

тановил на валах 146 орудий. Таким образом, Бобруйская крепость стала опорным пунктом русских войск во время восстания.

Строительство Бобруйской крепости полностью завершилось только в 1836 году. Император Николай I считал её одной из лучших в Европе [1, 2].

Артиллерийское вооружение крепости в 1847 г. состояло из 27 24-фунтовых и 28 6-фунтовых пушек и 53 24-фунтовых коронад. Гарнизон исчислялся в 13,5 тыс. человек.

Уже к моменту завершения постройки крепость находилась далеко от границы. Поэтому она быстро утратила значение в системе обороны государства и не подвергалась модернизации. С появлением нарезной артиллерии и развитием фортификации выявились такие недостатки Бобруйской крепости, как наличие крупного населенного пункта перед крепостной оградой, отсутствие фортового пояса, естественных преград и путей отхода.

В 1868 г. крепость была перечислена во 2-й класс. В скором времени через территорию Бобруйской крепости проложили Либаво-Роменскую железную дорогу, тем самым разделив цитадель на две части. В 1886 г. Бобруйская крепость была переведена в статус крепости-склада.

Список литературы

- 1 Яковлев, В. В. История крепостей / В. В. Яковлев. – М. : АСТ, 2000. – 400 с.
- 2 Скрыпка, М. Цытадэль над Бярэзінай / М. Скрыпка // Помнікі гісторыі і культуры Беларусі. – Минск. – 1987. – № 4. – С. 18–19.

УДК 666.972

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНОГО СОДЕРЖАНИЯ ЦЕМЕНТА ДЛЯ БЕТОНА КЛАССА ПО ПРОЧНОСТИ НА СЖАТИЕ $C^{20}/_{25}$

А. А. ВАСИЛЬЕВ, К. Э. АГЕЕВА, Ю. К. КАБЫШЕВА, В. А. ДОЛЯ
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Предельная величина карбонизации бетона (ПВК) определяет максимальную карбонизируемость бетона (в любом сечении) при условии полной гидратации цемента ($\alpha = 1$). Значения ПВК находятся по известному содержанию компонентов бетонной смеси [1].

Определение ПВК является основой для создания системы расчетно-экспериментальных зависимостей изменения карбонизации во времени по сечению бетона [2].

Ранее, в [3] были получены выражения для определения ПВК для подвижных

$$\text{ПВК} = (-0,0003R + 0,0842)Ц + (0,1143R + 0,6864) \quad (1)$$

и жестких смесей

$$\text{ПВК} = (-0,0004R + 0,1161)\text{Ц} + (0,1015R + 5,316), \quad (2)$$

где R – отпускная прочность бетона, %; Ц – содержание цемента, $\text{кг}/\text{м}^3$.

В полученных зависимостях присутствуют две неизвестных. И если отпускная прочность бетона колеблется в пределах 70–100 % (причем для любого класса бетона по прочности на сжатие), то содержание цемента ($306\text{--}558 \text{ кг}/\text{м}^3$ для бетона класса по прочности $\text{C}^{20}/_{25}$ при $R = 70\text{...}100$ %) зависит от отпускной прочности бетона (для $R = 70$ % $\text{Ц} = 306\text{...}428 \text{ кг}/\text{м}^3$; $R = 80$ % $\text{Ц} = 331\text{...}470 \text{ кг}/\text{м}^3$; $R = 90$ % $\text{Ц} = 357\text{...}513 \text{ кг}/\text{м}^3$; $R = 100$ % $\text{Ц} = 389\text{...}558 \text{ кг}/\text{м}^3$).

Представляет интерес получить зависимость $\text{ПВК} = f(R, M)$, в которой будет учтена зависимость $\text{Ц}_p = f(M)$, т. е. определить расчетное содержание цемента Ц_p .

На основании анализа оценки количества используемого цемента в зависимости от значений осадки конуса (для марок смесей по удобоукладываемости П1–П5) была получена зависимость расчетного содержания цемента от осадки конуса (ОК).

В общем виде зависимость $\text{Ц}_p = f(M)$ для любого граничного значения отпускной прочности бетона

$$\text{Ц}_p = k_1 M^2 + k_2 M + k_3, \quad (3)$$

где $k_1\text{--}k_3$ – коэффициенты, аппроксимирующие полиномиальную зависимость;

M – осадка конуса для подвижных смесей, см; $k_1, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3 \cdot \text{см}^2}$; $k_2, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3 \cdot \text{см}}$, $k_3, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

Здесь

$$k_1 = k_4 R + k_5; \quad (4)$$

$$k_2 = k_6 R + k_7; \quad (5)$$

$$k_3 = k_8 R + k_9, \quad (6)$$

где $k_4\text{--}k_9$ – коэффициенты, аппроксимирующие линейную зависимость; $k_4,$

$\frac{\text{кг}}{\text{м}^3 \cdot \text{см}^2 \cdot \%}$; $k_5, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3 \cdot \text{см}^2}$; $k_6, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3 \cdot \text{см} \cdot \%}$; $k_7, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3 \cdot \text{см}}$; $k_8, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3 \cdot \%}$; $k_9, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

Так, для подвижных смесей марки по удобоукладываемости П1–П5, для отпускной прочности бетона

$$70 \% \quad \text{Ц}_p = -0,3011M^2 + 14,19M + 345,1; \quad (7)$$

$$80 \% \quad \text{Ц}_p = -0,3287M^2 + 15,44M + 374,7; \quad (8)$$

$$90 \% \quad \text{Ц}_p = -0,3566M^2 + 16,81M + 410,4; \quad (9)$$

$$100 \% \quad \text{Ц}_p = -0,3875M^2 + 18,27M + 447,1. \quad (10)$$

Путем математической обработки были получены коэффициенты $k_1\text{--}k_3$.

Значения коэффициентов k_1-k_3 :

$$k_1 = -0,029R - 0,0994; \quad (11)$$

$$k_2 = -0,1362R + 4,600; \quad (12)$$

$$k_3 = -3,418R + 103,8. \quad (13)$$

Таким образом, для бетона класса по прочности $C^{20/25}$ бетонных смесей марки по удобоукладываемости П1-П5

$$\sigma_p = (-0,0029R - 0,0994)M^2 + (-0,1362R + 4,600)M + (-3,418R + 103,8). \quad (14)$$

С учетом того, что подавляющее большинство железобетонных элементов (ЖБЭ) выполняется из подвижных смесей марки по удобоукладываемости П1 (ОК = 3, 4 см) из жестких смесей – Ж1 (5...10 с) Ж2 (11...20 с), можно получить укрупненную зависимость $\sigma_p = f(R)$.

Для подвижных смесей (П1, ОК = 4 см)

$$\sigma_p = -4,0092R + 120,6. \quad (15)$$

Аналогично можно получить зависимости $\sigma_p = f(R, S)$ для жестких смесей.

Так, для жестких смесей марок по удобоукладываемости Ж1–Ж4

$$\begin{aligned} \sigma_p = (3 \cdot 10^{-6} R^3 - 0,0008R^2 + 0,0726R + 2,0437)S^2 + (0,0001R^3 + \\ + 0,0359R^2 - 3,154R + 89,24)S + (3,750R + 108,97), \end{aligned} \quad (16)$$

где S – время вибрации для жестких смесей, с.

Укрупненная зависимость $\sigma_p = f(R)$:

– для жестких смесей (Ж1, $S_{cp} = 8$ с)

$$\sigma_p = 0,0010R^3 + 0,236R^2 - 16,84R + 953,7; \quad (17)$$

– для жестких смесей (Ж2, $S_{cp} = 15$ с)

$$\sigma_p = 0,0022R^3 + 0,3585R^2 - 27,23R + 1907. \quad (18)$$

Результаты исследований позволяют использовать их при расчете σ_p для любого класса бетона по прочности на сжатие, что значительно упростит на практике расчеты предельной величины карбонизации бетона.

Список литературы

1 Анализ предельной величины карбонизации бетона для различных классов бетона по прочности на сжатие / А. А. Васильев [и др.] // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2022. – № 1 (44). – С. 88–90.

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 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 : Наука и Просвещение, 2023. – С. 21–24.