт масопровідності у твердій фазі, м^2/с; δ - товщина стінки конструкції, м; $[x]$=м; $[\tau]$=с; β_0, β_δ - коефіцієнти масовіддачі у рідкій фазі (рідкому середовищі) для поверхні $x=0$ й $x=\delta$, відповідно, м/с.

Вважаємо, що (k,β_0,β_δ) - константи, $C_p(\tau)$ - задана функція (τ) часу, $C_0(x)$, $\dot{C}_0(x)$ - задані функції просторової координати (x).

Введемо наступну заміну:

$$\bar{C}(x,\tau) = -C(x,\tau) + C_p(\tau), \tag{4}$$

тоді постановка задачі (1) – (3) набуває наступного вигляду:

$$\frac{\partial \bar{C}(x,\tau)}{\partial \tau} - k\frac{\partial^2 \bar{C}(x,\tau)}{\partial x^2} = \frac{\partial C_p(\tau)}{\partial \tau};\ \tau > 0,\ 0 \le x \le \delta; \tag{5}$$

при початкових умовах:

$$\bar{C}(x,\tau)\Big|_{\tau=0} = C_p(0) - C_0(x); \tag{6}$$

й граничних умовах:

$$k\left\{\frac{\partial \bar{C}(0,\tau)}{\partial x}\right\} - \beta_0 \bar{C}(0,\tau) = 0;\ k\left\{\frac{\partial \bar{C}(\delta,\tau)}{\partial x}\right\} + \beta_\delta \bar{C}(\delta,\tau) = 0. \tag{7}$$

Нижче поданий аналітичний розв’язок задачі (5) - (7), отриманий засобами математичної фізики [4-6]. Розв’язок задачі (5) - (7), поданий нижче, має вигляд:

$$\bar{C}(x,\tau)=\bar{C}_1(x,\tau)+\bar{C}_2(x,\tau), \tag{8}$$

де:

$$\bar{C}_1(x,\tau)=\sum_{m=1}^{\infty}A_m Z_m(x)\exp\left\{-k\gamma_m^2\tau\right\}, \tag{9}$$

γ_m - власні числа, що визначаються з трансцедентного рівняння:

$$ctg(\gamma_m\cdot\delta)=\frac{\gamma_m^2\cdot\delta^2-S_1\cdot S_2}{(S_1+S_2)\gamma_m\cdot\delta},\ S_1=\frac{\beta_0}{k}\delta,\ S_2=\frac{\beta_\delta\delta}{k}, m=1,2,3,..., \tag{10}$$

$$Z_m(x)=\frac{(\gamma_m\delta)\cos(\gamma_m x)+S_1\sin(\gamma_m x)}{\left\{\frac{\delta}{2}\left[\gamma_m^2\delta^2+S_1^2+\frac{(\gamma_m^2\delta^2-S_1^2)}{\gamma_m\delta}\sin(\gamma_m\delta)\cos(\gamma_m\delta)+2S_1\sin^2(\gamma_m\delta)\right]\right\}^{1/2}}. \tag{11}$$

Константи A_m у (9) можна знайти зі співвідношення:

$$A_m=\int_0^{\delta}\left\{C_p(0)-C_0(x)\right\}Z_m(x)dx\Big/\left\|Z_m(x)\right\|^2,\ \left\|Z_m(x)\right\|=\left(\int_0^{\delta}Z_m^2(x)dx\right)^{1/2}. \tag{12}$$

$\bar{C}_2(x,\tau)$ є розв'язком неоднорідного рівняння (5) за нульових початкових й граничних умов знаходиться шляхом розкладу функції $f(\tau,x)=\frac{\partial C_p(\tau)}{\partial\tau}=\frac{dC_p(\tau)}{d\tau}=\dot{C}_p(\tau)$ по власним функціям відповідної задачі Штурма-Ліувілля для однорідного рівняння. Тому маємо:

$$f(\tau,x)=\dot{C}_p(\tau)=\sum_{n=1}^{\infty}f_n(\tau)Z_n(x),\ f_n(\tau)=\frac{1}{\left\|Z_n(x)\right\|^2}\int_0^{\delta}f(\tau,x)Z_n(x)dx, \tag{13}$$

γ_n - власні числа, введені вище (10).

Тому загальний розв’язок $\bar{C}_2(x,\tau)$ вихідної задачі (5)-(7), у (8) має вид:

$$\begin{aligned}\bar{C}_2(x,\tau)&=\sum_{n=1}^{\infty}\left(\int_0^{\tau}\exp\left[-\omega_n^2(\tau-\tau')\right]f_n(\tau')d\tau'\right)z_n(x)=\\&=\int_0^{\tau}\int_0^{\delta}G(x,\xi,\tau-\tau')f(\tau',\xi)d\xi d\tau'\end{aligned}, \tag{14}$$

де $G(x,\xi,\tau-\tau')$ - функція миттєвого точкового джерела маси (або функція Гріна):

$$\begin{cases} G(x,\xi,\tau-\tau') = \sum_{n=1}^{\infty}\left[\exp\left\{-\omega_n^2(\tau-\tau')\right\} Z_n(x) Z_n(\xi) \Big/ \left\|Z_n(x)\right\|^2\right], \\ \omega = \sqrt{k}\cdot\gamma_n,\ n = 1,2,3,\dots . \end{cases} \tag{15}$$

В свою чергу, встановлені закономірності масопереносу при рідинній корозії бетонів, що протікають за механізмом II виду [3], зводяться до розробки математичної моделі дифузії “вільного гідроксиду кальцію” у гетерогенній системі “бетон-рідина”, котру у твердій фазі можна подати рівняннями виду:

$$\frac{\partial C(x,\tau)}{\partial\tau} = k\frac{\partial^2 C(x,\tau)}{\partial x^2} + \frac{q_v(x)}{\rho_Б},\ \tau \ge 0,\ 0 \le x \le \delta, \tag{16}$$

при початкових умовах:

$$C(x,\tau)\big|_{\tau=0} = C_0(x), \tag{17}$$

й при граничних умовах:

$$\begin{aligned} & k\frac{\partial(0,\tau)}{\partial x} - \beta_0 C(0,\tau) = 0; \\ & k\rho_Б\frac{\partial C(\delta,\tau)}{\partial x} + \beta_\delta\rho_Б C(\delta,\tau) = -q_i(\tau). \end{aligned} \tag{18}$$

У задачі (16)-(18) величини $q_v(x), q_i(\tau), C_0(x)$ вважаються заданими функціями своїх аргументів, $\rho_Б$ - щільність бетону. Зазначимо, що на відміну від роботи [3], у даному дослідженні здійснена розширена постановка задачі $(\beta_0 \ne 0, \beta_\delta \ne 0)$. У подальшому розглянемо задачу, в якій q_i не є функцією часу τ, тобто $q_i = const$ [3]. Введемо заміну змінних та функцій у задачі (16)-(18), тоді матимемо для:

$$\overline{\overline{C}}(x,\tau) = C(x,\tau) + \frac{q_i}{\beta_\delta\rho_Б}; \tag{19}$$

$$\frac{\partial\overline{\overline{C}}(x,\tau)}{\partial\tau} = k\frac{\partial^2\overline{\overline{C}}(x,\tau)}{\partial x^2} + \frac{q_v(x)}{\rho_Б},\ \tau \ge 0,\ 0 \le x \le \delta; \tag{20}$$

$$\overline{\overline{C}}(x,\tau)\big|_{\tau=0} = C_0(x) + \frac{q_i}{\beta_\delta\rho_Б}; \tag{21}$$

$$k\frac{\partial\overline{\overline{C}}(0,\tau)}{\partial x} - \beta_0\overline{\overline{C}}(0,\tau) = -\frac{\beta_0 q_i}{\beta_\delta\rho_Б};\ k\frac{\partial\overline{\overline{C}}(\delta,\tau)}{\partial x} + \beta_\delta\overline{\overline{C}}(\delta,\tau) = 0. \tag{22}$$

У подальшому розв'язуємо задачу у постановці (19)-(22) й наближення $\beta_0 << \beta_\delta$, за якого граничні умови (22) стають однорідними. В результаті ми отримаємо наступний розв'язок задачі (19)-(22):

$$\overline{\overline{C}}(x,\tau) = \overline{\overline{C_1}}(x,\tau) + \overline{\overline{C_2}}(x,\tau), \tag{23}$$

де:

$$\overline{\overline{C_1}}(x,\tau) = \sum_{m=1}^{\infty} \overline{A_m} Z_m(x) \exp\left\{-k\gamma_m^2 \tau\right\}, \tag{24}$$

константи $\overline{A_m}$ у (24) можна знайти зі співвідношення:

$$\overline{A_m} = \int_0^\delta \left\{ C_0(x) + \frac{q_i}{\beta_\delta \rho_Б} \right\} Z_m(x)\, dx \Big/ \left\| Z_m(x) \right\|^2 . \tag{25}$$

$\overline{\overline{C_2}}(x,\tau)$ знаходимо з наступних міркувань:

$$\bar{f}(\tau,x) = \frac{q_v(x)}{\rho_Б} = \sum_{n=1}^{\infty} \bar{f}_n(\tau) Z_n(x), \quad \bar{f}_n(\tau) = \frac{1}{\left\| Z_n(x) \right\|^2} \int_0^\delta \left(\frac{q_v(x)}{\rho_Б} \right) Z_n(x)\, dx, \tag{26}$$

$$\begin{aligned} \overline{\overline{C_2}}(x,\tau) &= \sum_{n=1}^{\infty} \left(\int_0^\tau \exp\left[-\omega_n^2(\tau-\tau')\right] \cdot \bar{f}_n(\tau')\, d\tau' \right) \cdot Z_n(x) = \\ &= \int_0^\tau \int_0^\delta G(x,\xi,\tau-\tau') \cdot \bar{f}(\tau',\xi)\, d\tau' = \int_0^\tau \int_0^\delta G(x,\xi,\tau-\tau') \cdot \frac{q_v(\xi)}{\rho_Б}\, d\tau'. \end{aligned} \tag{27}$$

Вираз для функції Гріна $G(x,\xi,\tau-\tau')$ наведений вище, у співвідношенні (15).

Висновки

1. Процеси масообміну є одним із найважливіших розділів сучасної науки й мають велике практичне значення у будівельному матеріалознавстві. Знання законів масопереносу дає можливість раціонального проектування будівельних конструкцій у відповідності з режимом їх експлуатації, оптимального підбору для них матеріалів, оцінки стану конструкцій.

2. Підвищення безпеки й довговічності будівель та споруд є однією з найважливіших задач будівництва. Розв'язок цієї задачі вимагає знань сутності процесів, що протікають при експлуатації будівельних конструкцій, в першу чергу сутності процесів корозії.

3. У сучасному промисловому, цивільному та транспортному будівництві основним матеріалом для спорудження відповідальних будівель та споруд є бетон. Висока міцність й доволі проста сукупність робіт визначили широку область його застосування, але вплив агресивних середовищ здатний з плином часу послабляти міцність бетону, знижуючи тим самим безпеку й довговічність будівель та споруд.

4. Твердіння бетону призводить до виникнення у ньому вільного гідроксиду кальцію, вміст котрого досягає (10...15)% (у перерахунку на CaO) і який може вимиватись з конструкції під впливом оточуючого середовища. Вказаний процес твердіння бетону характеризується хімічними реакціями гідратації аліта та беліта. Зменшення вмісту вільного гідроксиду кальцію в результаті ‘вимивання” його з бетону рідиною, викликає зміну фазової та термодинамічної рівноваги у системі, призводить до розкладання основних складових цементного клінкера, таких як напівгідрат сульфату кальцію, гіпс, трикальцієвий алюмінат, аліт, беліт, гіллебрандит, ксонотліт, тоберморіт, що у свою чергу призводить до невідновлюваної втрати міцнісних властивостей бетону. Встановлено, що при втраті 10% CaO зниження міцності цементного каменю досягає 10%, при втраті 20% CaO – вже 25%, а при втраті 33% CaO наступає повне руйнування бетону.

5. Розробка математичних моделей процесів корозії бетону базується на фізичних моделях дифузії компонентів, які переносяться у пористій структурі бетону, й математичному апараті граничних задач масопереносу з використанням диференціальних рівнянь у частинних похідних параболічного типу. У роботах [2, 7-10] наведені результати розробки математичних моделей процесів корозії бетону першого виду, а також результати практичного застосування поданих математичних моделей. Проте отримані результати не витримують ніякої критики з точки зору методів і підходів класичної математичної фізики. У даному дослідженні ці помилки, неточності, невідповідності й некоректності вказаних робіт усунені. Причому розглянуті моделі корозії бетонів першого та другого видів.

6. Безумовним позитивним моментом отриманих у дослідженні залежностей є можливість розв’язку оберненої задачі, коли наявні експериментальні дані за допомогою даної моделі дозволяють прогнозувати чисельні значення вільного гідроксиду кальцію, що у кінцевому підсумку з мінімальною похибкою дозволяє прогнозувати довговічність споруд та будівель.

Список літератури

1. Москвин В.М. Коррозия бетона. М.: Госстройиздат, 1952. 342 с.
2. Федосов С.В., Румянцева В.Е., Хрунов В.А., Аксаковская Л.Н. Моделирование массопереноса в процессах коррозии бетонов первого вида (малые значения числа Фурье). Строительные материалы. 2007. №5. С. 70-71.
3. Федосов С.В., Румянцева В.Е., Касьяненко Н.С. Математическое моделирование массопереноса в процессах коррозии бетона второго вида. Строительные материалы. 2008. №7. С. 35-39.

4. Кошляков Н.С., Глинер Э.Б., Смирнов М.М. Уравнения в частных производных математической физики. М.: Высшая школа, 1970. 712 .

5. Мусій Р.С., Орищин О.Г., Зашкільняк І.М., Клайчук М.І. Диференціальні рівняння та рівняння математичної фізики. Львів: Растр-7, 2018. 250 с.

6. Недосека А.Я. Основы расчета сварных конструкций. К.: Выща школа, 1988. 263 с.

7. Федосов С. В., Румянцева В. Е., Федосова Н. Л., Смельцов В. Л. Моделирование массопереноса впроцессах жидкостной коррозии бетона первого вида. Строительные материалы. 2005. №7. С. 60-62.

8. Федосов С. В., Румянцева В. Е., Румянцева К. Е., Хрунов В.А. Моделирование пограничного слоя в процессах массопереноса при жидкостной коррозии железобетонных конструкций. Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. 2011. Т.54. №6. С. 96-100.

9. Федосов С.В., Румянцева В.Е., Хрунов В.А., Касьяненко Н.С., Смельцов В.Л. Прогнозирование долговечности строительных конструкций с позиций расчетного и экспериментального исследования процессов коррозии бетона. Вестник Волгоградского ГАСУ, серия “Строительство и архитектура”, раздел “Строительные материалы и изделия” 2009. №14(33). С. 117-122.

10. Федосов С.В., Румянцева В.Е., Хрунов В.А., Шестеркин М.Е. О некоторых проблемах технологии безопасности и долговечности зданий, сооружений и инженерной инфраструктуры. Строительные материалы. 2015.№3. С. 8-11.

References

1. Moskvyn V.M. Korrozyia betona. M.: Hosstroiyzdat, 1952. 342 s. (in Russian).

2. Fedosov S. V., Rumiantseva V. E., Khrunov V. A., Aksakovskaia L. N. Modelyrovanye massoperenosa v protsessakh korrozyy betonov pervoho vyda (malые znachenyia chysla Fure). Stroytelnie materyali. 2007. №5. S. 70-71. (in Russian).

3. Fedosov S. V., Rumiantseva V. E., Kasianenko N. S. Matematycheskoe modelyrovanye massoperenosa v protsessakh korrozyy betona vtoroho vyda. Stroytelnie materyali. 2008. №7. S. 35-39. (in Russian).

4. Koshliakov N. S., Hlyner Э. B., Smyrnov M. M. Uravnenyia v chastnыkh proyzvodnskh matematycheskoi fyzyky. M.: V. shkola, 1970. 712 s. (in Russian).

5. Musii R.S., Oryshchyn O.H., Zashkilniak I.M., Klaichuk M.I. Dyferentsialni rivniannia ta rivniannia matematychnoi fizyky. Lviv: Rastr-7, 2018. 250 s. (in Ukrainian).

6. Nedoseka A.Ia. Osnovi rascheta svarnikh konstruktsyi. K.: Vыshcha shkola, 1988. 263 s. (in Russian).

7. Fedosov S. V., Rumiantseva V. E., Fedosova N. L., Smeltsov V. L. Modelyrovanye massoperenosa vprotsessakh zhydkostnoi korrozyy betona pervoho vyda. Stroytelnie materyali. 2005. №7. S. 60-62. (in Russian).

8. Fedosov S. V., Rumiantseva V. E., Rumiantseva K. E., Khrunov V. A. Modelyrovanye pohranychnoho sloia v protsessakh massoperenosa pry zhydkostnoi korrozyy zhelezobetonnikh konstruktsyi. Yzvestyia vысshykh uchebnikh zavedenyi. Seryia: Khymyia y khymycheskaia tekhnolohyia. 2011. T.54. №6. S. 96-100. (in Russian).

9. Fedosov S.V., Rumiantseva V.E., Khrunov V.A., Kasianenko N.S., Smeltsov V.L. Prohnozyrovanye dolhovechnosty stroytelnыkh konstruktsyi s pozytsyi raschetnoho y эksperymentalnoho yssledovanyia protsessov korrozyy betona. Vestnyk Volhohradskoho HASU, seryia “Stroytelstvo y arkhytektura”, razdel “Stroytelnie materyali y yzdelyia” 2009. №14(33). S. 117-122. (in Russian).

10. Fedosov S.V., Rumiantseva V.E., Khrunov V.A., Shesterkyn M.E. O nekotorыkh problemakh tekhnolohyy bezopasnosty y dolhovechnosty zdanyi, sooruzhenyi y ynzhenernoi ynfrastrukturы. Stroytelnie materyali. 2015.№3. S. 8-11. (in Russian).

Аннотация

Човнюк Юрий Васильевич к.т.н., профессор, Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины;

Чередниченко Петр Петрович доцент, Киевский национальный университет строительства и архитектуры;

Кравчук Владимир Тимофеевич к.т.н., доцент, Киевский национальный университет строительства и архитектуры;

Остапущенко Ольга Павловна к.т.н., доцент, Киевский национальный университет строительства и архитектуры.

Моделирование процессов массопереноса при коррозии цементных бетонов дорожной одежды и покрытий аэродромов.

Рассмотрены разновидности коррозионных процессов при воздействии на цементные бетоны дорожной одежды и покрытий аэродромов разнообразных агрессивных сред в пределах классификации по В.М.Москвину и описаны их отличительные признаки. В работе отмечено, что разрушения цементных бетонов определяются процессами массопереноса и химических реакций. На основании этого дается обоснование обобщенного методологического подхода к моделированию процессов массопереноса при жидкостной коррозии строительных материалов. Для коррозий I и II видов получены аналитические решения для конкретных начальных и граничных условий задачи. Разработка математических моделей процессов корозии бетонов базируется на физических моделях диффузии компонентов, которые переносятся у пористой структуре бетона, и математическом аппарате граничных задач массопереноса с использованием дифференциальных уравнений в частных производных параболического типа. В работах, на которые посылаются авторы, приведены результаты разработки математических моделей процессов коррозии бетона первого вида, а также результаты практического применения приведенных математических моделей. Однако полученные результаты не выдерживают никакой критики с точки зрения методов и подходов классической математической физики. В данном исследовании эти ошибки, неточности, несоответствия и некорректности указанных работ устранены.

Ключевые слова: цемент; бетон; коррозия; массоперенос; дорожная одежда; покрытие аэродромов; моделирование; аналитические решения.

Annotation

Chovnyuk Yuriy, Ph.D., Professor ISA, Nathional University of Life and Environmental Sciences of Ukraine;

Cherednichenko Petro, Associate Professor Kyiv National University of Construction and Architecture;

Kravchyuk Vladimir, Ph.D., Associate Professor, Kyiv National University of Construction and Architecture;

Ostapushchenko Olga, Ph.D., Associate Professor, Kyiv National University of Construction and Architecture.

Mass transfer processes during corrosion of cement concrete of road pavement and airfield coverings modeling.

Varieties of corrosion processes under the action of various corrosive environments on the cement concretes for pavement and airfield coatings within the classification by V.M. Moskvin are considered and their distinctive features are described. It is noted in the work that the rate of destruction of cement concretes is determined by the processes of mass transfer and chemical reactions. On this basis, we provide the substantiation of a generalized methodological approach to modeling the processes of mass transfer during liquid corrosion of building materials. For corrosion types I and II, analytical solutions are obtained for specific initial and boundary conditions of the problem.

Development of mathematical models of concrete corrosion processes is based on the physical models of diffusion of components that are imbedded in the porous structure of concrete and the mathematical apparatus of boundary problems of mass transfer using differential equations in partial derivatives of parabolic type. The works, to which the authors refer, provide the results of the development of mathematical models of the processes of corrosion of concrete of the first type, as well as the results of the practical application of these mathematical models. However, the results obtained cannot withstand scrutiny in terms of methods and approaches of classical mathematical physics.

In this study, these errors, inaccuracies, inconsistencies and incorrectness of the abovementioned works are eliminated. At the same time, models of corrosion of concretes of the first and second types are taken into account. An undoubtedly positive aspect of the dependences obtained in the study is the possibility of solving the inverse problem, when the actual experimental data using this model make it possible to predict the numerical values of free calcium hydroxide, which, as a result, with a minimum error allows to predict the long-term durability of structures and buildings.

Key words: cement; concrete; corrosion; mass transfer; road pavement; airfield coating; modeling; analytical solutions.