

УДК 691.328

НАЧАЛЬНАЯ КАРБОНИЗАЦИЯ БЕТОНОВ КЛАССОВ ПО ПРОЧНОСТИ НА СЖАТИЕ $C^{12}_{/15}$ И $C^{30}_{/37}$ И ОЦЕНКА ЕЕ ЗНАЧИМОСТИ

К. Э. АГЕЕВА, А. Ю. КРУПОДЕРОВ

*Научный руководитель – А. А. Васильев (канд. техн. наук, доцент)
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Начальную карбонизацию оценивали по изменению карбонатной составляющей (показателя KC_0) [1]. Поскольку количество цемента, использованного для приготовления бетонной смеси, в первую очередь определяет абсолютные значения показателя KC , по результатам многолетних лабораторных исследований начальной карбонизации (сразу после изготовления бетона с применением ТВО) в [2] получена зависимость $KC_0 = f(\Pi, l)$

$$KC_0(l/t=0) = (0,0077\Pi + 0,7932) + (1769\Pi + 409077)e^{-\left(\frac{l+100}{5,05}\right)^{0,85}}, \quad (1)$$

где Π – содержание цемента, кг/м^3 ; l – сечение бетона, мм.

Исследовали карбонизацию (сразу после изготовления) бетонов классов по прочности на сжатие $C^{12}_{/15}$ и $C^{30}_{/37}$ (как конструкционных бетонов с минимальными и максимальными прочностными характеристиками среди массово применяемых) для подвижных и жестких смесей.

Составы бетонов рассчитывали, применяя многофакторный метод подбора состава бетона, разработанный проф. В. В. Бабицким.

Исследовали бетонные смеси (как наиболее часто применяемые при производстве ЖБЭ и ЖБК) марок по удобоукладываемости П1, Ж1 и Ж2 с расчетным содержанием цемента Π_p для П1 с ОК = 4 см, Ж1 (8 с) и Ж2 (15 с) для отпускной прочности бетона 70 % (таблица 1).

Таблица 1 – Составы бетонов классов по прочности на сжатие $C^{12}_{/15}$ и $C^{30}_{/37}$

Марка бетонной смеси по удобоукладываемости	Ц, кг/м ³	Ц _р , кг/м ³	В / Ц
Бетон класса по прочности на сжатие C ¹² / ₁₅			
П1	195–265	213	0,866
Ж1	198–170	194	
Ж2	198–170	187	
Бетон класса по прочности на сжатие C ³⁰ / ₃₇			
П1	441–632	490	0,391
Ж1	449–373	437	
Ж2	449–373	419	

Зависимости $KC_0 = f(l)$ для бетонов классов по прочности на сжатие $C^{12}_{/15}$ и $C^{30}_{/37}$ представлены соответственно на рисунках 1 и 2.

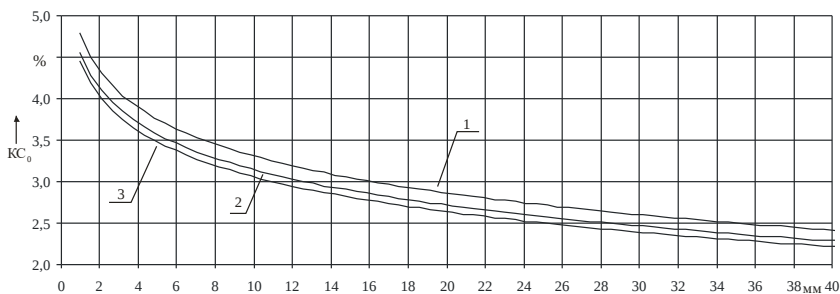


Рисунок 1 – Зависимость $KC_0 = f(l)$ для бетона класса по прочности на сжатие $C^{12}_{/15}$:

1 – бетонная смесь П1 (ОК = 4 см); 2 – бетонная смесь Ж1 (8 см); 3 – бетонная смесь Ж2 (15 см)

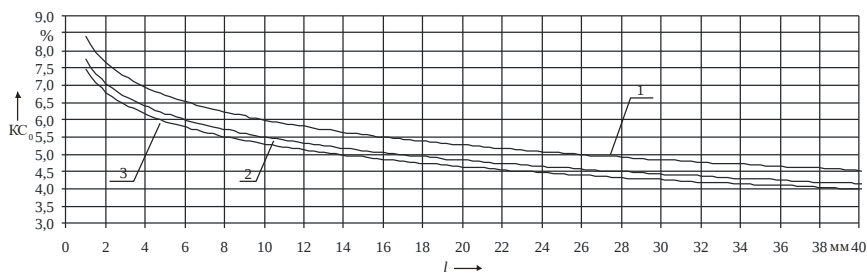


Рисунок 2 – Зависимость $KC_0 = f(l)$ для бетона класса по прочности на сжатие $C^{30}_{/37}$:

1 – бетонная смесь П1 (ОК = 4 см); 2 – бетонная смесь Ж1 (8 см); 3 – бетонная смесь Ж2 (15 см)

Полученные зависимости показывают, что:

– начальная карбонизация (абсолютные значения показателя KC_0) в менее прочном бетоне выше;

– карбонизация в подвижных бетонных смесях развивается быстрее, чем в жестких;

– абсолютные значения карбонатной составляющей в поверхностных слоях ($l = 1$ мм) в подвижных смесях достигают $KC_0 \approx 4,8 \%$ ($C^{12}_{/15}$) и $KC_0 \approx 8,5 \%$ ($C^{30}_{/37}$); в глубине бетона ($l > 40$ мм) стремятся к постоянной величине – до $2,5 \%$ ($C^{12}_{/15}$) и $KC_0 \approx 4,5 \%$ ($C^{30}_{/37}$); в жестких смесях, соответственно, на поверхности – $KC_0 \approx 4,5$ ($C^{12}_{/15}$) и $KC_0 \approx 7,7$ ($C^{30}_{/37}$); в глубине – $KC_0 \approx 2,3$ ($C^{12}_{/15}$) и $4,0 \%$ ($C^{30}_{/37}$).

Для оценки влияния карбонизации на состояние защитных свойств бетона по отношению к стальной арматуре исследовали изменение степени фактической карбонизации по сечению бетона с применением балльной оценки состояния бетона и его защитных свойств по отношению к стальной арматуре, предложенной в [2].

Степень фактической карбонизации (показатель СФК) в любом сечении бетона определяется как отношение величины карбонатной составляющей к максимальной величине карбонизации бетона (показателю МВК) [3].

В свою очередь,

$$MBK = ПВК \cdot \alpha, \quad (2)$$

где ПВК – предельная величина карбонизации бетона, %; α – степень гидратации цемента, %.

Показатель ПВК определяли для каждой бетонной смеси (по рассчитанному составу) в соответствии с методикой [2]. Показатель α рассчитывали в соответствии с зависимостями профессора В. В. Бабицкого [2].

Значения показателей ПВК и α для исследованных бетонных смесей представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Значения показателей ПВК и α ($R = 70 \%$)

Марка бетонной смеси по удобоукладываемости	Ц _р , кг/м ³		ПВК, %		α , %	
	$C^{12}_{/15}$	$C^{30}_{/37}$	$C^{12}_{/15}$	$C^{30}_{/37}$	$C^{12}_{/15}$	$C^{30}_{/37}$
П1	213	490	21,23	40,51	0,7759	0,6663
Ж1	194	437	19,55	37,55	0,7759	0,6663
Ж2	187	419	18,68	36,09	0,7759	0,6663

Так, с учетом вышеприведенного и математических преобразований получено для бетонных смесей бетона класса по прочности на сжатие $C^{12}_{/15}$:

$$П1 (ОК = 4 \text{ см}) \quad СФК_0 = 0,1467 + 47461e^{-\left(\frac{l+100}{5,05}\right)^{0,85}}; \quad (3)$$

$$\text{Ж1 (8 с)} \quad \text{СФК}_0 = 0,1506 + 49385e^{-\left(\frac{l+100}{5,05}\right)^{0,85}}; \quad (4)$$

$$\text{Ж2 (15 с)} \quad \text{СФК}_0 = 0,1488 + 49363e^{-\left(\frac{l+100}{5,05}\right)^{0,85}}. \quad (5)$$

Для бетона класса по прочности на сжатие $\text{С}^{30}/_{37}$:

$$\text{П1 (ОК = 4 см)} \quad \text{СФК}_0 = 0,1679 + 46880e^{-\left(\frac{l+100}{5,05}\right)^{0,85}}; \quad (6)$$

$$\text{Ж1 (8 с)} \quad \text{СФК}_0 = 0,1651 + 46904e^{-\left(\frac{l+100}{5,05}\right)^{0,85}}; \quad (7)$$

$$\text{Ж2 (15 с)} \quad \text{СФК}_0 = 0,1654 + 47324e^{-\left(\frac{l+100}{5,05}\right)^{0,85}}. \quad (8)$$

Полученные зависимости $\text{СФК} = f(l)$ в защитном слое бетонов (величина защитного слоя принята 30 мм как максимальная для эксплуатируемых ЖБЭ и ЖБК) классов по прочности на сжатие $\text{С}^{12}/_{15}$ и $\text{С}^{30}/_{37}$ и границы степеней карбонизации бетона (потери им защитных свойств по отношению к стальной арматуре) в графическом виде приведены соответственно на рисунках 3 и 4.

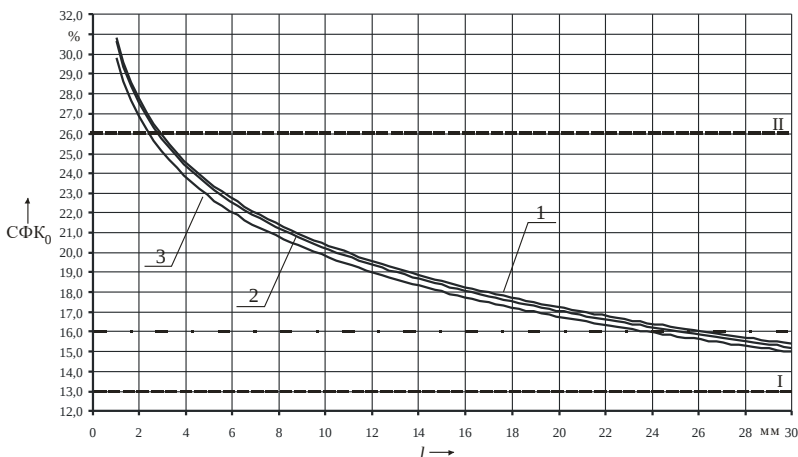


Рисунок 3 – Зависимость $\text{СФК}_0 = f(l)$ для бетона класса по прочности на сжатие $\text{С}^{12}/_{15}$;

1 – бетонная смесь П1 (ОК = 4 см); 2 – бетонная смесь Ж1 (8 с); 3 – бетонная смесь Ж2 (15 с);
I и II – степени карбонизации бетона;

— — — зона начала коррозии стальной арматуры в условиях периодического увлажнения

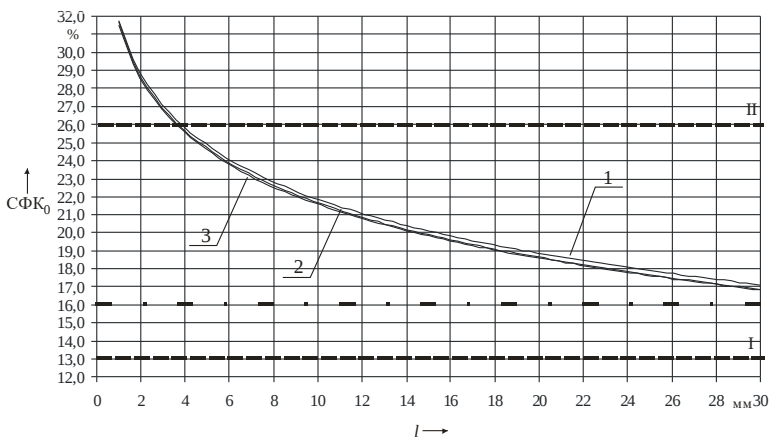


Рисунок 4 – Зависимость $СФК_0 = f(l)$ для бетона класса по прочности на сжатие $С^{30/37}$:

- 1 – бетонная смесь П1 (ОК = 4 см); 2 – бетонная смесь Ж1 (8 см); 3 – бетонная смесь Ж2 (15 см);
 I и II – степени карбонизации бетона;
 — — — — зона начала коррозии стальной арматуры в условиях периодического увлажнения

Выполненные исследования показывают, что сразу после изготовления бетонов классов по прочности на сжатие $С^{12/15}$ и $С^{30/37}$ (с применением ТВО) как для подвижных, так и для жестких смесей:

- бетон в разной степени карбонизирован на всю рассматриваемую глубину сечения;
- для бетона класса по прочности на сжатие $С^{12/15}$ в поверхностных слоях (до 3 мм) наблюдается II степень карбонизации бетона – деградация бетона малой степени интенсивности;
- в сечении более 3 мм – I степень карбонизации – бетон полностью теряет свои защитные свойства по отношению к стальной арматуре;
- для бетона класса по прочности на сжатие $С^{30/37}$ до 4 мм – II степень карбонизации бетона – деградация бетона малой степени интенсивности;
- в сечении более 4 мм – I степень карбонизации.

Дальнейшее развитие карбонизации (ее скорость и интенсивность при сохранившемся характере) будет определяться, в первую очередь, агрессивностью параметров эксплуатационной среды.

В условиях периодического увлажнения при таком состоянии бетона и его защитных свойств по отношению к стальной арматуре ($СФК \leq 16\%$) гарантированно возникает коррозия стальной арматуры. Таким образом, уже сразу после изготовления бетона (с применением ТВО) в условиях открытой атмосферы, зданий сельскохозяйственного назначения и даже в промышленных, общественных и жилых зданиях (для зон с периодическим увлаж-

нением) возможно возникновение с последующим развитием (различной степени интенсивности) коррозионных процессов в стальной арматуре, значительно сокращающих срок эксплуатации ЖБЭ и ЖБК без выполнения специальных мероприятий по их восстановлению (усилению).

Список литературы

1 **Васильев, А. А.** Карбонизация бетона (оценка и прогнозирование) : монография / А. А. Васильев. – Гомель : БелГУТ, 2013. – 303 с.

2 **Васильев, А. А.** Оценка и прогнозирование технического состояния железобетонных конструкций с учетом карбонизации бетона : монография / А. А. Васильев. – Гомель : БелГУТ, 2019. – 215 с.

3 **Васильев, А. А.** Прогнозирование фактической карбонизации с учетом технологических параметров бетона : монография / А. А. Васильев, А. М. Нияковский. – Гомель : БелГУТ, 2024. – 206 с.

УДК 691.327:666.972

АНАЛИЗ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КАПИЛЛЯРНОЙ ПОРИСТОСТИ БЕТОНА КЛАССА ПО ПРОЧНОСТИ НА СЖАТИЕ $C^{28}_{/35}$

К. Э. АГЕЕВА, В. Ю. СВЕРЖ, Е. В. МЕДВЕДЕВА

*Научный руководитель – А. А. Васильев (канд. техн. наук, доцент)
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Начальную карбонизацию бетона определяет, в первую очередь, количество использованного цемента, важнейшим фактором является величина капиллярной пористости бетона [1].

Капиллярную пористость бетона (P_k , %) рассчитывали по зависимости проф. В. В. Бабицкого:

$$P_k = \frac{Ц[0,98(B / Ц) - 0,0094 - 0,369\alpha]}{1000}, \quad (1)$$

где $B / Ц$ – водоцементное отношение бетона; α – степень гидратации цемента, %.

Капиллярную пористость бетона определяют содержание цемента, водоцементное отношение и степень гидратации цемента.

Подставив в зависимость (1) поочередно любые (реальные) значения $Ц$, $B / Ц$ и α при постоянных значениях остальных параметров, мы получим линейные зависимости $P_k = f(Ц)$; $P_k = f(B / Ц)$ и $P_k = f(\alpha)$ с коэффициентом детерминации $R^2 = 1$. Однако при расчете капиллярной пористости реального бетона с учетом правил подбора состава и зависимостей параметров бе-