

УДК 624.011.2:692.46(476.2)

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВО ВРЕМЕНИ КАРБОНИЗАЦИИ БЕТОНА РАЗЛИЧНЫХ КЛАССОВ ПО ПРОЧНОСТИ НА СЖАТИЕ

ВАСИЛЬЕВ АЛЕКСАНДР АНАТОЛЬЕВИЧ

К.Т.Н., доцент,

КАБЫШЕВА ЮЛИЯ КОНСТАНТИНОВНА

М.Т.Н.

ЛЕОНОВ НИКОЛАЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ

магистрант

УО «Белорусский государственный университет транспорта», г. Гомель

Аннотация: на базе полученных экспериментальных регрессионных зависимостей карбонизации во времени бетонов классов по прочности на сжатие $C^{12/15}$ – $C^{30/37}$ составов марки по удобоукладываемости П1 выведена зависимость изменения во времени карбонатной составляющей (показателя КС) от количества использованного цемента. Получены коэффициенты для зависимости развития во времени карбонизации для марок смеси по удобоукладываемости П1, Ж1 и Ж2 бетонов классов по прочности на сжатие $C^{12/15}$ – $C^{50/60}$.

Ключевые слова: цемент, бетон, карбонатная составляющая, начальная карбонизация.

PREDICTION OVER TIME OF CONCRETE CARBONIZATION DIFFERENT COMPRESSIVE STRENGTH CLASSES

Vasiljev Alexander Anatoljevich,
Kabysheva Uliya Konstantinovna,
Leonov Nikolaj Aleksandrovich

Abstract: Based on the obtained experimental regression dependencies of carbonization in time of concretes of compressive strength classes $C^{12/15}$ – $C^{30/37}$ compositions of the grade by workability, the dependence of the change in time of the carbonate component (CC indicator) on the amount of cement used M1 derived. Coefficients are obtained for dependence of development in time of carbonization for grades of mixture by workability of M1, H1 and H2 concretes of compressive strength classes $C^{12/15}$ – $C^{50/60}$.

Keywords: cement, concrete, carbonate component, initial carbonization.

Для установления зависимости изменения во времени карбонатной составляющей (показателя КС) в зоне расположения стальной арматуры исследовали бетон различных железобетонных элементов (ЖБЭ) (в основном колонн, как массивных элементов), эксплуатировавшихся длительные сроки в различных воздушных средах. Были получены обширные области изменения во времени значений показателя КС [1] в зоне расположения стальной арматуры [2, 3].

ЖБЭ эксплуатируются в различных условиях, влияние эксплуатационной среды на них неоднородно, поэтому при получении регрессионных зависимостей рассматривали условия помещений сельскохозяйственных зданий (СХ), общественных зданий и производственных с неагрессивной эксплуатаци-

онной средой (ОПЗ) и открытой атмосферы (А) и зоны с обычной (О) и ускоренной карбонизацией (У) [2].

В общем виде полученная расчетно-экспериментальная зависимость карбонизации в зоне расположения стальной арматуры имеет следующий вид

$$KC(l,t) = \alpha_1 + \alpha_2 \sqrt{t},$$

где $\alpha_1, \%$ и $\alpha_2, \%/лет^{1/2}$ – коэффициенты.

Для всех эксплуатационных условий были получены значения коэффициентов α_1 и α_2 для бетонов классов по прочности на сжатие $C^{12/15}$ – $C^{30/37}$ [2, 3].

В качестве примера, в таблице 1 приведены значения коэффициентов α_1 и α_2 для составов бетона с ОК = 1 см.

Таблица 1

Значения коэффициентов α_1 и α_2 для различных классов бетона по прочности на сжатие составов с ОК = 1 см

Класс бетона по прочности на сжатие	Условия эксплуатации											
	СХ О		СХ У		ОПЗ О		ОПЗ У		А О		А У	
	α_1	α_2	α_1	α_2	α_1	α_2	α_1	α_2	α_1	α_2	α_1	α_2
$C^{12/15}$	2,82	0,633	2,82	1,17	2,82	0,326	2,79	0,896	2,79	0,697	2,82	0,983
$C^{16/20}$	3,20	0,599	3,20	1,13	3,20	0,297	3,20	0,850	3,20	0,663	3,20	0,936
$C^{18/22,5}$	3,51	0,572	3,52	1,09	3,51	0,273	3,51	0,815	3,51	0,637	3,53	0,897
$C^{20/25}$	3,69	0,557	3,69	1,07	3,69	0,250	3,69	0,789	3,69	0,621	3,69	0,878
$C^{22/27,5}$	3,93	0,537	3,93	1,05	3,93	0,240	3,93	0,755	3,93	0,601	3,93	0,851
$C^{25/30}$	4,15	0,518	4,15	1,03	4,15	0,210	4,14	0,726	4,15	0,582	4,15	0,826
$C^{28/35}$	4,65	0,478	4,65	0,975	4,65	0,145	4,65	0,660	4,65	0,541	4,65	0,772
$C^{30/37}$	4,88	0,460	4,88	0,952	4,88	0,115	4,88	0,631	4,88	0,522	4,88	0,748

Путем математической обработки коэффициентов α_1 и α_2 выведены зависимости их значений от количества использованного цемента (таблица 2)

Таблица 2

Зависимости $\alpha_1 = f(\text{Ц})$ и $\alpha_2 = f(\text{Ц})$ для различных эксплуатационных условий

Условия эксплуатации	α_1	Коэффициент детерминации, R^2	α_2	Коэффициент детерминации, R^2
СХ О	$\alpha_1 = 0,0088\text{Ц} + 1,0626$	0,9984	$\alpha_2 = - 0,0008\text{Ц} + 0,7932$	0,9429
СХ У	$\alpha_1 = 0,0088\text{Ц} + 1,0578$	0,9984	$\alpha_2 = - 0,0010\text{Ц} + 1,3641$	0,9746
ОПЗ О	$\alpha_1 = 0,0088\text{Ц} + 1,0582$	0,9985	$\alpha_2 = - 0,0010\text{Ц} + 0,5240$	0,9270
ОПЗ У	$\alpha_1 = 0,0089\text{Ц} + 1,0299$	0,9989	$\alpha_2 = - 0,0012\text{Ц} + 1,1376$	0,9818
А О	$\alpha_1 = 0,0089\text{Ц} + 1,0344$	0,9989	$\alpha_2 = - 0,0009\text{Ц} + 0,8730$	0,8951
А У	$\alpha_1 = 0,0088\text{Ц} + 1,0646$	0,9983	$\alpha_2 = - 0,0011\text{Ц} + 1,1989$	0,9461

где Ц – содержание цемента, кг/м³.

Для возможности прогнозирования карбонизации во времени, значения $KC_{в}$, с учетом [4] для наиболее часто выпускаемых сборных железобетонных изделий получили для жестких смесей марок по удобоукладываемости Ж1 и Ж2 (для средних значений «Ц»), и подвижных смесей (П1) – для значений «Ц», соответствующих верхней границе (ОК = 4 см).

Полученные на основе использования зависимостей (таблица 2) коэффициенты α_1 и α_2 для бетонов различных классов по прочности на сжатие и эксплуатационных условий, приведены в таблицах 4, 6, 8.

Таблица 3

Расчетное содержание цемента $C_{рп1}$, кг/м³, для подвижных смесей

Класс бетона по прочности на сжатие	Содержание цемента, для смесей П1...П5, Ц, кг/м ³	Содержание цемента, $C_{п1}$, кг/м ³ , для смесей П1 с ОК = 1...4 см	Расчетное содержание цемента, $C_{рп1}$, кг/м ³
C ¹² / ₁₅	195...265	195...213	213
C ¹⁶ / ₂₀	252...343	252...275	275
C ¹⁸ / _{22,5}	279...385	279...305	305
C ²⁰ / ₂₅	306...448	306...334	334
C ²² / _{27,5}	331...471	331...364	364
C ²⁵ / ₃₀	357...513	357...397	397
C ²⁸ / ₃₅	418...599	418...464	464
C ³⁰ / ₃₇	441...490	441...490	490
C ³² / ₄₀	476...682	476...529	529
C ³⁵ / ₄₅	533...763	533...592	592
C ⁴⁰ / ₅₀	589...842	589...654	654
C ⁴⁵ / ₅₅	644...919	644...714	714
C ⁵⁰ / ₆₀	697...995	697...774	774

Таблица 4

Значения коэффициентов α_1 и α_2 для различных классов бетона по прочности на сжатие и условий эксплуатации для подвижных смесей

Класс бетона по прочности на сжатие	Условия эксплуатации											
	СХ О		СХ У		ОПЗ О		ОПЗ У		А О		А У	
	α_1	α_2	α_1	α_2	α_1	α_2	α_1	α_2	α_1	α_2	α_1	α_2
C ¹² / ₁₅	2,94	0,623	2,93	1,151	2,93	0,311	2,93	0,882	2,93	0,681	2,94	0,965
C ¹⁶ / ₂₀	3,48	0,573	3,48	1,089	3,48	0,249	3,48	0,808	3,48	0,626	3,48	0,896
C ¹⁸ / _{22,5}	3,75	0,549	3,74	1,059	3,74	0,219	3,74	0,772	3,75	0,599	3,75	0,863
C ²⁰ / ₂₅	4,00	0,526	4,00	1,030	4,00	0,190	4,00	0,737	4,01	0,572	4,00	0,832
C ²² / _{27,5}	4,27	0,502	4,26	1,000	4,26	0,160	4,27	0,701	4,27	0,545	4,27	0,799
C ²⁵ / ₃₀	4,56	0,476	4,55	0,967	4,55	0,127	4,56	0,661	4,57	0,516	4,56	0,762
C ²⁸ / ₃₅	5,15	0,422	5,14	0,900	5,14	0,060	5,16	0,581	5,16	0,455	5,15	0,689
C ³⁰ / ₃₇	5,37	0,401	5,37	0,874	5,37	0,034	5,39	0,550	5,40	0,432	5,38	0,660
C ³² / ₄₀	5,72	0,370	5,71	0,835	5,71	-0,005	5,74	0,503	5,74	0,397	5,72	0,617
C ³⁵ / ₄₅	6,27	0,320	6,27	0,772	6,27	-0,068	6,30	0,427	6,30	0,340	6,27	0,548
C ⁴⁰ / ₅₀	6,82	0,270	6,81	0,710	6,81	-0,130	6,85	0,353	6,86	0,284	6,82	0,480
C ⁴⁵ / ₅₅	7,35	0,222	7,34	0,650	7,34	-0,190	7,38	0,281	7,39	0,230	7,35	0,414
C ⁵⁰ / ₆₀	7,87	0,174	7,87	0,590	7,87	-0,250	7,92	0,209	7,92	0,176	7,88	0,348

Таблица 5

Расчетное содержание цемента $C_{ср ж1}$, кг/м³, для жестких смесей

Класс бетона по прочности на сжатие	Содержание цемента, кг/м ³ , для смесей Ж1...Ж5 (5...40 с)	Содержание цемента, $C_{ж1}$, кг/м ³ , для смесей Ж1 (5...10 с)	Среднее содержание цемента, $C_{ср ж1}$, кг/м ³
C ¹² / ₁₅	198...170	198...191	195
C ¹⁶ / ₂₀	256...220	256...248	252
C ¹⁸ / _{22,5}	284...243	284...274	279
C ²⁰ / ₂₅	311...266	311...300	306
C ²² / _{27,5}	337...289	337...326	332
C ²⁵ / ₃₀	364...310	364...350	357
C ²⁸ / ₃₅	426...353	426...409	418
C ³⁰ / ₃₇	449...373	449...431	440
C ³² / ₄₀	485...403	485...466	476
C ³⁵ / ₄₅	543...451	543...522	533
C ⁴⁰ / ₅₀	600...499	600...577	589
C ⁴⁵ / ₅₅	656...545	656...630	643
C ⁵⁰ / ₆₀	711...591	711...683	697

Таблица 6

Значения коэффициентов α_1 и α_2 для различных классов бетона по прочности на сжатие и условий эксплуатации для жестких смесей

Класс бетона по прочности на сжатие	Условия эксплуатации											
	СХ О		СХ У		ОПЗ О		ОПЗ У		А О		А У	
	α_1	α_2	α_1	α_2	α_1	α_2	α_1	α_2	α_1	α_2	α_1	α_2
C ¹² / ₁₅	2,78	0,637	2,77	1,169	2,77	0,329	2,77	0,904	2,77	0,698	2,78	0,984
C ¹⁶ / ₂₀	3,28	0,592	3,28	1,112	3,28	0,272	3,27	0,835	3,28	0,646	3,28	0,922
C ¹⁸ / _{22,5}	3,52	0,570	3,51	1,085	3,51	0,245	3,51	0,803	3,52	0,622	3,52	0,892
C ²⁰ / ₂₅	3,76	0,548	3,75	1,058	3,75	0,218	3,75	0,770	3,76	0,598	3,76	0,862
C ²² / _{27,5}	3,98	0,528	3,98	1,032	3,98	0,192	3,98	0,739	3,99	0,574	3,99	0,834
C ²⁵ / ₃₀	4,20	0,508	4,20	1,007	4,20	0,167	4,21	0,709	4,21	0,552	4,21	0,806
C ²⁸ / ₃₅	4,74	0,459	4,74	0,946	4,74	0,106	4,75	0,636	4,75	0,497	4,74	0,739
C ³⁰ / ₃₇	4,93	0,441	4,93	0,924	4,93	0,084	4,95	0,610	4,95	0,477	4,94	0,715
C ³² / ₄₀	5,25	0,412	5,25	0,888	5,25	0,048	5,27	0,566	5,27	0,445	5,25	0,675
C ³⁵ / ₄₅	5,75	0,367	5,75	0,831	5,75	-0,009	5,77	0,498	5,78	0,393	5,76	0,613
C ⁴⁰ / ₅₀	6,25	0,322	6,24	0,775	6,24	-0,065	6,27	0,431	6,28	0,343	6,25	0,551
C ⁴⁵ / ₅₅	6,72	0,279	6,72	0,721	6,72	-0,119	6,75	0,366	6,76	0,294	6,72	0,492
C ⁵⁰ / ₆₀	7,20	0,236	7,19	0,667	7,19	-0,173	7,23	0,301	7,24	0,246	7,20	0,432

Таблица 7

Расчетное содержание цемента $C_{ср ж1}$, кг/м³, для жестких смесей

Класс бетона по прочности на сжатие	Содержание цемента, кг/м ³ , для смесей Ж1...Ж5 (5...40 с)	Содержание цемента, $C_{ж2}$, кг/м ³ , для смесей Ж2 (11...20 с)	Среднее содержание цемента, $C_{ср ж2}$, кг/м ³
C ¹² / ₁₅	198...170	190...183	187
C ¹⁶ / ₂₀	256...220	246...236	241
C ¹⁸ / _{22,5}	284...243	273...262	268
C ²⁰ / ₂₅	311...266	299...287	293
C ²² / _{27,5}	337...289	324...311	318
C ²⁵ / ₃₀	364...310	348...334	341
C ²⁸ / ₃₅	426...353	406...387	397
C ³⁰ / ₃₇	449...373	429...408	419
C ³² / ₄₀	485...403	463...441	452
C ³⁵ / ₄₅	543...451	519...494	507
C ⁴⁰ / ₅₀	600...499	573...546	560
C ⁴⁵ / ₅₅	656...545	626...596	611
C ⁵⁰ / ₆₀	711...591	679...646	663

Таблица 8

Значения коэффициентов α_1 и α_2 для различных классов бетона по прочности на сжатие и условий эксплуатации для жестких смесей

Класс бетона по прочности на сжатие	Условия эксплуатации											
	СХ О		СХ У		ОПЗ О		ОПЗ У		А О		А У	
	α_1	α_2	α_1	α_2	α_1	α_2	α_1	α_2	α_1	α_2	α_1	α_2
C ¹² / ₁₅	2,71	0,644	2,70	1,177	2,70	0,337	2,69	0,913	2,70	0,705	2,71	0,993
C ¹⁶ / ₂₀	3,18	0,600	3,18	1,123	3,18	0,283	3,17	0,848	3,18	0,656	3,19	0,934
C ¹⁸ / _{22,5}	3,42	0,579	3,42	1,096	3,42	0,256	3,42	0,816	3,42	0,632	3,42	0,904
C ²⁰ / ₂₅	3,64	0,559	3,64	1,071	3,64	0,231	3,64	0,786	3,64	0,609	3,64	0,877
C ²² / _{27,5}	3,86	0,539	3,86	1,046	3,86	0,206	3,86	0,756	3,86	0,587	3,86	0,849
C ²⁵ / ₃₀	4,06	0,520	4,06	1,023	4,06	0,183	4,06	0,728	4,07	0,566	4,07	0,824
C ²⁸ / ₃₅	4,56	0,476	4,55	0,967	4,55	0,127	4,56	0,661	4,57	0,516	4,56	0,762
C ³⁰ / ₃₇	4,75	0,458	4,75	0,945	4,75	0,105	4,76	0,635	4,76	0,496	4,75	0,738
C ³² / ₄₀	5,04	0,432	5,04	0,912	5,04	0,072	5,05	0,595	5,06	0,466	5,04	0,702
C ³⁵ / ₄₅	5,52	0,388	5,52	0,857	5,52	0,017	5,54	0,529	5,55	0,417	5,53	0,641
C ⁴⁰ / ₅₀	5,99	0,345	5,99	0,804	5,99	-0,036	6,01	0,466	6,02	0,369	5,99	0,583
C ⁴⁵ / ₅₅	6,44	0,304	6,43	0,753	6,44	-0,087	6,47	0,404	6,47	0,323	6,44	0,527
C ⁵⁰ / ₆₀	6,90	0,263	6,89	0,701	6,89	-0,139	6,93	0,342	6,94	0,276	6,90	0,470

Список источников

1 Васильев, А. А. Экспресс-метод определения карбонатной составляющей цементно-песчаной фракции бетона / А. А. Васильев // сб. статей XXII Междунар. науч.-практ. конф. – Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение». – 2019.– С. 29–34.

2. Васильев, А. А. Расчетно-экспериментальная модель карбонизации бетона : [монография] / А. А. Васильев; Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель: БелГУТ, 2016. – 263 с.

3. Васильев, А. А. Оценка и прогнозирование технического состояния железобетонных конструкций с учетом карбонизации бетона : [монография] /А. А. Васильев; Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель: БелГУТ, 2019. – 215 с.

4. Васильев, А. А. Прогнозирование начальной карбонизации бетона различных классов по прочности на сжатие / А. А. Васильев, Ю. К. Кабышева, Н.А. Леонов // Современные научные знания: сб. статей Междунар. науч.-практ. конф. – Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение». – 2023. – С. 21–24.