

УДК 691.3:551.5

## КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ МЕТОД ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПЕРВИЧНОЙ ЗАЩИТЫ БЕТОНА ЗАЩИТНОГО СЛОЯ В УСЛОВИЯХ АТМОСФЕРНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

САВИЦКИЙ Н. В.<sup>1</sup>, д. т. н, проф.,  
 ТЫТЮК А. А.<sup>2\*</sup>, к. т. н, доц.,  
 ТЫТЮК А. А.<sup>3\*</sup>, доц.

<sup>1\*</sup> Кафедра железобетонных и каменных конструкций, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 47-02-98, e-mail: sav15@ukr.net, ORCID ID: 0000-0003-4515-2457

<sup>2\*</sup> Кафедра железобетонных и каменных конструкций, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 46-10-65, e-mail: anatonl-61@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-4927-370X

<sup>3\*</sup> Лаборатория исследования атомных и тепловых электростанций, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 47-02-63, e-mail: tytiuk89@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-4119-4089

**Аннотация.** *Постановка проблемы.* Известны многочисленные случаи разрушения бетона защитного слоя железобетонных конструкций вследствие атмосферных климатических воздействий, характеризующихся температурой, влажностью, концентрацией агрессивных газов. Общепринятая методика проектирования первичной защиты железобетонных конструкций носит рецептурный характер. Имеющиеся количественные зависимости расчета карбонизации бетона вследствие воздействия углекислого газа не учитывают температуру и влажность окружающей среды, а также рассчитаны на стационарные условия. В реальных условиях температура и влажность среды изменяются в зависимости от времени года. При этом необходимо учитывать, что карбонизация бетона происходит только в период с положительной температурой и при определенной влажности. В то же время, в период с отрицательными температурами происходит попеременное замораживание и оттаивание бетона, что увеличивает его проницаемость. Это обуславливает необходимость разработки количественной методики проектирования первичной защиты защитного слоя бетона железобетонных конструкций, которая учитывает физико-химический процесс карбонизации бетона, осложненный морозной деструкцией. *Цель.* Разработка количественной методики проектирования первичной защиты бетона защитного слоя в условиях атмосферных климатических воздействий с учетом процесса карбонизации, сезонного и суточного изменения температуры и влажности среды (на примере г. Днепропетровска). *Вывод.* Разработан количественный метод проектирования первичной защиты бетона железобетонных конструкций в условиях атмосферных климатических воздействий. Получены теоретические оценки долговечности бетона защитного слоя различной толщины, с различным содержанием цемента и водоцементным отношением по критерию карбонизации, осложненной морозной деструкцией.

**Ключевые слова:** защитный слой бетона, карбонизация, морозная деструкция, первичная защита, долговечность, прогнозирование.

## КІЛЬКІСНИЙ МЕТОД ПРОЕКТУВАННЯ ПЕРВИННОГО ЗАХИСТУ БЕТОНУ ЗАХИСНОГО ШАРУ В УМОВАХ АТМОСФЕРНИХ КЛІМАТИЧНИХ ВПЛИВІВ

САВИЦЬКИЙ М. В.<sup>1</sup>, д. т. н, проф.,  
 ТИТЮК А. О.<sup>2\*</sup>, к. т. н, доц.,  
 ТИТЮК А. А.<sup>3\*</sup>, доц.

<sup>1</sup> Кафедра залізобетонних та кам'яних конструкцій, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 47-02-98, e-mail: sav15@ukr.net, ORCID ID: 0000-0003-4515-2457

<sup>2\*</sup> Кафедра залізобетонних та кам'яних конструкцій, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 46-10-65, e-mail: anatonl-61@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-4927-370X

<sup>3\*</sup> Лабораторія досліджень атомних та теплових електростанцій, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 47-02-63, e-mail: tytiuk89@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-4119-4089

**Анотація. Постановка проблеми.** Відомі численні випадки руйнування бетону захисного шару залізобетонних конструкцій внаслідок атмосферних кліматичних впливів, що характеризуються температурою, вологістю, концентрацією агресивних газів. Загальноприйнята методика проектування первинного захисту залізобетонних конструкцій носить рецептурний характер. Наявні кількісні залежності розрахунку карбонізації бетону внаслідок впливу вуглекислого газу не враховують температуру і вологість навколишнього середовища, а також розраховані на стаціонарні умови. У реальних умовах температура і вологість середовища змінюються залежно від пори року. При цьому необхідно враховувати, що карбонізація бетону відбувається тільки в період з температурою вище нуля і при певній вологості. У той же час, в період з температурами нижче нуля відбувається попереми́нне заморожування і відтавання бетону, що збільшує його проникність. Тому необхідна кількісна методика проектування первинного захисту захисного шару бетону залізобетонних конструкцій, яка враховує фізико-хімічний процес карбонізації бетону, ускладнений морозною деструкцією. **Мета.** Розробка кількісної методики проектування первинного захисту бетону захисного шару в умовах атмосферних кліматичних впливів з урахуванням процесу карбонізації, сезонної та добової зміни температури і вологості середовища (на прикладі м. Дніпропетровська). **Висновок.** Розроблено кількісний метод проектування первинного захисту бетону залізобетонних конструкцій в умовах атмосферних кліматичних впливів. Отримано теоретичні оцінки довговічності бетону захисного шару різної товщини, з різним вмістом цементу і водоцементним відношенням за критерієм карбонізації, ускладненої морозною деструкцією.

**Ключові слова:** захисний шар бетону, карбонізація, морозна деструкція, первинний захист, довговічність, прогнозування.

## QUANTITATIVE METHOD OF PRIMARY PROTECTION DESIGN OF CONCRETE PROTECTIVE LAYER UNDER ATMOSPHERIC CLIMATE EFFECTS

SAVYTSKYI M.V.<sup>1</sup>, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,  
 TYTIUK A. A.<sup>2\*</sup>, *Can. Sc. (Tech.), Docent*,  
 TYTIUK A. A.<sup>3\*</sup>, *Docent*.

<sup>1</sup> Department of Reinforce-Concrete and Stone Constructions, State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-02-98, e-mail: sav15@ukr.net, ORCID ID: 0000-0003-4515-2457

<sup>2\*</sup> Department of Reinforce-Concrete and Stone Constructions, State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, tel. +38 (0562) 46-10-65, e-mail: anato1-61@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-4927-370X

<sup>3\*</sup> Branch research laboratory of nuclear and thermal power plants, State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-02-63, e-mail: tytiuk89@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-4119-4089

**Summary. Problem statement.** There are numerous cases of destruction of the concrete protective layer of reinforced concrete structures due to atmospheric climate effects characterized by temperature, humidity, concentration of the corrosive gas. A common method of designing the primary protection of reinforced concrete structures has a prescription character. Available quantitative relations of concrete carbonation calculation due to the impact of carbon dioxide do not take into account the temperature and humidity of the environment and are designed for stationary conditions. Under actual conditions, the temperature and humidity of the environment vary depending on the season. It should be kept in mind that the concrete carbonation takes place only during the period with positive temperature and with certain humidity. At the same time, during the negative temperature alternate freezing and thawing of concrete occurs, which increases permeability. Therefore, a quantitative method of designing the primary protection of concrete cover of reinforced structures is necessary, which takes into account physical and chemical process of carbonation of concrete, which is complicated by frosty destruction. **Purpose.** Development of a quantitative technique of designing the primary protection of concrete protective layer in the atmospheric climate conditions, taking into account carbonization process, seasonal and daily changes in temperature and humidity (on the example of Dnipropetrovsk). **Conclusion.** A quantitative method of designing the primary protection of concrete reinforced structures in atmospheric climate effects was developed. Theoretical estimation of longevity of concrete protective layer of different thickness, with different contents of cement and water-cement ratio under the criterion of carbonation complicated by frosty destruction.

**Key words:** concrete protective layer, carbonation, frosty destruction, primary protection, longevity, forecasting.

**Постановка проблеми.** С момента широкого использования железобетонных конструкций и до настоящего времени в промышленном и гражданском строительстве остается актуальной проблема обеспечения их долговечности в условиях воздействия агрессивных сред природного, антропогенного или смешанного происхождения.

В условиях атмосферных климатических воздействий бетон защитного слоя железобетонных конструкций подвергается действию агрессивной воздушной среды, вызывающей нейтрализацию бетона, так и попеременному замораживанию и оттаиванию, приводящих к морозной деструкции бетона.

Обоснованию выбора первичной защиты арматуры в агрессивных условиях эксплуатации посвящены работы С. Н. Алексеева, Н. К. Розенталя [1], Е. А. Гузеева [4], Б. В. Гусева [5], Н. В. Савицкого [11] и др.

Влияние замораживания и оттаивания на бетон в своих работах изучали А. И. Васильев [3], А. М. Подвальный [10], Л. И. Дворкин [6] и др.

Методика расчета нейтрализации (карбонизации) бетона, предложенная Розенталем Н. К. [1], рассчитана на стационарные условия и не учитывает температуру и влажность окружающей среды. В реальных условиях температура и влажность среды изменяются в зависимости от времени года.

Несоответствие первичной защиты бетона железобетонных конструкций условиям эксплуатации может существенно уменьшить срок службы конструкций.

Стоит отметить, что в Европе [14, 15] и в США [12, 13], выбор толщины защитного слоя зависит от условий окружающей среды того региона, в котором будет эксплуатироваться конструкция.

В связи с вышеизложенным актуальной является разработка количественной методики проектирования первичной защиты защитного слоя бетона железобетонных конструкций, которая учитывает физико-химический процесс карбонизации бетона, осложненный морозной деструкцией.

**Цель статьи.** Разработка количественной методики проектирования первичной

защиты бетона защитного слоя в условиях атмосферных климатических воздействий с учетом процесса карбонизации, сезонного и суточного изменения температуры и влажности среды (на примере г. Днепропетровска).

**Изложение основного материала.** Исходными данными для проектирования защиты от коррозии являются:

1) характеристика агрессивной среды (вид и концентрация агрессивного вещества, периодичность и продолжительность агрессивного воздействия);

2) условия эксплуатации: температурно-влажностный режим, вероятность попадания на строительные конструкции агрессивных веществ, наличие, количество и состав пыли (в особенности пыли, содержащей соли) и др.;

3) климатические условия района строительства;

4) результаты инженерно-геологических изысканий;

5) предполагаемые изменения степени агрессивности среды в период эксплуатации здания или сооружения;

6) механические воздействия на конструкцию;

7) термические воздействия на конструкцию.

Перед началом проектирования отдельных железобетонных конструкций и конструктивных элементов следует определять необходимость, возможность и способы осуществления их первичной защиты от коррозии, при этом необходимо осуществить выбор конструктивных решений, материала конструкции с тем, чтобы обеспечить стойкость этой конструкции при эксплуатации в соответствующей агрессивной среде.

К мерам первичной защиты относятся:

1) применение бетонов, стойких к воздействию агрессивной среды;

2) применение добавок, повышающих коррозионную стойкость бетонов и их защитную способность по отношению к стальной арматуре, стальным закладным деталям и соединительным элементам;

3) снижение проницаемости бетонов.

Среды в зависимости от интенсивности агрессивного воздействия на бетонные и железобетонные конструкции подразделяют на неагрессивные, слабоагрессивные, среднеагрессивные и сильноагрессивные.

Степень агрессивности характеризуется разрушением бетона и/или потерей его защитного действия по отношению к стальной арматуре за 50 лет эксплуатации. Соответственно, для слабоагрессивной, среднеагрессивной и сильноагрессивной карбонизация распространяется на глубину не более 10 мм, не более 20 мм, 20 мм и более.

В зависимости от условий воздействия на бетон агрессивные среды подразделяют на классы, которые определяют по отношению к конкретному защищенному от коррозии бетону и железобетону. Классы сред с указанием их индексов возрастания агрессивности указаны в таблице 1 [8]. При одновременном воздействии агрессивных сред, различающихся индексами, но относящихся к одному классу, применяют требования для среды с более высоким индексом (если в проекте не указано иное).

Условные обозначения классов сред эксплуатации указывают в проекте в зонах конкретных агрессивных воздействий с увязкой к месту расположения здания или сооружения и ожидаемыми воздействиями.

Окончательное решение о виде защиты и материалах для защиты от коррозии бетонных и железобетонных конструкций следует принимать на основе сравнения технико-экономических показателей различных вариантов технических решений.

При технико-экономических расчетах защитных мероприятий должны быть учтены капиталовложения, затраты на защиту от коррозии бетонных и железобетонных конструкций и стоимость ее периодического восстановления, а также значение вынужденных материальных потерь, вызываемых необходимостью перерыва производственного процесса на время восстановления защиты от коррозии.

Выбор мер защиты должен проводиться на основании технико-экономического сравнения вариантов с учетом прогнозируемого срока службы и расходов, включающих в

себя расходы на восстановление вторичной защиты, текущий и капитальный ремонты и другие расходы, связанные с затратами на эксплуатацию конструкций.

Срок службы защиты от коррозии бетонных и железобетонных конструкций с учетом необходимости ее периодического восстановления должен соответствовать сроку эксплуатации здания или сооружения.

Требования к бетону и конструкции должны назначаться, исходя из необходимости обеспечения срока надежной эксплуатации сооружения не менее 50 лет. Для большего или меньшего расчетного срока эксплуатации могут применяться более или менее жесткие требования по граничным характеристикам.

Требования по обеспечению коррозионной стойкости бетона для каждого класса среды эксплуатации должны включать в себя:

- 1) разрешенные виды и марки (классы) составляющих бетона;
- 2) максимально допустимую величину водоцементного отношения;
- 3) минимально необходимое содержание цемента в бетоне;
- 4) минимальное воздухоовлечение (в случае необходимости);
- 5) минимальный класс бетона по прочности на сжатие;
- 6) минимальную допускаемую марку бетона по водонепроницаемости и/или максимальный допускаемый коэффициент диффузии.

Требования к бетону железобетонных конструкций в зависимости от классов сред эксплуатации приведены в таблице 2 [8].

Особенностью процесса карбонизации является то, что при отрицательной температуре практически прекращается взаимодействие  $\text{CO}_2$  с активными компонентами, растворенными в поровой жидкости бетона. Это связано с тем, что мельчайшие поры, в которых сохраняется незамерзшая капиллярная влага, недоступны для диффузии  $\text{CO}_2$  в газовой среде, а известь из раствора переходит в кристаллогидрат уже при температуре наружного воздуха  $0,15\text{ }^\circ\text{C}$ .

В исследовании времени карбонизации бетона защитного слоя в условиях атмосферных климатических воздействий темпера-

тура и относительная влажность наружного воздуха принималась для условий г. Днепропетровска.

Таблица 1

**Среды эксплуатации**

Индекс	Среда эксплуатации	Примеры сред эксплуатации
<b>Коррозия вследствие карбонизации</b>		
XC1	Постоянно сухая или постоянно сырая среда эксплуатации	Внутри помещений с низкой влажностью Бетон постоянно под водой
XC2	Влажная, иногда сухая	Бетонная поверхность подвергается длительному увлажнению. Большинство фундаментов
XC3	Умеренно влажная (влажные помещения, влажный климат)	Бетон внутри помещений с умеренной влажностью. Бетон на открытом воздухе, но защищен от дождя.
XC4	Попеременное увлажнение и высушивание	Бетонная поверхность периодически имеет контакт с водой
<b>Коррозия, вызванная попеременным замораживанием и оттаиванием</b>		
XF1	Умеренное водонасыщение без антиобледенителей	Вертикальные поверхности зданий и сооружений при действии дождя и мороза
XF2	Умеренное водонасыщение с применением антиобледенителей	Вертикальные поверхности транспортных сооружений
XF3	Сильное водонасыщение без антиобледенителей	Горизонтальные поверхности дорог и других сооружений при действии дождя и мороза
XF4	Сильное водонасыщение (в том числе морской водой) с применением антиобледенителей	Горизонтальные поверхности дорог и мостов, ступени наружных лестниц и др. Зона переменного уровня для морских сооружений при действии мороза

Таблица 2

**Требования к бетонам в зависимости от классов сред эксплуатации**

Требования к бетонам	Классы сред эксплуатации							
	Карбонизация				Замораживание-оттаивание			
	Индексы сред эксплуатации							
	XC1	XC2	XC3	XC4	XF1	XF2	XF3	XF4
Максимальное В/Ц	0,65	0,6	0,55	0,5	0,55	0,55	0,5	0,45
Минимальный класс по прочности В	25	30	37	37	37	30	37	37
Минимальный расход цемента, кг/м <sup>3</sup>	260	280	280	300	300	300	320	340
Минимальное воздухововлечение, %					-	4,0 <sup>1)</sup>	4,0 <sup>1)</sup>	4,0 <sup>1)</sup>
Прочие требования					Заполнитель с необходимой морозостойкостью			

1- для эксплуатации в условиях попеременного замораживания и оттаивания бетон должен быть испытан на морозостойкость

В соответствии с графиком изменения температуры при расчете глубины карбонизации бетона защитного слоя железобетонных конструкций в условиях атмосферной коррозии г. Днепропетровска необходимо учитывать положительные температуры с 3 по 11 месяцы (рис. 1а).

В этот период года относительная влажность наружного воздуха изменяется в пределах от 62 до 87 % (рис. 1б).

Так как эффективный коэффициент диффузии является функцией температуры и влажности, его значение будет изменяться в течении года. Для расчетов принято использовать среднемесячное значение температуры и влажности воздуха, а также соответствующие значения эффективного коэффициента диффузии бетона (рис. 1в).

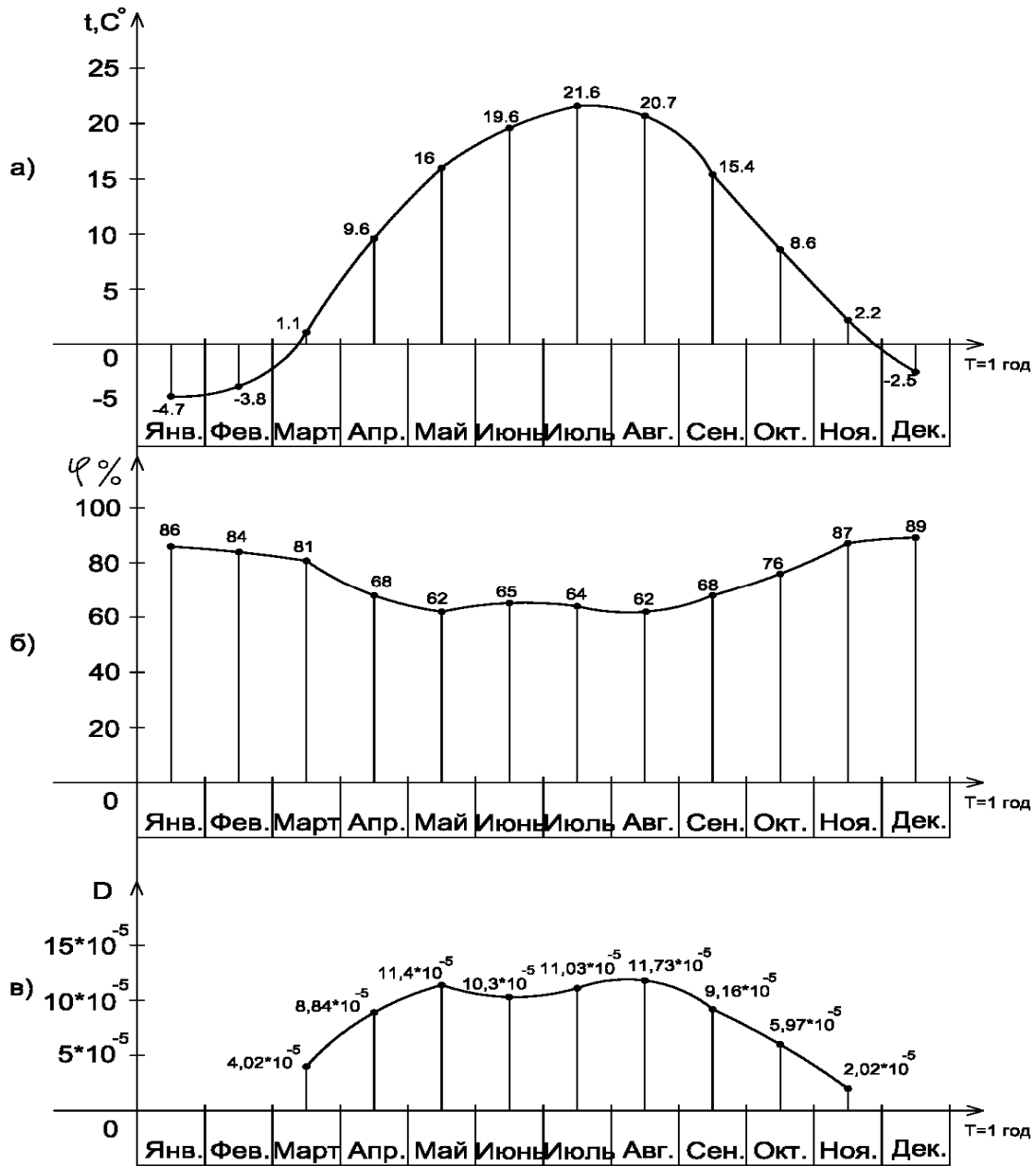


Рис 1. Влияние температуры наружного воздуха и влажности на эффективный коэффициент диффузии для условий г. Днепропетровска:

а) средняя температура наружного воздуха; б) средняя влажность; в) эффективный коэффициент диффузии.

Как следует из рис. 1, в значение эффективного коэффициента диффузии значительно изменяется в течении календарного года и эти изменения необходимо учитывать при расчете глубины карбонизации.

Зависимость для расчета времени карбонизации бетона защитного слоя арматуры за один год имеет вид:

$$\tau_{carb} = \frac{a}{\sum_{i=1}^n y_i} \quad (1)$$

где:  $a$  – величина защитного слоя бетона, мм;

$\sum_{i=1}^n y_i$  – глубина карбонизации бетона защитного слоя арматуры за один календарный год, мм;

$y_i$  –глубина карбонизации бетона защитного слоя для  $i$ -го месяца с положительной температурой:

$$y_i = \sqrt{\frac{2 D_i C \tau_i}{m_0}} \quad (2)$$

где:  $D_i$  – эффективный коэффициент диффузии  $CO_2$  в бетоне в  $i$  – том месяце в зависимости от температуры и влажности наружного воздуха;

$C$  – объемная концентрация газа, %;  
 $\tau_i$  – время взаимодействия на протяжении рассматриваемого месяца, сут;  
 $m_0$  – реакционная способность бетона.

С использованием полученных зависимостей выполнена оценка времени карбонизации бетона защитного слоя железобетонных конструкций для атмосферных климатических условий г. Днепропетровска. При этом концентрация углекислого газа в городских условиях принималась равной  $2000 \text{ мг/м}^3$ .

Прогноз времени карбонизации выполнялся для величины защитного слоя при значениях 20, 30, 40 мм; для расхода цемента в бетоне принимались значения 250 и 300  $\text{кг/м}^3$ .

Графики времени карбонизации бетона защитного слоя железобетонных конструкций для климатических условий г. Днепропетровска при расходе портландцемента в бетоне 250 и 300  $\text{кг/м}^3$  и водоцементном отношении  $B/C = 0,5$  приведены на рис. 2.

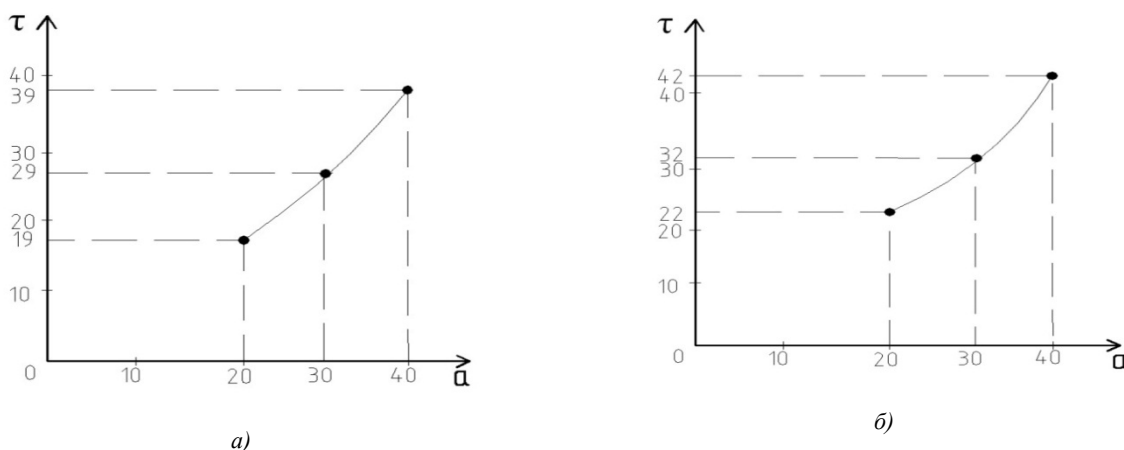


Рис. 2. Время карбонизации защитного слоя бетона при расходе портландцемента: а) 250  $\text{кг/м}^3$ , б) 300  $\text{кг/м}^3$ .

Как уже отмечалось при отрицательных температурах прекращается физико-химическое взаимодействие между агрессивными компонентами газовой среды с цементным камнем. Однако при этом протекает процесс расшатывания структуры бетона вследствие попеременного замораживания и оттаивания. Физические последствия такого воздействия заключаются в постепенном, по мере увеличения циклов замораживания и оттаивания насыщении структуры материала микротрещинами, которые приводят к увеличению его проницаемости.

Исходя из этого в работе [3] было предложено учитывать влияние количества циклов попеременного замораживания и оттаивания на проницаемость бетона, с использованием коэффициента проницаемости  $A$ , зависящего от количества циклов.

$$A = \frac{1}{(1-P)^{Цк}}, \quad (3)$$

где:  $P$  – вероятность разрушения бетона в цикле замораживания и оттаивания;

$Цк$  – количество циклов попеременного замораживания и оттаивания.

Коэффициент  $A$ , в первую очередь, оказывает влияние на эффективный коэффициент диффузии, учитывающий проницаемость бетона. Исходя из этого, выражение (1) для расчета глубины карбонизации можно представить в виде:

$$X = \sqrt{\frac{2AD_i C \tau}{m_0}}, \quad (4)$$

где:  $X$  – глубина карбонизации за весь период эксплуатации, мм;

$\tau$  – продолжительность эксплуатации, с.

В условиях реальной эксплуатации количество циклов попеременного замораживания и оттаивания разное в каждом году. В программном комплексе Elcat Pro.5.1 был выполнен расчет температурного воздействия на примере типовой балконной плиты ПБК-12-5а, с величиной защитного слоя 15 мм, заземленной в кирпичную стену (рис. 3).

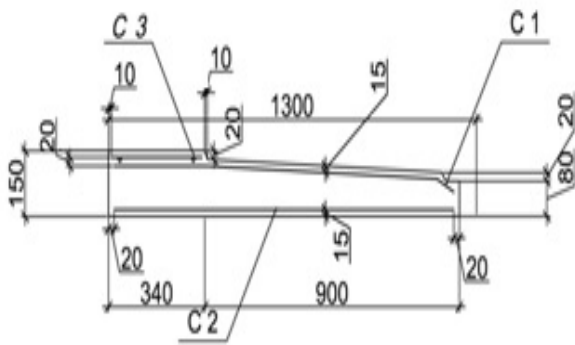


Рис. 3. Плита ПБК-12-5а с армированием.

Начальные данные для расчета: температура наружного воздуха  $-1^{\circ}\text{C}$ ; температура внутренняя в помещении  $+20^{\circ}\text{C}$ . Из анализа результатов расчета установлено, что балконная плита промерзает на всю глубину уже при температуре  $-1^{\circ}\text{C}$  (рис. 4).

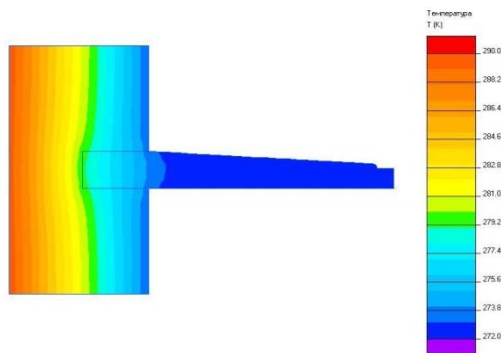


Рис. 4. Результаты температурного расчета плиты

Используя данные мониторинга окружающей среды города Днепропетровска был выполнен расчет реального количества циклов замораживания и оттаивания.

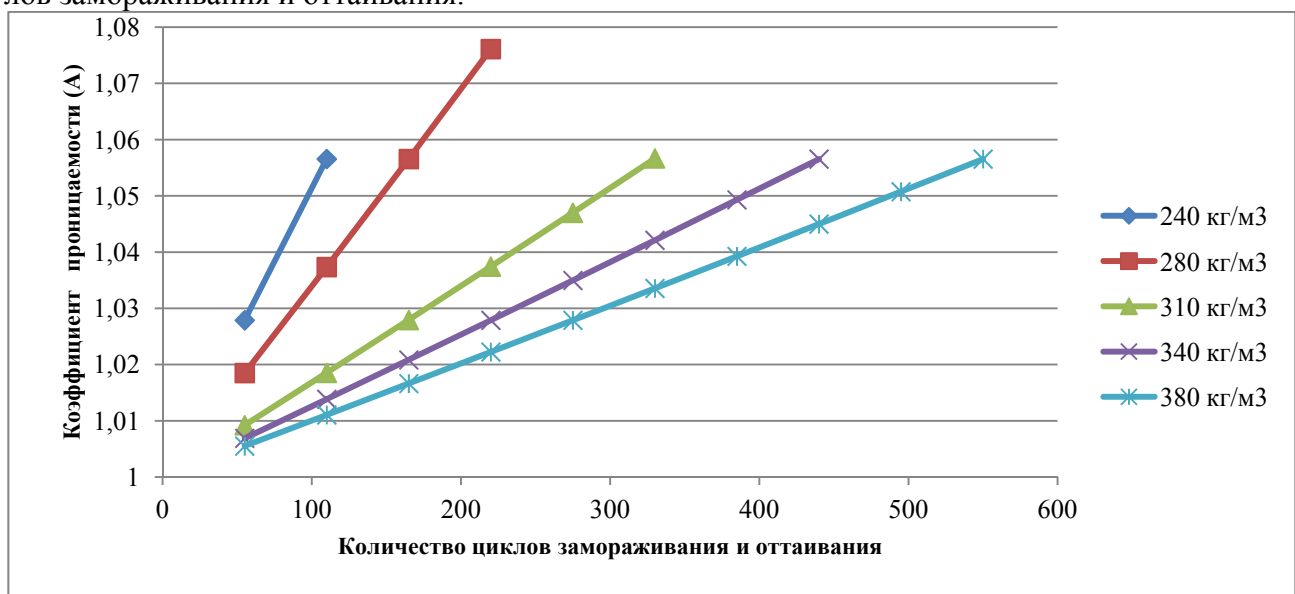


Рис. 5. Значение коэффициента проницаемости (A) для бетонов с разным расходом цемента.

На основе анализа статистических данных (2001 по 2014 год) для города Днепропетровска установлено, что среднее количество циклов, за указанный период, составляет 55 циклов в год.

С использованием зависимости (4) для условий города Днепропетровска был выполнен расчет глубины карбонизации бетона с учетом морозной деструкции на примере балконной плиты с величиной защитного слоя 15 мм. При этом концентрация углекислого газа в городских условиях принималась равной  $2000 \text{ мг/м}^3$ .

График зависимости значения коэффициента A для условий города Днепропетровска для бетонов с разным расходом цемента приведен на рис. 5.

По результатам расчета глубины карбонизации бетона в условиях города Днепропетровска, на примере балконной плиты ПБК12-5а типовой серии 1.137.1-9 с защитным слоем 15 мм, был выполнен прогноз долговечности защитного слоя бетона для указанных исходных данных.

Согласно расчету, долговечность защитного слоя бетона для балконной плиты ПБК12-5а с маркой по морозостойкости F150, маркой по водонепроницаемости W2, с расходом цемента  $280 \text{ кг/м}^3$ , в условиях города Днепропетровска составляет 30,5 лет (рис. 6).



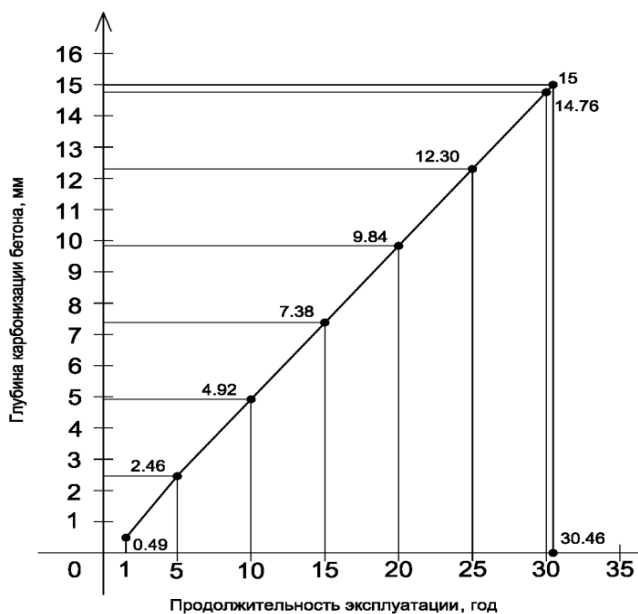


Рис. 6. Долговечность защитного слоя (15 мм) бетона балконной плиты

Учитывая, что строительство жилых зданий первых массовых серий осуществлялось в 60-х годах прошлого века, за срок их эксплуатации (50 лет), согласно результатов

расчета, возможно ожидать полной карбонизации бетона защитного слоя железобетонных конструкций.

Существует реальная опасность начала процесса депассивации арматуры и возникновения процесса коррозии арматуры.

Для обеспечения нормативного срока службы конструкций необходимо изменение параметров первичной защиты, в первую очередь, толщины бетона защитного слоя.

**Выводы.** С учетом физико-химических процессов коррозии бетона в условиях атмосферных климатических воздействий разработан количественный метод проектирования первичной защиты бетона. Получены теоретические оценки долговечности бетона защитного слоя железобетонных конструкций различной толщины, с различным содержанием цемента и водоцементным отношением в условиях г. Днепропетровска.

### ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев С. Н. Коррозионная стойкость железобетонных конструкций в агрессивной промышленной среде / С. Н. Алексеев, Н. К. Розенталь. – Москва : Стройиздат, 1976. – 205 с.
2. Анваров А. Р. Обоснование достаточности средств первичной защиты для достижения проектной долговечности железобетона в естественных условиях эксплуатации : автореф. дис. ... канд. тех. наук : 05.23.05 / А. Р. Анваров. – Уфа : УГНТУ, 2007. – 22 с.
3. Васильев А. И. О выборе толщины защитного слоя бетона мостовых конструкций / А. И. Васильев, А. С. Бейвель, А. М. Подвальный // Бетон и железобетон. – 2001. – № 5. – С. 25-27.
4. Гузев Е. А. Учет агрессивных воздействий в нормах проектирования конструкций / Е. А. Гузев, С. Н. Алексеев, Н. В. Савицкий // Бетон и железобетон. – 1992. – № 10. – С. 8-10.
5. Гусев Б. В. Построение математической теории процессов коррозии бетона / Б. В. Гусев, А. С. Файвусович // Строительные материалы. – 2008. – № 3. – С. 38-41.
6. Дворкин Л. Й. Основы бетоноведения / Л. Й. Дворкин, О. Л. Дворкин. – Київ : Основа, 2007. – 616 с. : іл.
7. Еврокод 2 Проектирование железобетонных конструкций. Часть 1-1. Общие правила и правила для сооружений (EN 1992-1-1:2004, ИДТ) : ДСТУ-Н Б EN 1992-1-1:2010. – Изд. офиц. – Режим доступа: <http://profidom.com.ua/jevrokody/en-1992/7461-jevrokod-2-projektirovaniye-zhelezobetonnyh-konstrukcij-chast-1-1->
8. Клименко Є. В. Ресурс залізобетонних конструкцій / Є. В. Клименко, В. С. Дорофеев // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – Одеса, 2012. – Вип. 47, ч. 2. – С. 111-117.
9. Конструкции зданий и сооружений. Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии. Общие технические требования (ГОСТ 31384-2008, NEQ) : ДСТУ Б В.2.6-145:2010. – [Введ. 2010-10-26]. – Киев : Минстрой Украины, 2010. – 78 с. – (Национальный стандарт Украины).
10. Махинько Н. Н. Обеспечение долговечности крупнопанельных жилых зданий первых массовых серий при коррозии арматуры связей : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.01 : защищена 30.01.2014 / Махинько Николай Николаевич ; науч. рук. Савицкий Николай Васильевич. – Днепропетровск, 2014. – 136 с.
11. Подвальный А. М. Об испытаниях бетона на морозостойкость / А. М. Подвальный // Бетон и железобетон. – 1996. – № 4. – С. 26-29.
12. Савицкий Н. В. Основы расчета надежности железобетонных конструкций в агрессивных средах : дис. докт. техн. наук : 05.23.01 ; 05.23.05 / Н. В. Савицкий ; Днепропетр. инж.-строит. ин-т. – Днепропетровск, 1994. – 400 с.
13. Строительная климатология : ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. – [Введ. 2011-11-01]. – Киев : Укрархбудінформ, 2011. – 122 с. – (Национальные стандарты Украины).

14. McCormac J. C. Design of reinforced concrete. ACI 318-05 Code Edition / Jack C. McCormac, James K. Nelson. – 7th ed. – USA, 2005. – 737 p.
15. Merritt F. S. Building design and construction handbook / Frederick S. Merritt, Jonathan T. Ricketts. – 6th ed. – New York, 2000. – 1722 p.
16. Mosley W. H. Reinforced concrete design to Eurocode 2 / W. H. Mosley, Ray Hulse, J. H. Bungey. – London, 2004. – 67 p.
17. Structural use of concrete : British standard BS 8110-1:1997. – 1997. – Part 1 : Code of practice for design and construction. – Режим доступа:  
[https://docs.google.com/document/d/13wWCIZIjDSUPoHLdL4wBlg8JzBRAidK6FKQILhAGz\\_8/edit?pli=1](https://docs.google.com/document/d/13wWCIZIjDSUPoHLdL4wBlg8JzBRAidK6FKQILhAGz_8/edit?pli=1)

#### REFERENCES

1. Alekseev S. N., Rozental N. K. *Korrozionnaya stojkost' zhelezobetonnykh konstruksij v agressivnoj promyshlennoj srede* [Corrosion resistance of reinforced concrete structures in aggressive industrial environments]. Moscow, Stroyizdat, 1976. 205 p. (in Russian).
2. Anvarov A. R. *Obosnovanie dostatochnosti sredstv pervichnoj zaschity dlya dostizheniya proektnoj dolgovechnosti zhelezobeta v estestvennykh usloviyakh ekspluatatsii* [Sufficiency justification of the primary protection means to achieve the design of reinforced concrete longevity in natural environment service, Auther's abstract]. Ufa, USPTU, 2007. 22 p. (in Russian).
3. Vasilyev A. I., Beyvel A. S., Podvalniy A. M. *O vybore tolschiny zaschitnogo sloya betona mostovykh konstruksij* [About the choice of the thickness of the protective layer of concrete bridge structures]. *Beton i Zhelezobeton – Concrete and reinforced concrete*. 2001, no 5. pp. 25-27 (in Russian).
4. Guzeev E. A., Alekseev S. N., Savytskyi M. V. *Uchet agressivnykh vozdeystvij v normakh proektirovaniya konstruksij* [Record of aggressive actions in the standards of structural design]. *Beton i Zhelezobeton – Concrete and reinforced concrete*. 1992, no. 10. pp. 8-10 (in Russian).
5. Gusev B. V., Fayvusovich A. S. *Postroenie matematicheskoy teorii protsessov korrozii betona* [Construction of mathematical theory of concrete corrosion processes]. *Stroitel'nye materialy - Building materials*. 2008, no.3, pp. 38-41 (in Russian).
6. Dvorkin L. J., Dvorkin O. L. *Osnovi betonoznavstva* [Basics of concrete study]. Kiev, Osnova, 2007 (in Russian).
7. *Evrokod 2 Proektirovanie zhelezobetonnykh konstruksij Chast' 1-1. Obschie pravila i pravila dlya sooruzhenij (EN 1992-1-1: 2004, IDT) DSTU-N B EN 1992-1-1: [Eurocod 2 Design of rainforce concrete structures Part 1-1. General rules and rules for buildings (EN 1992-1-1: 2004, IDT) State standart of Ukraine N B EN 1992-1-1]. 2010. Official edition (in Russian).*
8. Klimenko Ye. V. *Resurs zalizobetonnykh konstruksij* [Resource of reinforced concrete constructions]. *Visnik Odes'koï derzhavnoi akademii budivnitstva ta arkhitekturi – Bulletin of the Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture*. Odesa, OSACEA, 2012, no. 47, part 2, pp. 111-117 (in Ukrainian).
9. *Zaschita betonnykh i zhelezobetonnykh konstruksij ot korrozii. Obschie tekhnicheskie trebovaniya. DSTU B V.2.6-145:2010. Dejstvuyuschij ot 2010-10-26* [Protection of concrete and reinforced concrete structures against corrosion. General technical requirements. State standart of Ukraine B V.2.6-145: 2010 (Effective from 2010-10-26)]. Kiev, Ministry of Construction of Ukraine, 2010. 78 p. (State standart of Ukraine 31384: 2008, NEQ) (in Russian).
10. Mahinko N. N. *Obespechenie dolgovechnosti krupnpanel'nykh zhilykh zdaniy pervykh massovykh serij pri korrozii armatury svyazey* [Ensuring the longevity of large residential buildings first mass series at reinforcement corrosion relations, Cand, Diss.]. Dnepropetrovsk, 2013. 138 p. (in Russian).
11. Podvalny A. M. *Ob ispytaniyakh betona na morozostojkost'* [About the tests of concrete on frost resistance]. *Beton i Zhelezobeton - Concrete and reinforced concrete*. 1996, no. 4, pp. 26-29. (in Russian)
12. Savitskiy N. V. *Osnovy rascheta nadezhnosti zhelezobetonnykh konstruksij v agresivnich sredakh. Dokt. Diss.* [Fundamentals of calculating the reliability of concrete structures in aggressive environments. Dokt. Diss.]. Dnepropetrovsk, 2013. 138p. (in Russian)
13. *Stroitel'naya klimatologiya. DSTU- N B.1.1-27:2010. Dejstvuyuschij ot 2011-11-01.* [Building Climatology. State standart of Ukraine - B.1.1-27 H: 2010. Effective on 2011-11-01]. Kiev, Ministry of Ukraine 2011. 122 p. (State Standards of Ukraine). (in Russian).
14. Jack C. McCormac, James K. Nelson. Design of reinforced concrete. USA, 2005. 737 p.
15. F. S. Merrit, J. T. Ricketts. Building design and construction handbook. New York, 2000. 1722 p.
16. W. H. Mosley, R. Hulse, J. H. Bungey. Reinforced concrete design to Eurocode 2. London, 2004. 67 p.
17. British Standard BS 8110-1 : 1997. Structural use of concrete - Part 1: Code of practice for design and construction, 1997. Available at: [https://docs.google.com/document/d/13wWCIZIjDSUPoHLdL4wBlg8JzBRAidK6FKQILhAGz\\_8/edit?pli=1](https://docs.google.com/document/d/13wWCIZIjDSUPoHLdL4wBlg8JzBRAidK6FKQILhAGz_8/edit?pli=1)

*Стаття рекомендована до друку 26.09.2014 р. Рецензент: д. т. н., проф. В. І. Большаков.*  
Надійшла до редколегії: 06.04.2015 р. Прийнята до друку: 28.05.2015 р.