

СТАТЬИ

УДК 691.32:620.193

**ОЦЕНКА МАКСИМАЛЬНЫХ КОРРОЗИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
БЕТОНА КЛАССА ПО ПРОЧНОСТИ НА СЖАТИЕ $C^{20}/_{25}$**

Васильев А.А.

*Белорусский государственный университет транспорта, Гомель,
e-mail: alex.vas.6222@mail.ru*

Выполнено исследование коррозионных показателей карбонизации бетона класса по прочности на сжатие $C^{20}/_{25}$. На основании предложенной методики оценки предельной величины карбонизации (ПВК) предложены методы оценки и прогнозирования максимальных величин начальной (МВК_н) и эксплуатационной (МВК_э) величин карбонизации бетона. Подобраны составы бездобавочных бетонных смесей марок по удобоукладываемости П1...П5 и Ж1...Ж4 для класса бетона по прочности на сжатие $C^{20}/_{25}$. По результатам анализа составов бетона смесей марок по удобоукладываемости П1...П5 и Ж1...Ж4 получены зависимости предельной величины карбонизации бетона от количества использованного цемента и отпускной прочности бетона. На основании полученных зависимостей выведены зависимости начальной максимальной величины карбонизации бетона от количества использованного цемента и отпускной прочности бетона и изменения во времени эксплуатационной максимальной величины карбонизации от количества использованного цемента, отпускной прочности и планируемых эксплуатационных условий для смесей марок по удобоукладываемости П1...П5 и Ж1...Ж4. Выполнен анализ величин предельной карбонизации бетона от количества использованного цемента и максимальной эксплуатационной величины карбонизации бетона для различных эксплуатационных условий при длительности проектной эксплуатации 50 лет для разных марок бетонной смеси по удобоукладываемости.

Ключевые слова: бетон, карбонизация, предельная величина карбонизации, максимальная величина карбонизации

**EVALUATION OF MAXIMUM CORROSION PARAMETERS CONCRETE
OF COMPRESSIVE STRENGTH CLASS $C^{20}/_{25}$**

Vasilev A.A.

Belorussian State University of Transport, Gomel, e-mail: alex.vas.6222@mail.ru

The corrosion parameters of concrete carbonization according to the strength class for $C^{20}/_{25}$ compression were studied. Based on the proposed method of estimating the limit value of carbonization (PVK), methods of estimating and predicting the maximum values of the initial (MVC_n) and operational (MVC_o) values of carbonization of concrete are proposed. The compositions of non-filler concrete mixtures of grades of M1...M5 and S1...S4 workability for the $C^{20}/_{25}$ compressive strength class of concrete were selected. Based on the results of the analysis of concrete compositions of mixtures of M1...M5 and S1...S4 layability grades, the dependence of the maximum value of concrete carbonization on the amount of cement used and the release strength of concrete was obtained. Based on the obtained dependencies, the dependencies of the initial maximum value of concrete carbonization on the amount of cement used and the tempering strength of concrete and changes in the time of the operational maximum value of carbonization on the amount of cement used, tempering strength and planned operating conditions for mixtures of grades of M1...M5 and S1...S4 workability are derived. The analysis of the values of the maximum carbonization of concrete from the amount of cement used and the maximal operational value of concrete carbonization for various operating conditions with a design operation duration of 50 years for various grades of concrete mixture by workability was carried out.

Keywords: concrete, carbonization, limit value of carbonization, maximum value of carbonization

Существующие зависимости оценки и прогнозирования карбонизации бетона, основанные на фенолфталеиновом тесте (ФФТ) и Первом законе Фика, для различных классов бетона по прочности на сжатие, параметров бетонной смеси и эксплуатационных условий, предложенные многочисленными авторами, не позволяют объективно оценивать и прогнозировать карбонизацию бетона [1, 2 и др.], состояние защитных свойств по отношению к стальной арматуре, коррозионное состояние бетона и стальной арматуры [3–5 и др.], что, по результатам многолетних исследований, подробно объяснено автором в [6].

Задачей исследований явилась оценка коррозионной способности бетона класса по прочности на сжатие $C^{20}/_{25}$, поскольку железобетонные элементы, выполненные из такого бетона (М350), массово эксплуатируются различные длительные сроки в разных воздушных средах, что обуславливает необходимость объективной оценки их долговечности.

Материалы и методы исследования

С использованием методов анализа в исследовании проводится оценка максимальных показателей карбонизации бетона класса по прочности на сжатие $C^{20}/_{25}$ для различных эксплуатационных условий.

Результаты исследования и их обсуждение

По результатам многолетних исследований в лаборатории реакции карбонизации, образцов бетона, отобранных из бетонных элементов и конструкций, сразу после изготовления, длительно эксплуатируемых в различных атмосферных средах, предложена и апробирована методика исследований, позволяющая объяснить «механизм» карбонизации бетона, соответственно, разработать и внедрить методики оценки и прогнозирования изменения во времени защитных свойств бетона по отношению к стальной арматуре, состояния стальной арматуры, комплексный метод оценки и прогнозирования технического состояния железобетонных элементов и конструкций с учетом карбонизации бетона [6]. Предлагаемые методики оценки карбонизации и ее влияния на изменение защитных свойств бетона по отношению к стальной арматуре основаны на определении карбонатной составляющей цементно-песчаной фракции бетона (показателя КС) – количества (в массовых процентах) образовавшегося карбоната кальция (CaCO_3) в цементно-песчаной фракции бетона по сечению бетона, что, в отличие от существующей оценки, основанной на определении количества поглощенного углекислого газа воздуха (CO_2), позволяет напрямую оценивать количество созданных карбонатов и их влияние на изменение показателя рН (водородного показателя водной вытяжки цементного камня), основного показателя, определяющего состояние защитных свойств бетона по отношению к стальной арматуре. Экспресс-метод определения показателей КС разработан автором и представлен в [7].

Оценка карбонизации по количеству образовавшихся карбонатов подразумевает определение параметров карбонизации бетона и их граничных значений. В работе [6]

предложено граничным значением карбонизации считать ее предельную величину. Предельная величина карбонизации (ПВК) оценивает содержание карбонатов в бетоне в массовых процентах при условии, что весь оксид кальция (CaO) цемента полностью перейдет в карбонат кальция (CaCO_3). Показатель ПВК определяется для цементно-песчаной фракции бетона в соответствии с методикой [6].

Для расчета предельных величин карбонизации исследовали бездобавочные бетоны различных составов (марок по удобоукладываемости П1...П5 ($\text{OK} = 1...25$ см) и Ж1...Ж4 (5...40 с)) для класса бетона по прочности на сжатие $C^{20}/_{25}$. Составы бетона рассчитывали на основе многофакторного метода профессора В.В. Бабицкого [8]. При назначении компонентов бетонной смеси принимали портландцемент ПЦ 500 Д0 (ОАО «Белорусский цементный завод»), с содержанием $\text{CaO} = 0,66$, ($\text{НГ} = 26,5\%$).

Значения ПВК определяли для отпускных прочностей бетона $R = 70, 80, 90$ и 100% . Для каждого значения отпускной прочности расчет ПВК выполняли по 61 составу бездобавочного бетона. Таким образом, для расчета ПВК было использовано 244 состава.

Так как именно количество использованного цемента в первую очередь определяет глубину, скорость и интенсивность карбонизации, в табл. 1 приведены граничные значения количества цемента и В/Ц для исследуемого класса бетона по прочности на сжатие соответственно для составов смесей марок по удобоукладываемости П1...П5 и Ж1...Ж4.

По результатам анализа значений ПВК для каждого состава бетона и каждого значения отпускной прочности были получены зависимости $\text{ПВК} = f(\text{Ц})$ для каждого класса бетона по прочности на сжатие составов смесей марок по удобоукладываемости П1...П5 и Ж1...Ж4.

Таблица 1

Граничные значения количества цемента и В/Ц для бетона класса по прочности на сжатие $C^{20}/_{25}$ составов смесей марок по удобоукладываемости П1...П5 и Ж1...Ж4

Отпускная прочность, %							
70		80		90		100	
Предел значений Ц, кг/м ³	В/Ц	Предел значений Ц, кг/м ³	В/Ц	Предел значений Ц, кг/м ³	В/Ц	Предел значений Ц, кг/м ³	В/Ц
Смеси марок по удобоукладываемости П1...П5							
306...488	0,546	331...470	0,503	357...513	0,466	389...558	0,434
Смеси марок по удобоукладываемости Ж1...Ж4							
266...311	0,546	288...336	0,503	310...364	0,466	333...396	0,434

Таблица 2

Зависимости ПВК = f(Ц) для различных граничных значений отпускной прочности бетона составов смесей марок по удобоукладываемости П1...П5 и Ж1...Ж4

Отпускная прочность, %			
70	80	90	100
Зависимость ПВК = f(Ц)			
Смеси марок по удобоукладываемости П1...П5			
0,0653 Ц + 8,800	0,0629Ц + 9,754	0,0605Ц + 10,77	0,0572Ц + 12,27
Смеси марок по удобоукладываемости Ж1...Ж4			
0,088Ц + 1,862	0,0844Ц + 2,670	0,0798Ц + 3,857	0,0762Ц + 4,849

Зависимости ПВК = f(Ц) принимали линейными, что абсолютно приемлемо, поскольку для них коэффициент детерминации составил R² = 0,9978...0,9993.

В общем виде зависимость ПВК = f(Ц) для любого граничного значения отпускной прочности:

$$\text{ПВК} = k_1 \text{Ц} + k_2, \quad (1)$$

где ПВК, %; k₁ и k₂ – коэффициенты: k₁, (%·м³)/кг; k₂, %; Ц – содержание цемента, кг/м³.

Путем их анализа и интерполяции значений для граничных значений отпускной прочности, получили зависимости ПВК = f(Ц, R), в общем виде:

$$\text{ПВК} = k_3 \text{Ц} + k_4,$$

$$k_3 = k_5 R + k_6, \quad k_4 = k_7 R + k_8, \quad (2)$$

где k₃–k₈ – коэффициенты.

На основании анализа зависимостей (табл. 1 и 2) полученные коэффициенты:

– для составов смесей марок по удобоукладываемости П1...П5:

$$k_3 = -0,0003R + 0,0842, \quad (\% \cdot \text{м}^3) / \text{кг};$$

$$k_4 = 0,1143R + 0,6864, \quad \% \quad (3)$$

– для составов смесей марок по удобоукладываемости Ж1...Ж4:

$$k_3 = -0,0004R + 0,1161, \quad (\% \cdot \text{м}^3) / \text{кг};$$

$$k_4 = 0,1015R + 5,316, \quad \% \quad (4)$$

Таким образом, для бетона класса по прочности на сжатие C²⁰/₂₅ составов смесей марок по удобоукладываемости П1...П5:

$$\text{ПВК} = (-0,0003R + 0,0842)\text{Ц} + (0,1143R + 0,6864); \quad (5)$$

для составов смесей марок по удобоукладываемости Ж1...Ж4

$$\text{ПВК} = (-0,0004R + 0,1161)\text{Ц} + (0,1015R + 5,316). \quad (6)$$

Значения ПВК определяются из условия, что степень гидратации цемента составляет 100% (α = 1). Однако даже при самых длительных сроках эксплуатации α < 1, поэтому максимальные величины карбонизации необходимо оценивать с учетом степени гидратации цемента. Начальная максимальная величина карбонизации бетона (МВК_н) определяется сразу после изготовления бетона; эксплуатационная (МВК_э) – с учетом изменения во времени и условий эксплуатации.

Максимальная начальная карбонизация бетона, в общем виде:

$$\text{МВК}_n = \text{ПВК} \cdot \alpha_{28}^{20}, \quad (7)$$

где α₂₈²⁰ – степень гидратации цемента в возрасте 28 суток, д. ед.

Степень гидратации цемента и ее изменение во времени вычисляли по зависимостям профессора В.В. Бабицкого [8].

Степень гидратации цемента в возрасте 28 суток твердения, %,

при X ≤ 1,65

$$\alpha_{28}^{20} = 60X - \sqrt[3]{(1,65X)^2} \cdot e^{1,65X}, \quad (8)$$

где X – относительное водосодержание цементного теста.

$$X = \frac{0,98(\text{В}/\text{Ц}) - 0,0094}{\text{НГ} / 100}, \quad (9)$$

где В/Ц – водоцементное отношение, д. ед.; НГ – нормальная густота, %.

С учетом данных табл. 2, для бетона класса по прочности на сжатие C²⁰/₂₅, зависимость α₂₈²⁰ = f(R) для составов бетонной смеси марок по удобоукладываемости П1...П5 и Ж1...Ж4

$$\alpha_{28}^{20} = -8,56 \cdot 10^{-2} R + 77,7. \quad (10)$$

Таким образом, с учетом преобразований,
– для составов смесей марок по удобоукладываемости П1...П5 максимальная начальная карбонизация бетона, %:

$$\begin{aligned} \text{МВК}_{\text{н}} = & (2,56 \cdot 10^{-7} R^2 - 3,05 \cdot 10^{-4} R + 6,54 \cdot 10^{-2}) \text{Ц} + \\ & + 9,78 \cdot 10^{-5} R^2 + 8,82 \cdot 10^{-2} R + 5,34 \cdot 10^{-1}; \end{aligned} \quad (11)$$

– для составов смесей марок по удобоукладываемости Ж1...Ж4:

$$\text{МВК}_{\text{н}} = (3,42 \cdot 10^{-7} R^2 - 4,10 \cdot 10^{-4} R + 9,02 \cdot 10^{-2}) \text{Ц} + 8,69 \cdot 10^{-5} R^2 + 8,34 \cdot 10^{-2} R + 4,13. \quad (12)$$

Увеличение степени гидратации цемента с течением времени:

$$\alpha = \alpha_{28}^{20} [1 + 0,21 l g \tau (X - 0,63)(\varphi - 0,6)], \quad (13)$$

где τ – время твердения цементного камня (бетона), месяцы; φ – относительная влажность воздуха среды, доли единицы.

С учетом многолетних обследований зданий и сооружений [6] принято $\varphi = 0,80$ для условий общественных (промышленных с неагрессивной или малоагрессивной эксплуатационной средой) зданий, $\varphi = 0,85$ – условий открытой атмосферы, $\varphi = 0,95$ – условий сельскохозяйственных зданий.

Максимальная эксплуатационная величина карбонизации бетона, %:

$$\text{МВК}_{\text{э}} = \text{ПВК} \cdot \alpha, \quad (14)$$

Для каждого граничного значения отпускной прочности бетона и крайних значений содержания цемента были получены зависимости $\text{МВК}_{\text{э}} = f(\text{Ц}, R, t)$. После преобразования, полученные зависимости $\text{МВК}_{\text{э}} = f(\text{Ц}, R, t)$ для различных марок смесей по удобоукладываемости приведены в табл. 3 и 4.

В общем виде зависимость $\text{МВК}_{\text{э}} = f(\text{Ц}, R, t)$:

$$\text{МВК}_{\text{э}} = k_1 + (\text{Ц} - k_2) k_3 t^{k_4};$$

$$k_1 = k_5 R + k_6, \quad k_2 = k_7 R + k_8, \quad k_3 = k_9 R + k_{10}, \quad k_4 = k_{11} R + k_{12}, \quad (15)$$

где $k_1 - k_{12}$ – коэффициенты.

Рассчитанные по результатам анализа зависимостей (табл. 3 и 4) коэффициенты представлены в табл. 5 и 6.

Таблица 3

Зависимости $\text{МВК}_{\text{э}} = f(\text{Ц}, R)$ для граничных значений отпускной прочности бетона составов смесей марок по удобоукладываемости П1...П5

R, %	Условия эксплуатации		
	Открытая атмосфера	Общественные здания	Сельскохозяйственные здания
	Зависимость $\text{МВК}_{\text{э}} = f(\text{Ц}, R)$		
70	$(22,124 + (\text{Ц} - 306,0)0,0502)t^{0,0287}$	$(21,831 + (\text{Ц} - 306,0)0,0495)t^{0,0234}$	$(22,701 + (\text{Ц} - 306,0)0,0515)t^{0,0389}$
80	$(23,061 + (\text{Ц} - 331,0)0,0474)t^{0,0257}$	$(22,787 + (\text{Ц} - 331,0)0,0468)t^{0,0209}$	$(23,598 + (\text{Ц} - 331,0)0,0485)t^{0,0348}$
90	$(24,013 + (\text{Ц} - 357,0)0,0449)t^{0,0229}$	$(23,759 + (\text{Ц} - 357,0)0,0444)t^{0,0186}$	$(24,515 + (\text{Ц} - 357,0)0,0458)t^{0,0312}$
100	$(25,040 + (\text{Ц} - 389,0)0,0415)t^{0,0205}$	$(24,803 + (\text{Ц} - 389,0)0,0411)t^{0,0166}$	$(25,512 + (\text{Ц} - 389,0)0,0423)t^{0,0280}$

Таблица 4

Зависимости $МВК_3 = f(\Psi, R)$ для граничных значений отпускной прочности бетона составов смесей марок по удобоукладываемости Ж1...Ж4

R, %	Условия эксплуатации		
	Открытая атмосфера	Общественные здания	Сельскохозяйственные здания
	Зависимость $МВК_3 = f(\Psi, R)$		
70	$(19,434 + (\Psi - 266,0)0,0681)t^{0,0287}$	$(19,175 + (\Psi - 266,0)0,0664)t^{0,0236}$	$(19,938 + (\Psi - 266,0)0,0700)t^{0,0389}$
80	$(20,345 + (\Psi - 288,0)0,0637)t^{0,0257}$	$(20,107 + (\Psi - 288,0)0,0629)t^{0,0209}$	$(20,822 + (\Psi - 288,0)0,0652)t^{0,0348}$
90	$(21,213 + (\Psi - 310,0)0,0593)t^{0,0229}$	$(20,989 + (\Psi - 310,0)0,0586)t^{0,0186}$	$(21,661 + (\Psi - 310,0)0,0604)t^{0,0312}$
100	$(21,928 + (\Psi - 333,0)0,0552)t^{0,0205}$	$(21,720 + (\Psi - 333,0)0,0547)t^{0,0166}$	$(22,339 + (\Psi - 333,0)0,0563)t^{0,0280}$

Таблица 5

Коэффициенты k_1-k_4 для составов смесей марок по удобоукладываемости П1...П5

k	Условия эксплуатации		
	Открытая атмосфера	Общественные здания	Сельскохозяйственные здания
k_1	$k_1 = 0,0970R + 15,32, \%$	$k_1 = 0,0989R + 14,89, \%$	$k_1 = 0,0935R + 16,13, \%$
k_2	$k_2 = 2,750R + 112,0, \frac{кг}{м^3}$	$k_2 = 2,750R + 112,0, \frac{кг}{м^3}$	$k_2 = 2,750R + 112,0, \frac{кг}{м^3}$
k_3	$k_3 = -0,0003R + 0,0703, \frac{\% \cdot м^3}{кг \cdot лет}$	$k_3 = -0,0003R + 0,0689, \frac{\% \cdot м^3}{кг \cdot лет}$	$k_3 = -0,0003R + 0,0728, \frac{\% \cdot м^3}{кг \cdot лет}$
k_4	$k_4 = -0,0003R + 0,0477, \text{ д. ед.}$	$k_4 = -0,0002R + 0,0392, \text{ д. ед.}$	$k_4 = -0,0004R + 0,0641, \text{ д. ед.}$

Таблица 6

Коэффициенты k_1-k_4 для составов смесей марок по удобоукладываемости ПЖ...Ж4

k	Условия эксплуатации		
	Открытая атмосфера	Общественные здания	Сельскохозяйственные здания
k_1	$k_1 = 0,0835R + 13,63, \%$	$k_1 = 0,0852R + 13,26, \%$	$k_1 = 0,0804R + 14,35, \%$
k_2	$k_2 = 2,230R + 109,7, \frac{кг}{м^3}$	$k_2 = 2,230R + 109,7, \frac{кг}{м^3}$	$k_2 = 2,230R + 109,7, \frac{кг}{м^3}$
k_3	$k_3 = -0,0004R + 0,0982, \frac{\% \cdot м^3}{кг \cdot лет}$	$k_3 = -0,0004R + 0,0941, \frac{\% \cdot м^3}{кг \cdot лет}$	$k_3 = -0,0005R + 0,1020, \frac{\% \cdot м^3}{кг \cdot лет}$
k_4	$k_4 = -0,0003R + 0,0477, \text{ д. ед.}$	$k_4 = -0,0002R + 0,0397, \text{ д. ед.}$	$k_4 = -0,0004R + 0,0641, \text{ д. ед.}$

Таким образом, для бетона класса по прочности на сжатие $C^{20/25}$ составов смесей марок по удобоукладываемости П1...П5 эксплуатационных условий открытой атмосферы:

$$МВК_3 = (9,700 \cdot 10^{-2} R + 15,32) + (\Psi - (2,750R + 112,0))(-3,000 \cdot 10^{-4} R + 7,030 \cdot 10^{-2}) \times (-3,000 \cdot 10^{-4} R + 4,770 \cdot 10^{-2}), \quad (16)$$

– условий общественных зданий:

$$МВК_3 = (9,890 \cdot 10^{-2} R + 14,89) + (\Psi - (2,750R + 112,0))(-3,000 \cdot 10^{-4} R + 6,890 \cdot 10^{-2}) \times (-2,000 \cdot 10^{-4} R + 3,920 \cdot 10^{-2}), \quad (17)$$

– условий сельскохозяйственных зданий:

$$MBK_{\text{э}} = (9,350 \cdot 10^{-2} R + 16,13) + (\text{Ц} - (2,750R + 112,0))(-3,000 \cdot 10^{-4} R + 7,280 \cdot 10^{-2}) \times \\ \times t(-4,000 \cdot 10^{-4} R + 6,410 \cdot 10^{-2}). \quad (18)$$

Для бетона класса по прочности на сжатие $C^{20/25}$ составов смесей марок по удобоукладываемости Ж1...Ж4 эксплуатационных условий открытой атмосферы:

$$MBK_{\text{э}} = (8,350 \cdot 10^{-2} R + 13,63) + (\text{Ц} - (2,230R + 109,7))(-4,000 \cdot 10^{-4} R + 9,820 \cdot 10^{-2}) \times \\ \times t(-3,000 \cdot 10^{-4} R + 4,770 \cdot 10^{-2}); \quad (19)$$

– условий общественных зданий:

$$MBK_{\text{э}} = (8,520 \cdot 10^{-2} R + 13,26) + (\text{Ц} - (2,230R + 109,7))(-4,000 \cdot 10^{-4} R + 9,410 \cdot 10^{-2}) \times \\ \times t(-2,000 \cdot 10^{-4} R + 3,970 \cdot 10^{-2}); \quad (20)$$

– условий сельскохозяйственных зданий:

$$MBK_{\text{э}} = (8,040 \cdot 10^{-2} R + 14,35) + (\text{Ц} - (2,230R + 109,7))(-5,000 \cdot 10^{-4} R + 1,020 \cdot 10^{-1}) \times \\ \times t(-4,000 \cdot 10^{-4} R + 6,410 \cdot 10^{-2}). \quad (21)$$

Результаты анализа зависимостей (16)–(21) показывают, что для бездобавочного бетона класса по прочности на сжатие $C^{20/25}$ для смесей марок по удобоукладываемости П1...П5 при эксплуатации 50 лет в условиях открытой атмосферы, при изменении содержания цемента ($\text{Ц} = 306...558 \text{ кг/м}^3$) до 58,3%, значения максимальной эксплуатационной величины карбонизации ($MBK_{\text{э}} = 22,19...32,34\%$) – до 37,2%; в условиях общественных зданий ($MBK_{\text{э}} = 21,89...31,95\%$) – до 37,4%; в условиях зданий сельскохозяйственного назначения ($MBK_{\text{э}} = 22,76...33,52\%$) – до 38,2%.

Для смесей марок по удобоукладываемости Ж1...Ж4 при эксплуатации 50 лет в условиях открытой атмосферы, при изменении содержания цемента ($\text{Ц} = 266...396 \text{ кг/м}^3$) до 39,3%, значения максимальной эксплуатационной величины карбонизации ($MBK_{\text{э}} = 19,49...25,93\%$) – до 28,4%; в условиях общественных зданий ($MBK_{\text{э}} = 19,24...25,48\%$) – до 27,9%; в условиях зданий сельскохозяйственного назначения ($MBK_{\text{э}} = 19,99...26,01\%$) – до 26,2%.

Выводы

1. Полученные результаты показывают, что максимальная карбонируемость бетона зависит от его состава (в первую очередь – от количества использованного цемента) и эксплуатационных условий.

2. Для бетона одного класса по прочности на сжатие, в пределах одной отпускной прочности, как для подвижных, так и для жестких смесей максимальная карбонируемость значительно отличается.

3. Полученные результаты исследований позволяют уже на стадии проектирования бетонных и железобетонных элементов оценивать коррозионную способность бетона по принятому (рассчитанному) составу бетона и прогнозировать его максимальное коррозионное состояние.

Список литературы

1. Czarniecki L., Woyciechowski P. Modelling of concrete carbonation; is it a process unlimited in time and restricted in space? Bulletin of the Polish academy of sciences technical sciences. 2015. Vol. 63. No 1. P. 43–54.

2. Карапетов Э.С., Шестовицкий Д.А. Прогноз срока службы железобетонных мостов на основе модели процесса карбонизации защитного слоя // Современные технологии – транспорту: Известия Петербургского университета транспорта. 2016. № 1. С. 14–24.

3. Haselbach L. and Thomas A. Carbon sequestration in concrete sidewalk. Construction and Building Materials. 2014. Vol. 54. P. 47–52.

4. Zhiguan N., Ri Y. Experimental Investigation of Concrete Carbonation under Different Condition. Study of Civil Engineering and Architecture (SCEA). 2013. Vol. 2. No 4. P. 114–117.

5. Morandea A., Thiery M., Dangla P. Investigation of the carbonation mechanism of CH and CSH in terms of kinetics, microstructure changes and moisture properties. Cem. Concr. Res. 2014. P. 153–170.

6. Васильев А.А. Оценка и прогнозирование технического состояния железобетонных конструкций с учетом карбонизации бетона: монография. Гомель, 2019. 215 с.

7. Васильев А. А. Экспресс-метод определения карбонатной составляющей (показателя КС) цементно-песчаной фракции бетона // «European Research»: сборник статей XXII Международной научно-практической конференции. Пенза: Издательство МЦНС «Наука и просвещение», 2019. С. 29–34.

8. Бабицкий В.В. Структура и коррозионная стойкость бетона и железобетона: дис. ... докт. техн. наук. БНТУ. Минск, 2005. 540 с.