

УДК 624.01/04

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

## ОЦЕНКА ПРИМЕНИМОСТИ БЕТОНОВ В ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТАХ И КОНСТРУКЦИЯХ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ УСЛОВИЙ

Приведены результаты исследований применимости бетонов различных классов по прочности для разных эксплуатационных условий с учетом процессов карбонизации бетона и ее влияния на развитие коррозионных процессов в стальной арматуре. Показано, что при назначении в нормативных документах минимального класса бетона по прочности для планируемых сроков и условий эксплуатации необходимо учитывать граничные условия по карбонизации бетона и толщину защитного слоя бетона.

**Введение.** Основным процессом нейтрализации бетона железобетонных элементов (ЖБЭ) и конструкций (ЖБК) в различных атмосферных условиях, вызывающим его структурные изменения, снижая защитные свойства по отношению к стальной арматуре, является карбонизация. Она создает условия для возникновения и развития коррозии стальной арматуры, приводя со временем к снижению несущей способности ЖБЭ (ЖБК) и созданию аварийных ситуаций.

Агрессивность эксплуатационных сред характеризуется не только постоянным содержанием в них углекислого газа воздуха различных концентраций. Так, для основных эксплуатационных условий агрессивность воздушных сред определяется следующими факторами:

– сельскохозяйственные здания: концентрация  $\text{CO}_2$  – 0,1–1,0 %; относительная влажность – до 100 %; положительная температура в помещениях в течение всего года; наличие зон с повышенным содержанием  $\text{CO}_2$  и влажности; длительные промежутки времени с учетом специфики вентиляции; постоянное длительное воздействие  $\text{CO}_2$  и влажности в зимний период;

– общественные здания и промышленные – с неагрессивной эксплуатационной средой: концентрация  $\text{CO}_2$  – 0,03–0,12 %; относительная влажность – до 100 %; положительная температура в помещениях в течение всего года;

– открытая атмосфера: концентрация  $\text{CO}_2$  – 0,03–1,20 %; относительная влажность – до 100 %; периодический переход температуры через 0 °С; увлажнение атмосферными осадками различной степени интенсивности.

Обуславливая степень агрессивности эксплуатационных сред, вышеприведенные факторы ускоряют либо снижают скорость карбонизации, определяя элементы и конструкции (их участки) либо зоны зданий с обычным течением карбонизации, либо ускоренным.

**Основная часть.** Для оценки применимости бетонов различных классов по прочности (при обеспечении требуемой долговечности) в соответственных эксплуатационных условиях исследовали совместно зависимости распределения по сечению бетона степени карбонизации бетона (показателя СК) и щелочности поровой жидкости (показателя pH) образцов бетона, отобранных из ЖБЭ, эксплуатировавшихся различные длительные сроки. Устанавливали взаимосвязь показателей pH и СК и их граничные значения. Максимальные значения карбонатной составляющей (показателя  $\text{KC}_{\text{max}}$ ) устанавливали с учетом предельной величины карбонизации (показателя ПВК) и изменения степени гидратации цемента (показателя  $\alpha$ ).

Показатели  $\text{KC}$ ,  $\text{KC}_{\text{max}}$ , pH, СК и ПВК определяли по методикам [1]. Степень гидратации цемента и его изменение во времени находили по методикам докт. техн. наук, проф. В. В. Бабицкого.

В качестве граничных значений приняты: планируемый срок эксплуатации – 50 лет (СТБ EN 206-1-2011); степень карбонизации бетона – 13 % (pH = 11,8 – граничное значение потери бетоном защитных свойств по отношению к стальной арматуре [2]); СК = 18 % (pH = 11,3 – граничное значение показателя pH, при котором наблюдается начало поверхностной коррозии стальной арматуры в условиях переменной влажности); СК = 26 % (pH = 10,8 – граничное значение показателя pH, при котором развивается критическая коррозия (уменьшение площади поперечного сечения стальной арматуры диаметров  $\varnothing \leq 10$  мм более, чем на 25 %)); СК = 36 % (pH = 10,3 – граничное значение изменения окраски цементно-песчаной фракции бетона при использовании фенолфталеинового теста, используемого по современным нормативам для оценки толщины карбонизированного бетона).

Полученные результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Анализ применения рекомендуемых классов бетона по прочности для планируемого срока службы 50 лет

Категория по условиям эксплуатации	Условия эксплуатации (авторские)	Толщина защитного слоя, мм	Рекомендуемый минимальный класс бетона по прочности на сжатие		
			СТБ EN 206-1-2011	СНБ 5.03.01-02	Авторский
СК = 13 %; pH = 11,8					
XC1	ОПЗ О	10	$C^{20}_{/25}$	$C^{12}_{/15}$	$\gg C^{30}_{/37}$
		15			$\gg C^{30}_{/37}$
		20			$\gg C^{30}_{/37}$
		25			$\gg C^{30}_{/37}$
XC2	А О	10	$C^{25}_{/30}$	$C^{16}_{/20}$	$\gg C^{30}_{/37}$
		15			$\gg C^{30}_{/37}$
		20			$\gg C^{30}_{/37}$
		25			$\gg C^{30}_{/37}$

Окончание таблицы 1

Категория по условиям эксплуатации	Условия эксплуатации (авторские)	Толщина защитного слоя, мм	Рекомендуемый минимальный класс бетона по прочности на сжатие		
			СТБ EN 206-1-2009	СНБ 5.03.01-02	Авторский
СК = 13 %; pH = 11,8					
XC3	ОПЗ У	10	C <sup>30</sup> / <sub>37</sub>	C <sup>20</sup> / <sub>25</sub>	>> C <sup>30</sup> / <sub>37</sub>
		15			>> C <sup>30</sup> / <sub>37</sub>
		20			>> C <sup>30</sup> / <sub>37</sub>
		25			>> C <sup>30</sup> / <sub>37</sub>
XC4	А У	10	C <sup>30</sup> / <sub>37</sub>	C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	>> C <sup>30</sup> / <sub>37</sub>
		15			>> C <sup>30</sup> / <sub>37</sub>
		20			>> C <sup>30</sup> / <sub>37</sub>
		25			>> C <sup>30</sup> / <sub>37</sub>
СК = 18 %; pH = 11,3					
XC1	ОПЗ О	10	C <sup>20</sup> / <sub>25</sub>	C <sup>12</sup> / <sub>15</sub>	C <sup>30</sup> / <sub>37</sub>
		15			C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>
		20			C <sup>18</sup> / <sub>22,5</sub>
		25			C <sup>16</sup> / <sub>20</sub>
XC2	А О	10	C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	C <sup>16</sup> / <sub>20</sub>	>> C <sup>30</sup> / <sub>37</sub>
		15			>> C <sup>30</sup> / <sub>37</sub>
		20			C <sup>30</sup> / <sub>37</sub>
		25			C <sup>20</sup> / <sub>25</sub>
XC3	ОПЗ У	10	C <sup>30</sup> / <sub>37</sub>	C <sup>20</sup> / <sub>25</sub>	>> C <sup>30</sup> / <sub>37</sub>
		15			>> C <sup>30</sup> / <sub>37</sub>
		20			> C <sup>30</sup> / <sub>37</sub>
		25			C <sup>22</sup> / <sub>27,5</sub>
XC4	А У	10	C <sup>30</sup> / <sub>37</sub>	C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	>> C <sup>30</sup> / <sub>37</sub>
		15			>> C <sup>30</sup> / <sub>37</sub>
		20			> C <sup>30</sup> / <sub>37</sub>
		25			C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>
СК = 26 %; pH = 10,8					
XC1	ОПЗ О	10	C <sup>20</sup> / <sub>25</sub>	C <sup>12</sup> / <sub>15</sub>	C <sup>20</sup> / <sub>25</sub>
		15			C <sup>16</sup> / <sub>20</sub>
		20			C <sup>12</sup> / <sub>15</sub>
		25			C <sup>12</sup> / <sub>15</sub>
XC2	А О	10	C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	C <sup>16</sup> / <sub>20</sub>	> C <sup>30</sup> / <sub>37</sub>
		15			C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>
		20			C <sup>16</sup> / <sub>20</sub>
		25			C <sup>12</sup> / <sub>15</sub>
XC3	ОПЗ У	10	C <sup>30</sup> / <sub>37</sub>	C <sup>20</sup> / <sub>25</sub>	>> C <sup>30</sup> / <sub>37</sub>
		15			C <sup>28</sup> / <sub>35</sub>
		20			C <sup>18</sup> / <sub>22,5</sub>
		25			C <sup>12</sup> / <sub>15</sub>
XC4	А У	10	C <sup>30</sup> / <sub>37</sub>	C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	>> C <sup>30</sup> / <sub>37</sub>
		15			C <sup>30</sup> / <sub>37</sub>
		20			C <sup>18</sup> / <sub>22,5</sub>
		25			C <sup>16</sup> / <sub>20</sub>
СК = 36 %; pH = 10,3					
XC1	ОПЗ О	10	C <sup>20</sup> / <sub>25</sub>	C <sup>12</sup> / <sub>15</sub>	C <sup>16</sup> / <sub>20</sub>
		15			C <sup>12</sup> / <sub>15</sub>
		20			C <sup>12</sup> / <sub>15</sub>
		25			C <sup>12</sup> / <sub>15</sub>
XC2	А О	10	C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	C <sup>16</sup> / <sub>20</sub>	C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>
		15			C <sup>16</sup> / <sub>20</sub>
		20			C <sup>12</sup> / <sub>15</sub>
		25			C <sup>12</sup> / <sub>15</sub>
XC3	ОПЗ У	10	C <sup>30</sup> / <sub>37</sub>	C <sup>20</sup> / <sub>25</sub>	C <sup>28</sup> / <sub>35</sub>
		15			C <sup>18</sup> / <sub>22,5</sub>
		20			C <sup>12</sup> / <sub>15</sub>
		25			C <sup>12</sup> / <sub>15</sub>
XC4	А У	10	C <sup>30</sup> / <sub>37</sub>	C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	C <sup>30</sup> / <sub>37</sub>
		15			C <sup>18</sup> / <sub>22,5</sub>
		20			C <sup>16</sup> / <sub>20</sub>
		25			C <sup>12</sup> / <sub>15</sub>

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

**Заключение.** Выполненные исследования показывают, что в зависимости от принятых граничных условий по степени карбонизации значительно отличаются для одних эксплуатационных условий, минимально необходимые классы бетона по прочности на сжатие. Кроме того, назначение проектного класса бетона по прочности будет в значительной степени зависеть от рассчитанной (принятой) толщины защитного слоя бетона, либо прогнозируемая долговечность существующих ЖБЭ и ЖБК – от фактического значения толщины защитного слоя бетона.

На сегодняшний день в нормативных документах как

Получено 11.10.2017

**A. A. Vasilyev.** Estimation of applicability of concretes in reinforce-concrete elements and constructions for different operating terms.

Results over of researches of applicability of concretes of different classes are brought on durability for different operating terms taking into account the processes of carbonating of concrete and her influence on development of corrosive processes in a gagers. It is shown that at setting in the normative documents of minimum class of concrete on durability for the planned terms and external environments, it is necessary to take into account border terms for carbonating of concrete and thickness of protective layer of concrete.

Европейских, так и Республики Беларусь, принято упрощенное назначение минимальных классов бетона по прочности для категорий по условиям эксплуатации ХС1–ХС4.

#### Список литературы

1 **Васильев, А. А.** Расчетно-экспериментальная модель карбонизации бетона : [монография] / А. А. Васильев ; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2016. – 263 с.

2 **Бабушкин, В. И.** Термодинамика силикатов / В. И. Бабушкин, Г. М. Матвеев, О. П. Мчедлов-Петросян ; под ред. О. П. Мчедлова-Петросяна. – 4-е изд.– М. : Стройиздат, 1986. – 408 с.