

УДК 691.327

А. А. ВАСИЛЬЕВ, кандидат технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

## СИСТЕМА НОМОГРАММ ДЛЯ ОЦЕНКИ ИЗНАЧАЛЬНОГО СОДЕРЖАНИЯ ЦЕМЕНТА В БЕТОНЕ

По результатам многолетних исследований карбонизации бетона, как сразу после изготовления, так и эксплуатируемых различные сроки в разных атмосферных условиях железобетонных элементов, получены регрессионные зависимости изначального содержания цемента от величины карбонатной составляющей бетона. С учетом результатов исследования карбонизации в поверхностных слоях бетона предложены диаграммы и номограммы для определения изначального содержания цемента в бетоне железобетонных элементов и конструкций, эксплуатируемых в различных атмосферных условиях.

**Введение.** Количество цемента определяет не только прочность бетона, но и качество его защитных свойств по отношению к стальной арматуре и продолжительность их действия, т. е. долговечность железобетонных элементов (ЖБЭ) и конструкций (ЖБК), составляющих подавляющее большинство конструктивных элементов зданий и сооружений. И если при изготовлении бетона контроль его состава не вызывает затруднений, то в бетоне (затвердевшем камне) очень сложно оценить количество использованного цемента. Это подтверждает отсутствие на сегодняшний день методик, позволяющих качественно и несложно оценивать изначальное содержание цемента в бетоне.

**Основная часть.** На основании результатов исследования карбонизации бетонов различных составов сразу после изготовления с применением тепловлажностной обработки (ТВО) [1, 2] и изменения во времени параметров карбонизации по сечению бетонов различных классов по прочности, эксплуатировавшихся в разных атмосферных средах [3, 4], выявлена линейная зависимость начальной карбонизации бетона (показателя  $K_{C0}$ ) от количества использованного цемента в поверхностном слое бетона и получены регрессионные зависимости изменения во времени карбонатной составляющей (показателя  $K_C$ ) от расхода цемента.

В общем виде зависимость карбонизации от расхода цемента выглядит следующим образом:

$$K_C(l, t) = \gamma_1 + (\gamma_2 + \gamma_3 \sqrt{t}) e^{\left(14,2 - \left(\frac{t+100}{5,05}\right)^{0,85}\right)}, \quad (1)$$

где  $K_C$  – карбонатная составляющая, %;  $l$  – сечение бетона, мм;  $t$  – период времени, лет;  $\gamma_1$ – $\gamma_3$  – коэффициенты, значения которых для различных условий эксплуатации приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения коэффициентов  $\gamma_1$ – $\gamma_3$  составов бетона с  $\Pi = 200 \dots 600 \text{ кг/м}^3$  для различных эксплуатационных условий

Расход цемента, $\text{кг/м}^3$	$\gamma_1$	$\gamma_2$	$\gamma_3$					
			Условия эксплуатации					
			СХ О	СХ У	ОПЗ О	ОПЗ У	А О	А У
200	2,37	0,487	0,629	1,170	0,321	0,889	0,693	0,977
300	3,06	0,603	0,557	1,090	0,249	0,806	0,620	0,895
400	3,83	0,715	0,485	0,955	0,175	0,712	0,547	0,801
500	4,67	0,844	0,413	0,893	0,101	0,609	0,474	0,699
600	5,57	0,987	0,341	0,780	0,031	0,499	0,401	0,586

Примечание – СХ, ОПЗ, А – условия, соответственно, сельскохозяйственных зданий; общественных зданий и промышленных – с неагрессивной эксплуатационной средой; открытой атмосферы; О, У – области обычной и ускоренной карбонизации.

Путем математической обработки получена зависимость изменения показателей  $\gamma_1$ – $\gamma_3$  от расхода цемента:

$$K_C(l, t) = (0,0080\Pi + 0,6747) + \left( (808,97\Pi - 186,36) + \gamma_3 \sqrt{t} \right) e^{\left(14,2 - \left(\frac{t+100}{5,05}\right)^{0,85}\right)}, \quad (2)$$

где  $\Pi$  – расход цемента,  $\text{кг/м}^3$ ,  $\gamma_3$  – коэффициент (таблица 2).

Таблица 2 – Значения коэффициента  $\gamma_3$

Условия эксплуатации	Коэффициент « $\gamma_3$ »
СХ О	$-0,0007\Pi + 0,7730$
СХ У	$-0,001\Pi + 1,3791$
ОПЗ О	$-0,0007\Pi + 0,4672$
ОПЗ У	$-0,0010\Pi + 1,0964$
А О	$-0,0007\Pi + 0,8390$
А У	$-0,0010\Pi + 1,1854$

Это позволило получить регрессионные зависимости изменения во времени карбонатной составляющей от количества использованного цемента  $K_C = f(l, t, \Pi)$  для различных эксплуатационных условий, представляющие собой поверхности 2-го рода (рисунок 1).

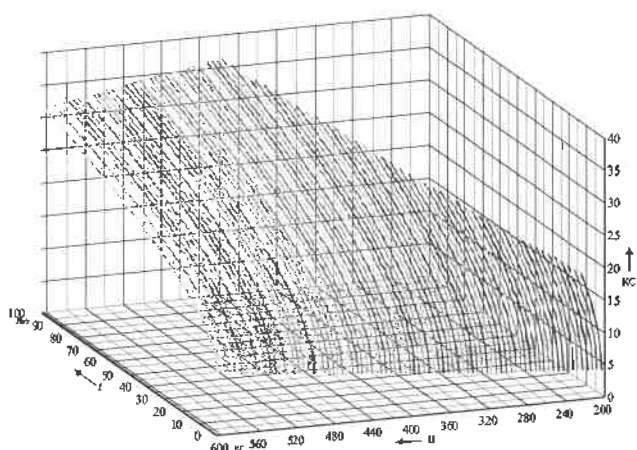


Рисунок 1 – Расчетно-экспериментальная зависимость  $K_C = f(l, t, \Pi)$  для условий открытой атмосферы области ускоренной карбонизации

Полученные зависимости дают возможность оценивать карбонизацию во времени по сечению бетона и прогнозировать ее изменения в зависимости от количества использованного цемента и, как следствие, определять количество использованного цемента по изменению во времени показателя  $K_C$ . Однако с учетом сложности их практического использования для оценки изначального содержания цемента необходимо исследование предложенных зависимостей  $K_C = f(l, t, \Pi)$  для дискретных значений количества цемента в линейном виде [5].

На рисунке 2 приведены в графическом выражении регрессионные зависимости  $t$ – $K_C(\Pi)$  для дискретных

значений количества использованного цемента  $\Pi = 200, 300, 400, 500$  и  $600 \text{ кг/м}^3$ .

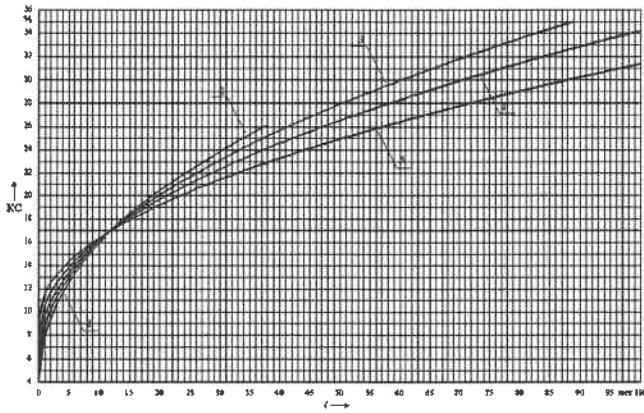


Рисунок 2 – Регрессионные зависимости  $t - \text{КС} (\Pi)$  для эксплуатационных условий открытой атмосферы области ускоренной карбонизации: 1 – 200; 2 – 300; 3 – 400; 4 – 500; 5 –  $600 \text{ кг/м}^3$

Представленные зависимости носят одинаковый характер. Для всех эксплуатационных условий изменение карбонатной составляющей во времени происходит от начального значения до равновесной (узловой) точки ( $\text{КС}_p$ ). Так, для условий обычной карбонизации  $\text{КС}_p \approx 11,5$  лет, ускоренной карбонизации –  $\text{КС}_p \approx 17,0$  лет.

Для нахождения изначального содержания с интервалом  $5 \text{ кг/м}^3$ , определяемым точностью дозирования вяжущего в заводских условиях, диаграммы  $t - \text{КС} (\Pi)$  для каждого типа эксплуатационных условий разбиты на два интервала: с момента изготовления до момента уравнивания скоростей карбонизации и от него до 100 лет и на диапазоны количества цемента 200–300, 300–400, 400–500 и 500–600  $\text{кг/м}^3$  с шагом  $10 \text{ кг/м}^3$ .

В качестве примера на рисунках 3 и 4 приведены регрессионные зависимости  $t - \text{КС} (\Pi)$  для эксплуатационных условий открытой атмосферы, области ускоренной карбонизации диапазона  $\Pi = 500 \dots 600 \text{ кг/м}^3$ .

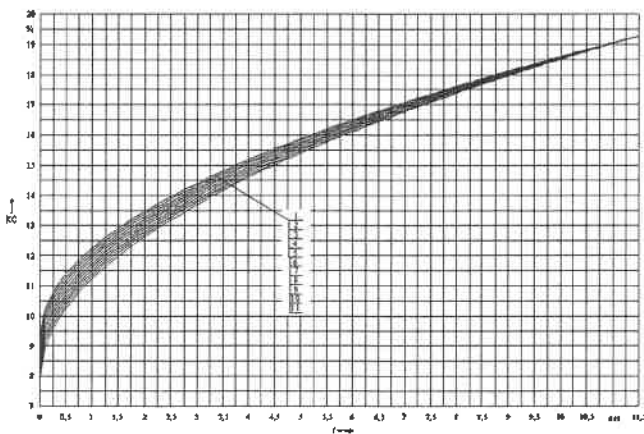


Рисунок 3 – Диаграмма определения изначального содержания цемента для эксплуатационных условий открытой атмосферы области ускоренной карбонизации: 1 – 600; 2 – 590; 3 – 580; 4 – 570; 5 – 560; 6 – 550; 7 – 540; 8 – 530; 9 – 520; 10 – 510; 11 –  $500 \text{ кг/м}^3$

Необходимо отметить, что несмотря на то, что практическое значение имеют оба интервала, реально востребованы, конечно же, в первую очередь, могут быть построенные до равновесной точки. Это объясняется тем, что определение изначального содержания цемента осо-

бенно актуально в первые годы эксплуатации объектов для оценки не только качества изготовления бетона, но и несущей способности ЖБЭ.

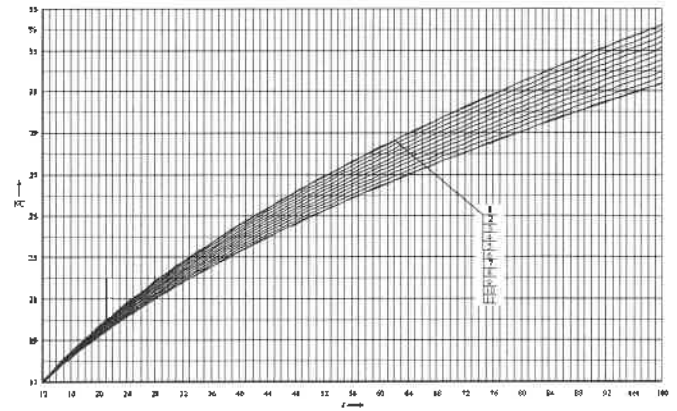


Рисунок 4 – Диаграмма определения изначального содержания цемента для эксплуатационных условий открытой атмосферы области ускоренной карбонизации: 1 – 500; 2 – 510; 3 – 520; 4 – 530; 5 – 540; 6 – 550; 7 – 560; 8 – 570; 9 – 580; 10 – 590; 11 –  $600 \text{ кг/м}^3$

Поэтому для повышения оперативности и удобства использования для каждого типа эксплуатационных условий построены номограммы, позволяющие определить изначальное содержание цемента с точностью до  $5 \text{ кг/м}^3$  с момента изготовления бетона до момента уравнивания скоростей карбонизации.

В качестве примера на рисунке 5 приведены номограммы определения изначального содержания цемента в бетоне для возраста эксплуатации до 17 лет, эксплуатационных условий открытой атмосферы, области обычной карбонизации в интервалах 200–300 и 500–600  $\text{кг/м}^3$ .

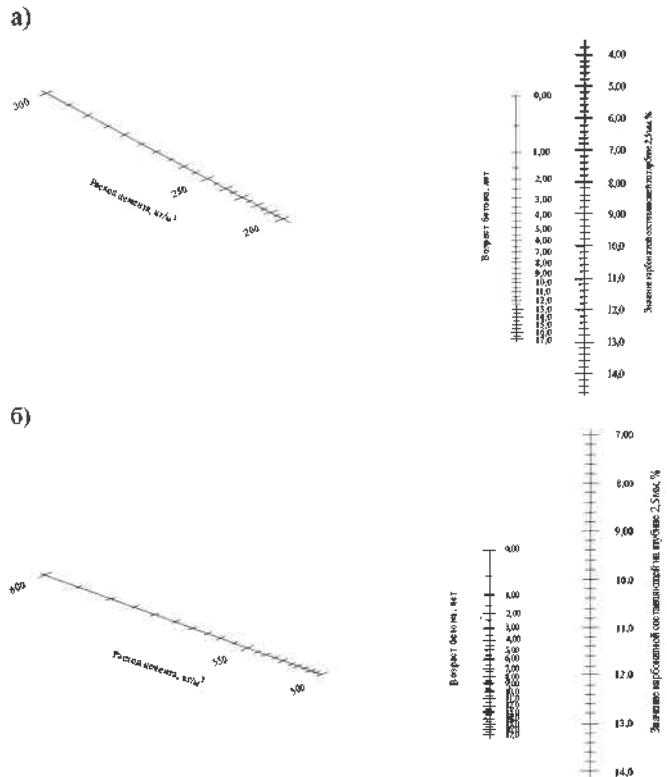


Рисунок 5 – Номограмма для определения количества изначального содержания цемента в бетоне в диапазоне: а –  $200-300 \text{ кг/м}^3$  для условий открытой атмосферы, области ускоренной карбонизации; б –  $500-600 \text{ кг/м}^3$  для условий открытой атмосферы, области ускоренной карбонизации

**Выводы. 1** На основании исследования начальной карбонизации по сечению бетона сразу после изготовления с применением ТВО и изменения карбонизации во времени в зоне расположения стальной арматуры от количества использованного цемента получены регрессионные зависимости развития карбонизации во времени по сечению бетона от количества использованного цемента для различных эксплуатационных условий при расходе цемента 200–600 кг/м<sup>3</sup>.

**2** С учетом полученных регрессионных зависимостей, а также результатов исследования карбонизации в поверхностных слоях бетона предложены диаграммы и номограммы для определения изначального содержания цемента в бетоне ЖБЭ и ЖБК, эксплуатируемых в различных атмосферных условиях. Они позволяют оценивать карбонизацию во времени по сечению бетона и прогнозировать ее изменения в зависимости от количества использованного цемента; от фактического значения показателя карбонатной составляющей (полученного на момент обследования бетонного либо железобетонного элемента) уточнять условия эксплуатации. Их можно применять для оценки причин: изменения прочностных характеристик бетона; защитных свойств бетона по отношению к стальной арматуре; создания аварийных ситуаций и др.

Получено 14.01.2019

**A. A. Vasilyev.** The system of monograms for assessment of initial content of cement in concrete.

By results of long-term researches of a carbonization of concrete as right after manufacture, and operated various terms in different atmospheric conditions of reinforced concrete elements, regression dependences of initial content of cement on the size of a carbonaceous component of concrete are received. Taking into account results of a research of a carbonization in the surface layers of concrete, charts and nomograms for determination of initial content of cement in concrete of the reinforced concrete elements and designs operated in various atmospheric conditions are offered.

**1 Васильев, А. А.** Исследование карбонизации по сечению бетона после тепловлажностной обработки / А. А. Васильев, Д. Н. Шевченко // Строительная наука и техника. – 2010. – № 5. – С. 60–64.

**2 Васильев, А. А.** Расчетно-экспериментальная модель карбонизации бетона : [монография] / А. А. Васильев. – Гомель : БелГУТ, 2016. – 263 с.

**3 Васильев, А. А.** Оценка поврежденности железобетонных элементов с учетом карбонизации бетона / А. А. Васильев // Будівельні конструкції : Міжвідомчий науково-технічний збірник наукових праць (будівництво) / Державне підприємство «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. – Вип. 78 : в 2 кн. Кн. 2. – Київ : ДП НДІБК, 2013. – С. 338–347.

**4 Васильев, А. А.** Совершенствование оценки и прогнозирования технического состояния железобетонных элементов и конструкций, эксплуатирующихся в различных атмосферных условиях / А. А. Васильев // Проблемы современного бетона и железобетона : сб. науч. тр. – Минск, 2017. – Вып. 9 – С. 148–167.

**5 Васильев, А. А.** Оценка изначального содержания цемента в бетоне / А. А. Васильев // «EUROPEAN RESEARCH» сб. ст. XVIII междунар. науч.-практ. конф. – Пенза : МЦНС «Наука и просвещение», 2018. – С. 77–81.