

УДК 624.012.45/.46.62-192

РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ИЗМЕНЕНИЯ ВО ВРЕМЕНИ КАРБОНАТНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ В ЗОНЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ СТАЛЬНОЙ АРМАТУРЫ

ВАСИЛЬЕВ АЛЕКСАНДР АНАТОЛЬЕВИЧ

к.т.н., доцент

КАБЫШЕВА ЮЛИЯ КОНСТАНТИНОВНА

магистр т.н.

УО «Белорусский государственный университет транспорта», г. Гомель

Аннотация: С учетом результатов длительных исследований развития карбонизации (на базе разработанных собственных методик) во времени и по сечению бетонов различных классов по прочности на сжатие, получены расчетно-экспериментальные зависимости изменения во времени карбонатной составляющей в зоне расположения стальной арматуры для бетонов различных классов по прочности на сжатие, различных марок бетонных смесей по удобоукладываемости и эксплуатационных условий.

Ключевые слова: карбонизация бетона, карбонатная составляющая, эксплуатационные условия.

COMPUTATIONAL AND EXPERIMENTAL DEPENDENCE TIME VARIATION OF CARBONATE COMPONENT IN STEEL REINFORCEMENT AREA

Vasiljev Alexander Anatoljevich,
Kabysheva Yuliya Konstantinovna

Abstract: Taking into account the results of long-term studies of the development of carbonization (on the basis of developed own methods) over time and over the cross-section of concretes of different compressive strength classes, calculated and experimental dependencies of changes in carbonate composition over time in the area of location of steel reinforcement for concretes of different compressive strength classes, different grades of concrete mixtures by workability and operational conditions were obtained.

Keywords: carbonization of concrete, carbonate component, operating conditions.

Изучение процесса карбонизации бетона на основе определения и оценки карбонатной составляющей (показателя КС), на сегодня, – единственный способ объективной оценки и прогнозирования одного из самых распространенных коррозионных повреждений бетона [1].

Для установления зависимости изменения во времени показателя КС в зоне расположения стальной арматуры исследовали бетон колонн, эксплуатировавшихся длительные сроки в различных воздушных средах в зоне расположения стальной (рабочей) арматуры. Были получены области значений изменения во времени значений показателя КС, для различных классов бетона по прочности на сжатие и эксплуатационных условий [2]. Для получения регрессионных зависимостей рассматривали самые распространенные эксплуатационные условия: помещений сельскохозяйственных зданий (СХ), общественных зданий и производственных с неагрессивной эксплуатационной средой (ОПЗ) и откры-

той атмосферы (А), зоны с обычной (О) и ускоренной карбонизацией (У) [2].

Исследование бетона колонн: отбор образцов путем высверливания, приготовление проб цементно-песчаной фракции бетона и определение значений показателя КС, выполняли в соответствии с [3].

Полученная расчетно-экспериментальная зависимость изменения во времени карбонатной составляющей в зоне расположения стальной арматуры [4]:

$$КС_{\text{в}} = \alpha_1 + \alpha_2 \sqrt{t}, \quad (1)$$

где α_1 – коэффициент, определяющий начальную карбонизацию, %; α_2 – коэффициент прироста карбонизации во времени, %/лет^{1/2}.

Для всех рассмотренных 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]. Путем математической обработки коэффициентов α_1 и α_2 выведены зависимости их значений от количества использованного цемента.

Полученные зависимости $КС_{\text{в}} = f(\text{Ц}, t)$ для различных эксплуатационных условий представлены в таблице 1.

Таблица 1

Зависимость $КС_{\text{в}} = f(\text{Ц}, t)$ для различных эксплуатационных условий

| Условия эксплуатации | Зависимость $КС_{\text{в}} = f(\text{Ц}, t)$ |
|----------------------|---|
| СХ О | $0,0088\text{Ц} + 1,063 + (-0,0008\text{Ц} + 0,7932)\sqrt{t}$ |
| СХ У | $0,0088\text{Ц} + 1,058 + (-0,0010\text{Ц} + 1,364)\sqrt{t}$ |
| ОПЗ О | $0,0088\text{Ц} + 1,058 + (-0,0010\text{Ц} + 0,5240)\sqrt{t}$ |
| ОПЗ У | $0,0089\text{Ц} + 1,030 + (-0,0012\text{Ц} + 1,138)\sqrt{t}$ |
| А О | $0,0089\text{Ц} + 1,034 + (-0,0009\text{Ц} + 0,8730)\sqrt{t}$ |
| А У | $0,0088\text{Ц} + 1,065 + (-0,0011\text{Ц} + 1,199)\sqrt{t}$ |

Для возможности прогнозирования карбонизации во времени, значения $КС_{\text{в}}$ (для наиболее часто выпускаемых сборных железобетонных изделий) получали с учетом расчетных значений содержания цемента (Ц_p): для жестких смесей марок по удобоукладываемости Ж1 и Ж2 (для средних значений «Ц»), и подвижных смесей (П1) – для значений «Ц», соответствующих верхней границе осадки конуса (ОК = 4 см).

Математической обработкой, с учетом расчетных значений цемента, выведены расчетно-экспериментальные зависимости $КС_{\text{в}} = f(\text{Ц}_p, t)$ для классов бетона по прочности на сжатие $C^{12/15}-C^{50/60}$ (смесей марок по удобоукладываемости П1, Ж1 и Ж2) и рассматриваемых условий эксплуатации.

В таблице 2 представлены прогнозные расчетно-экспериментальные зависимости $КС_{\text{в}} = f(\text{Ц}_p, t)$ для различных классов бетона по прочности на сжатие подвижных смесей марки по удобоукладываемости П1 и различных условий эксплуатации.

Для возможности прогнозирования показателя КС в широком диапазоне бетонов методами математической обработки коэффициентов α_1 и α_2 получены зависимости их изменения от гарантированной прочности бетона на сжатие для бетонных смесей различных марок по удобоукладываемости.

Прогнозные зависимости изменения показателя КС в зоне расположения стальной арматуры для классов бетона по прочности на сжатие $C^{12/15}-C^{50/60}$ бетонных смесей марки по удобоукладываемости П1 и различных эксплуатационных условий приведены в таблице 3.

Предложенные зависимости позволяют прогнозировать изменение во времени карбонатной составляющей основных (массово применяемых) бетонов, для расчетного содержания цемента, смесей марок по удобоукладываемости П1, Ж1 и Ж2, различных условий эксплуатации.

Таблица 2

Расчетно-экспериментальные зависимости $K_{CB} = f(C_p, t)$ для классов бетона по прочности на сжатие $C^{12/15}-C^{50/60}$ подвижных смесей марки по удобоукладываемости П1

| Класс бетона по прочности на сжатие | Зависимость $K_{CB} = f(C_p, t)$ | | | | | |
|-------------------------------------|----------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | Условия эксплуатации | | | | | |
| | СХ О | СХ У | ОПЗ О | ОПЗ У | А О | А У |
| $C^{12/15}$ | $2,94+0,623\sqrt{t}$ | $2,93+1,15\sqrt{t}$ | $2,93+0,311\sqrt{t}$ | $2,93+0,882\sqrt{t}$ | $2,93+0,681\sqrt{t}$ | $2,94+0,965\sqrt{t}$ |
| $C^{16/20}$ | $3,48+0,573\sqrt{t}$ | $3,48+1,09\sqrt{t}$ | $3,48+0,249\sqrt{t}$ | $3,48+0,808\sqrt{t}$ | $3,48+0,626\sqrt{t}$ | $3,48+0,896\sqrt{t}$ |
| $C^{18/22,5}$ | $3,75+0,549\sqrt{t}$ | $3,74+1,06\sqrt{t}$ | $3,74+0,219\sqrt{t}$ | $3,74+0,772\sqrt{t}$ | $3,75+0,599\sqrt{t}$ | $3,75+0,863\sqrt{t}$ |
| $C^{20/25}$ | $4,00+0,526\sqrt{t}$ | $4,00+1,03\sqrt{t}$ | $4,00+0,190\sqrt{t}$ | $4,00+0,737\sqrt{t}$ | $4,01+0,572\sqrt{t}$ | $4,00+0,832\sqrt{t}$ |
| $C^{22/27,5}$ | $4,27+0,502\sqrt{t}$ | $4,26+1,00\sqrt{t}$ | $4,26+0,160\sqrt{t}$ | $4,27+0,701\sqrt{t}$ | $4,27+0,545\sqrt{t}$ | $4,27+0,799\sqrt{t}$ |
| $C^{25/30}$ | $4,56+0,476\sqrt{t}$ | $4,55+0,967\sqrt{t}$ | $4,55+0,127\sqrt{t}$ | $4,56+0,661\sqrt{t}$ | $4,57+0,516\sqrt{t}$ | $4,56+0,762\sqrt{t}$ |
| $C^{28/35}$ | $5,15+0,422\sqrt{t}$ | $5,14+0,900\sqrt{t}$ | $5,14+0,060\sqrt{t}$ | $5,16+0,581\sqrt{t}$ | $5,16+0,455\sqrt{t}$ | $5,15+0,689\sqrt{t}$ |
| $C^{30/37}$ | $5,37+0,401\sqrt{t}$ | $5,37+0,874\sqrt{t}$ | $5,37+0,034\sqrt{t}$ | $5,39+0,550\sqrt{t}$ | $5,40+0,432\sqrt{t}$ | $5,38+0,660\sqrt{t}$ |
| $C^{32/40}$ | $5,72+0,370\sqrt{t}$ | $5,71+0,835\sqrt{t}$ | $5,71-0,005\sqrt{t}$ | $5,72+0,370\sqrt{t}$ | $5,74+0,397\sqrt{t}$ | $5,72+0,617\sqrt{t}$ |
| $C^{35/45}$ | $6,27+0,320\sqrt{t}$ | $6,27+0,772\sqrt{t}$ | $6,27-0,068\sqrt{t}$ | $6,27+0,320\sqrt{t}$ | $6,30+0,340\sqrt{t}$ | $6,27+0,548\sqrt{t}$ |
| $C^{40/50}$ | $6,82+0,270\sqrt{t}$ | $6,81+0,710\sqrt{t}$ | $6,81-0,130\sqrt{t}$ | $6,85+0,353\sqrt{t}$ | $6,86+0,284\sqrt{t}$ | $6,82+0,480\sqrt{t}$ |
| $C^{45/55}$ | $7,35+0,222\sqrt{t}$ | $7,34+0,650\sqrt{t}$ | $7,34-0,190\sqrt{t}$ | $7,38+0,281\sqrt{t}$ | $7,39+0,230\sqrt{t}$ | $7,35+0,414\sqrt{t}$ |
| $C^{50/60}$ | $7,87+0,174\sqrt{t}$ | $7,87+0,590\sqrt{t}$ | $7,87-0,250\sqrt{t}$ | $7,92+0,209\sqrt{t}$ | $7,92+0,176\sqrt{t}$ | $7,88+0,348\sqrt{t}$ |

Таблица 3

Расчетно-экспериментальные зависимости $K_{CB} = f(f_{c,cube}^G, t)$ для подвижных смесей марки по удобоукладываемости П1

| Условия эксплуатации | Зависимость $K_{CB} = f(f_{c,cube}^G)$ |
|---------------------------------------|---|
| Смеси марки по удобоукладываемости П1 | |
| СХ О | $0,1108f_{c,cube}^G + 1,259 + (-0,0101f_{c,cube}^G + 0,7756)\sqrt{t}$ |
| СХ У | $0,1108f_{c,cube}^G + 1,251 + (-0,0126f_{c,cube}^G + 1,342)\sqrt{t}$ |
| ОПЗ О | $0,1108f_{c,cube}^G + 1,251 + (-0,0126f_{c,cube}^G + 0,5020)\sqrt{t}$ |
| ОПЗ У | $0,1121f_{c,cube}^G + 1,226 + (-0,0151f_{c,cube}^G + 1,111)\sqrt{t}$ |
| А О | $0,1121f_{c,cube}^G + 1,230 + (-0,0113f_{c,cube}^G + 0,8536)\sqrt{t}$ |
| А У | $0,1109f_{c,cube}^G + 1,256 + (-0,0138f_{c,cube}^G + 1,175)\sqrt{t}$ |
| Смеси марки по удобоукладываемости Ж1 | |
| СХ О | $0,0988f_{c,cube}^G + 1,286 + (-0,0090f_{c,cube}^G + 0,7727)\sqrt{t}$ |
| СХ У | $0,0988f_{c,cube}^G + 1,282 + (-0,0112f_{c,cube}^G + 1,339)\sqrt{t}$ |
| ОПЗ О | $0,0988f_{c,cube}^G + 1,282 + (-0,0112f_{c,cube}^G + 0,4990)\sqrt{t}$ |
| ОПЗ У | $0,0998f_{c,cube}^G + 1,258 + (-0,0135f_{c,cube}^G + 1,107)\sqrt{t}$ |
| А О | $0,0999f_{c,cube}^G + 1,261 + (-0,0101f_{c,cube}^G + 0,8503)\sqrt{t}$ |
| А У | $0,0988f_{c,cube}^G + 1,290 + (-0,0123f_{c,cube}^G + 1,171)\sqrt{t}$ |
| Смеси марки по удобоукладываемости Ж2 | |
| СХ О | $0,0934f_{c,cube}^G + 1,301 + (-0,0085f_{c,cube}^G + 0,7716)\sqrt{t}$ |
| СХ У | $0,0933f_{c,cube}^G + 1,301 + (-0,0106f_{c,cube}^G + 1,337)\sqrt{t}$ |

| Условия эксплуатации | Зависимость $KС_{\text{в}} = f(f_{c,\text{cube}}^G)$ |
|----------------------|--|
| ОПЗ О | $0,0934 f_{c,\text{cube}}^G + 1,299 + (-0,0106 f_{c,\text{cube}}^G + 0,4967) \sqrt{t}$ |
| ОПЗ У | $0,0945 f_{c,\text{cube}}^G + 1,271 + (-0,0127 f_{c,\text{cube}}^G + 1,105) \sqrt{t}$ |
| АО | $0,0945 f_{c,\text{cube}}^G + 1,272 + (-0,0096 f_{c,\text{cube}}^G + 0,8487) \sqrt{t}$ |
| АУ | $0,0934 f_{c,\text{cube}}^G + 1,305 + (-0,0117 f_{c,\text{cube}}^G + 1,169) \sqrt{t}$ |

Использование полученных зависимостей в моделях карбонизации даст возможность значительно повысить их качество и объективность. Кроме того, повысить объективность оценки и прогнозирования долговечности и остаточного ресурса ЖБЭ, эксплуатирующихся в различных атмосферных условиях.

Список источников

1. Васильев, А. А. Карбонизация бетона (оценка и прогнозирование) : [мо-нография] / А. А. Васильев ; Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2013. – 303 с.
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. Экспресс-метод определения карбонатной составляющей цементно-песчаной фракции бетона / А. А. Васильев // сб. статей XXII Международной научно-практической конференции. – Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение». –2019.– С. 29–34.
4. 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.