

независимо от того, в какой блок они направляются, площади. Также есть возможность создать парковку для посетителей спортивного комплекса для того, чтобы разделять потоки машин и предотвратить парковку автомобилей вблизи площади и перед входами в проектируемое здание, так как на ней тоже есть возможность проведения различных событий и выступлений.

В заключение хочу сказать, что участок, выбранный для проекта, далёк от идеального по разным причинам, но является единственным местом в микрорайоне, где можно организовать досуг и культурную жизнь проживающих в нём людей, предоставив молодёжи места для их хобби, увлечений и самореализации, обрамлённые в архитектурно-художественную оболочку здания клубного типа.

### Список литературы

1 **Андреева, Д. В.** Эволюция архитектуры столичных клубов Англии и России на рубеже XVII–XIX вв. / Д. В. Андреева, О. Т. Иевлева // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. – 2021. – № 1. – С. 46–57.

2 **Киреева, Н. В.** Сущностные основы молодежного досуга / Н. В. Киреева, Н. Э. Чернявская, М. Н. Киреев // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. – 2014. – № 3. – С. 246–248.

УДК 624.011.2:692.46(476.2)

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НАЧАЛЬНОЙ КАРБОНИЗАЦИИ БЕТОНА РАЗЛИЧНЫХ КЛАССОВ ПО ПРОЧНОСТИ НА СЖАТИЕ ДЛЯ ЖЕСТКИХ СМЕСЕЙ (Ж3 И Ж4)

*Ю. К. КАБЫШЕВА*

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

Карбонизация бетона является главным фактором, который влияет на коррозионное состояние, техническое состояние, долговечность и остаточный ресурс железобетонных элементов (ЖБЭ) и конструкций (ЖБК), эксплуатируемых в различных атмосферных условиях. Таким образом, карбонизация бетона является важным аспектом, который необходимо учитывать при проектировании и обслуживании бетонных конструкций, чтобы обеспечить их долговечность и надежность.

Начальная карбонизация может происходить в течение нескольких часов после заливки бетона и может быть вызвана различными факторами, включая высокую концентрацию углекислого газа в окружающей среде, недостаточное уплотнение бетона или неправильное хранение и защиту «свежей» конструкции.

Жесткие бетоны используются для различных строительных и инженерных конструкций, где требуется высокая прочность, устойчивость к нагрузкам и долговечность. Они обладают значительно более высокой прочностью, чем обычные бетоны, и могут использоваться в таких проектах, как строительство мостов, дамб, туннелей, высотных зданий и других сооружений, где необходимо обеспечить надежность и долговечность.

На основе исследования по сечению бетонов различных классов по прочности на сжатие (составов марок по удобоукладываемости П1 (ОК = 1 и 4 см)) сразу после изготовления с применением ТВО методами регрессионного и корреляционного анализа была получена зависимость начальной карбонизации [1].

Регрессионная зависимость изменения показателя  $KC_0$  (начальной карбонизации) по сечению бетона:

$$KC_0(l/t=0) = \beta_0 + \beta_1 e^{\left( - \left( \frac{l - \beta_2}{\beta_3} \right)^{\beta_4} \right)}, \quad (1)$$

где  $\beta_0 - \beta_4$  – коэффициенты, определяющие:  $\beta_0$  – наименьшее значение  $KC(l)$ , % [обычно,  $\beta_0 = KC(l > 100 \text{ мм})$ ];  $\beta_1$  – разность минимального и максимального значений  $KC(l)$ , %;  $\beta_2$  – минимальное значение глубины  $l$ , мм, (обычно,  $\beta_2 = 0$ );  $\beta_3$  – форму кривой и координаты точек перегиба, мм,  $\beta_3 > 0$ ;  $\beta_4$  – форму кривой и координаты точек перегиба, д. ед.,  $\beta_4 > 0$ ;  $l$  – расчетное значение глубины бетона, мм.

Следует отметить, что при разработке математической модели начальной карбонизации были использованы следующие допущения: скорость развития карбонизации после глубины 50 мм остается постоянной для всех классов бетона по прочности на сжатие (состава бетонной смеси); граничное значение начальной карбонизации равно 100 мм.

В ходе исследований были получены коэффициенты  $\beta_0 - \beta_4$  для различных классов бетона по прочности на сжатие, для различных составов, в зависимости от количества использованного цемента.

Посредством математической обработки коэффициентов  $\beta_0$  и  $\beta_1$  получены зависимости их значений от количества использованного цемента:

$$\beta_0 = 0,0077Ц + 0,7932; \quad (R^2 = 0,9969); \quad (2)$$

$$\beta_1 = 1769,4Ц + 409077; \quad (R^2 = 0,9959), \quad (3)$$

где  $Ц$  – содержание цемента,  $\text{кг/м}^3$ .

Для дальнейших расчетов коэффициенты  $\beta_2$ ,  $\beta_3$  и  $\beta_4$  приняты равными 100, 5,05 и 0,85 соответственно.

В общем виде зависимость начальной карбонизации бетона от количества использованного цемента

$$KC_0(l/t=0) = 0,0077Ц + (1769Ц + 409077)e^{-\left(\frac{l+100}{5,05}\right)^{0,85}} \quad (4)$$

Составы бетона определяли на основании многофакторного метода, предложенного проф. В. В. Бабицким [2]. Исследовались бетоны на основе портландцемента ПЦ 500 Д0 (ОАО «Белорусский цементный завод»,  $k = 0,66$ ).

Полученные на основе использования зависимостей 2 и 3 коэффициенты  $\beta_0$  и  $\beta_1$  для бетонов различных классов по прочности на сжатие, для ЖБЭ для жестких смесей Ж3 и Ж4 представлены в таблицах 1 и 2.

Зависимости начальной карбонизации бетона ( $KC_0 = f(\rho_{cp})$ ) для классов по прочности на сжатие  $C^{12}/_{15} - C^{50}/_{60}$  для марок по удобоукладываемости Ж3 и Ж4 представлены в таблице 3.

Проверка значимости полученных регрессионных зависимостей выполнялась методами математической статистики в программе Statgraphics.

Проверка остатков на «независимость» проводилась по критериям «серий», на «нормальность» – по критериям согласия  $\chi^2$ -Пирсона,  $\lambda$ -Колмогорова и Шапиро-Вилка, на «отсутствие систематической ошибки» – с использованием статистического критерия t-Стьюдента. Все проверки выполнялись для принятого в инженерной практике уровня значимости  $\alpha = 0,05$ .

**Таблица 1 – Значения коэффициентов  $\beta_0$  и  $\beta_1$  для классов бетона по прочности на сжатие  $C^{12}/_{15} - C^{50}/_{60}$ , жестких смесей Ж3**

Класс бетона по прочности на сжатие	Содержание цемента, кг/м <sup>3</sup> , для смесей Ж1...Ж4 (5...40 с)	Содержание цемента, Ц <sub>ж1</sub> , кг/м <sup>3</sup> , для смесей Ж3 (21...30 с)	Среднее содержание цемента, Ц <sub>ср ж1</sub> , кг/м <sup>3</sup>	$\beta_0$	$\beta_1$
$C^{12}/_{15}$	198...170	182...176	179	2,17	725800
$C^{16}/_{20}$	256...220	235...227	231	2,57	817808
$C^{18}/_{22,5}$	284...243	261...252	257	2,77	863813
$C^{20}/_{25}$	311...266	286...276	281	2,96	906278
$C^{22}/_{27,5}$	337...289	310...299	305	3,14	948744
$C^{25}/_{30}$	364...310	333...320	327	3,31	987671
$C^{28}/_{35}$	426...353	385...367	376	3,69	1074371
$C^{30}/_{37}$	449...373	406...389	398	3,86	1113298
$C^{32}/_{40}$	485...403	438...420	429	4,10	1168150
$C^{35}/_{45}$	543...451	491...471	481	4,50	1260158
$C^{40}/_{50}$	600...499	543...521	532	4,89	1350398
$C^{45}/_{55}$	656...545	593...569	581	5,27	1437098
$C^{50}/_{60}$	711...591	643...617	630	5,64	1523799

Таблица 2 – Значения коэффициентов  $\beta_0$  и  $\beta_1$  для классов бетона по прочности на сжатие  $C^{12/15}$ – $C^{50/60}$ , жестких смесей Ж4

Класс бетона по прочности на сжатие	Содержание цемента, кг/м <sup>3</sup> , для смесей Ж1...Ж4 (5...40 с)	Содержание цемента, Ц <sub>ж1</sub> , кг/м <sup>3</sup> , для смесей Ж4 (31...40 с)	Среднее содержание цемента, Ц <sub>ср ж1</sub> , кг/м <sup>3</sup>	$\beta_0$	$\beta_1$
$C^{12/15}$	198...170	175...170	173	2,13	715183
$C^{16/20}$	256...220	227...220	224	2,52	805423
$C^{18/22,5}$	284...243	250...243	247	2,70	846119
$C^{20/25}$	311...266	275...266	271	2,88	888584
$C^{22/27,5}$	337...289	298...289	294	3,06	929281
$C^{25/30}$	364...310	319...310	315	3,22	966438
$C^{28/35}$	426...353	367...353	360	3,57	1046061
$C^{30/37}$	449...373	387...373	380	3,72	1081449
$C^{32/40}$	485...403	419...403	411	3,96	1136300
$C^{35/45}$	543...451	469...451	460	4,34	1223001
$C^{40/50}$	600...499	518...499	509	4,71	1309702
$C^{45/55}$	656...545	567...545	556	5,07	1392863
$C^{50/60}$	711...591	617...591	604	5,44	1477795

Таблица 3 – Регрессионные зависимости начальной карбонизации бетона для классов по прочности на сжатие  $C^{12/15}$ – $C^{50/60}$  для марок по удобоукладываемости Ж3 и Ж4

Класс бетона по прочности на сжатие	Марка бетона по удобоукладываемости	
	Ж3 (21...30 с)	Ж4 (31...40 с)
$C^{12/15}$	$KC_0=2,17+725800e^{-\left(\frac{t+100}{5,05}\right)^{0,85}}$	$KC_0=2,13+715183e^{-\left(\frac{t+100}{5,05}\right)^{0,85}}$
$C^{16/20}$	$KC_0=2,57+817808e^{-\left(\frac{t+100}{5,05}\right)^{0,85}}$	$KC_0=2,52+805423e^{-\left(\frac{t+100}{5,05}\right)^{0,85}}$
$C^{18/22,5}$	$KC_0=2,77+863813e^{-\left(\frac{t+100}{5,05}\right)^{0,85}}$	$KC_0=2,70+846119e^{-\left(\frac{t+100}{5,05}\right)^{0,85}}$
$C^{20/25}$	$KC_0=2,96+906278e^{-\left(\frac{t+100}{5,05}\right)^{0,85}}$	$KC_0=2,88+888584e^{-\left(\frac{t+100}{5,05}\right)^{0,85}}$
$C^{22/27,5}$	$KC_0=3,14+948744e^{-\left(\frac{t+100}{5,05}\right)^{0,85}}$	$KC_0=3,06+929281e^{-\left(\frac{t+100}{5,05}\right)^{0,85}}$
$C^{25/30}$	$KC_0=3,31+987671e^{-\left(\frac{t+100}{5,05}\right)^{0,85}}$	$KC_0=3,22+966438e^{-\left(\frac{t+100}{5,05}\right)^{0,85}}$
$C^{28/35}$	$KC_0=3,69+1074371e^{-\left(\frac{t+100}{5,05}\right)^{0,85}}$	$KC_0=3,57+1046061e^{-\left(\frac{t+100}{5,05}\right)^{0,85}}$
$C^{30/37}$	$KC_0=3,86+1113298e^{-\left(\frac{t+100}{5,05}\right)^{0,85}}$	$KC_0=3,72+1081449e^{-\left(\frac{t+100}{5,05}\right)^{0,85}}$
$C^{32/40}$	$KC_0=4,10+1168150e^{-\left(\frac{t+100}{5,05}\right)^{0,85}}$	$KC_0=3,96+1136300e^{-\left(\frac{t+100}{5,05}\right)^{0,85}}$

Окончание таблицы 3

Класс бетона по прочности на сжатие	Марка бетона по удобоукладываемости	
	Ж3 (21...30с)	Ж4 (31...40с)
$C^{35}/_{45}$	$KC_0=4,50+1260158e^{-\left(\frac{t+100}{5,05}\right)^{0,85}}$	$KC_0=4,34+1223001e^{-\left(\frac{t+100}{5,05}\right)^{0,85}}$
$C^{40}/_{50}$	$KC_0=4,89+1350398e^{-\left(\frac{t+100}{5,05}\right)^{0,85}}$	$KC_0=4,71+1309702e^{-\left(\frac{t+100}{5,05}\right)^{0,85}}$
$C^{45}/_{55}$	$KC_0=5,27+1437098e^{-\left(\frac{t+100}{5,05}\right)^{0,85}}$	$KC_0=5,07+1392863e^{-\left(\frac{t+100}{5,05}\right)^{0,85}}$
$C^{50}/_{60}$	$KC_0=5,64+1523799e^{-\left(\frac{t+100}{5,05}\right)^{0,85}}$	$KC_0=5,44+1477795e^{-\left(\frac{t+100}{5,05}\right)^{0,85}}$

Выполненные проверки показали, что предлагаемые расчетно-экспериментальные регрессионные зависимости значимы по всем критериям, в них корректно учтены все основные факторы.

**Список литературы**

- 1 **Васильев, А. А.** Математическая расчетно-экспериментальная модель начальной карбонизации бетона / А. А. Васильев, Д. Н. Шевченко // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2016. – № 2 (33). – С. 176–179.
- 2 **Бабицкий, В. В.** Структура и коррозионная стойкость бетона и железобетона : дис. ... д-ра. техн. наук : 05.23.05 / В. В. Бабицкий ; БНТУ. – Минск, 2004. – 370 с.
- 3 **Васильев, А. А.** Карбонизация и оценка поврежденности железобетонных конструкций : [монография] / А. А. Васильев. – Гомель : БелГУТ, 2012. – 263 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. ст. Междунар. науч.-практ. конф. – Пенза : МЦНС «Наука и Просвещение». – 2023. – С. 21–24.
- 8 **Васильев, А. А.** Оценка и прогнозирование технического состояния железобетонных конструкций с учетом карбонизации бетона : [монография] / А. А. Васильев. – Гомель : БелГУТ, 2019. – 215 с.

УДК 711.11

**РОЛЬ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ  
В ГОРОДСКОМ ПЛАНИРОВАНИИ И АНАЛИЗЕ  
ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ДИНАМИКИ ГОРОДСКИХ РАЙОНОВ**

*Ю. М. КАЛИНИНА*

*Научный руководитель – А. В. Евстратенко (канд. архитектуры, доцент)  
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Городское планирование и анализ пространственной динамики городских районов являются важными инструментами для эффективного и устойчивого