

УДК 691.32.001.5

А. А. ВАСИЛЬЕВ, кандидат технических наук, Д. Н. ШЕВЧЕНКО, кандидат технических наук, Е. О. АДАРЧЕНКО, магистрант, Л. В. ПЛИКУС, магистрант, Н. В. БАБОК, студентка, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

МОДЕЛЬ ИЗМЕНЕНИЯ ЩЕЛОЧНОСТИ ПОРОВОЙ ЖИДКОСТИ ПО СЕЧЕНИЮ БЕТОНА ДЛЯ АГРЕССИВНЫХ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

По результатам лабораторных исследований образцов бетона железобетонных элементов (ЖБЭ), эксплуатируемых в различных по степени агрессивности условиях сельскохозяйственных зданий, получены регрессионные зависимости изменения щелочности поровой жидкости (показателя рН) в зоне расположения стальной арматуры. На их основании, с учетом полученных ранее регрессионных зависимостей изменения показателя рН по сечению образцов бетона, изготовленных в заводских условиях с применением тепловлажностной обработки (ТВО), предложены модели изменения щелочности поровой жидкости во времени по сечению бетонов различных классов по прочности на сжатие для разной степени агрессивности воздушной среды сельскохозяйственных зданий.

Введение. Долговечность ЖБЭ определяется количеством времени, которое бетон защитного слоя в зоне расположения арматуры сохраняет свои защитные свойства по отношению к стальной арматуре. Способность бетона сохранять защитные свойства по отношению к стальной арматуре определяется щелочностью поровой жидкости (показателем рН). С развитием карбонизации (основного вида коррозии бетона в воздушной среде) бетон нейтрализуется, что приводит к снижению, а затем и полной потере им защитных свойств по отношению к стальной арматуре, способствуя развитию во времени коррозии стальной арматуры различной степени интенсивности.

Сразу после изготовления тяжелого бетона в образующейся щелочной среде цементного бетона стальная арматура пассивируется. Щелочность защитного слоя бетона под действием агрессивных факторов воздушной среды постепенно снижается. Поскольку арматурная сталь, как и контактирующая с ней среда, неоднородны по структуре, то это создает необходимые условия для протекания коррозии, и после достижения определенного граничного значения рН (в соответствии с электрохимическими исследованиями авторов [1]) коррозия стали начинается уже при $\text{pH} \leq 11,8$ в арматуре начинаются окислительные процессы. Инкубационный период (период нахождения арматуры в пассивном состоянии) будет тем продолжительнее (для одинаковых условий эксплуатации), чем выше начальная величина показателя щелочности поровой жидкости бетона в зоне расположения арматуры [2].

Начальная величина показателя рН зависит от многих факторов: В/Ц, количества использованного цемента, режима твердения и др. Исследования различных авторов показывают, что сразу после изготовления бетона создается высокая щелочность поровой жидкости, в присутствии кислорода образуется микроскопически тонкий слой оксида железа на поверхности стали, который предохраняет сталь от анодного растворения.

Грин [3] показал, что в начальных стадиях гидратации цемента жидкая фаза имеет рН от 12,6 до 12,9. Тесто высокощелочных цементов через 1 ч после затворения имеет рН около 13,2 и может достигать 13,45.

Исследованиями авторов [4] доказано, что значения показателя рН поровой жидкости свежего бетона изменяются от 13,0 до 13,8.

В соответствии с [5] значения рН поровой влаги находятся в пределах 12,5–13,5 в зависимости от вида и качества цемента, вида и количества добавок, что выше рН насыщенного раствора $\text{Ca}(\text{OH})_2$, который при 25 °С равен 12,6. Высокая щелочность бетона объясняется наличием $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и гидроксидов щелочных металлов (NaOH, KOH).

На сегодняшний день нет единого мнения о том, при какой величине показателя рН наступает коррозия стали. В различных источниках ее значение колеблется от 8,5 до 10,5 [4]. Кроме того, в печати отсутствуют данные об изучении распределения показателя щелочности поровой жидкости по сечению бетона, что не позволяет оценивать и прогнозировать во времени состояние защитных свойств бетона по отношению к стальной арматуре в зависимости от толщины защитного слоя бетона (расположения арматуры).

Основная часть. Для построения модели изменения во времени по сечению бетона показателя щелочности поровой жидкости исследовали изменение показателя рН по сечению образцов бетонов различных классов по прочности на сжатие сразу после его изготовления с применением ТВО, и изменение показателя рН во времени в защитном слое бетона в зоне расположения стальной арматуры ЖБЭ, эксплуатируемых длительные сроки в условиях сельскохозяйственных зданий.

Результаты исследования изменения щелочности поровой жидкости показателя рН по сечению образцов бетонов различных классов по прочности на сжатие сразу после его изготовления с применением ТВО приведены в [6]. Полученные на их основании регрессионные зависимости изменения щелочности поровой жидкости по сечению бетона представлены в таблице 1.

В результате многолетних исследований бетона защитного слоя различных типов ЖБЭ, эксплуатировавшихся длительные сроки в условиях сельскохозяйственных зданий, была получена обширная область изменения во времени значений рН в зоне расположения арматуры.

Изучение области рН выполняли аналогично исследованию карбонатной составляющей [2]. Исследовали

конечную выборку значений рН из 120 точек для различных классов бетона по прочности ($C^{16}/_{20} - C^{25}/_{30}$) и толщин защитного слоя (5–25 мм) с учетом усредненного значения начальной щелочности $pH_0 = 12,25$ для вышеприведенных классов бетона по прочности.

Таблица 1 – Регрессионные зависимости изменения показателя pH_0 по сечению бетона сразу после ТВО

Класс бетона по прочности на сжатие	Уравнение регрессии
$C^{12}/_{15}$	$pH(t) = 12,21 - 7,09e^{-\left(\frac{t+15}{3,00}\right)^{0,6}}$
$C^{16}/_{20}$	$pH(t) = 12,26 - 8,24e^{-\left(\frac{t+15}{2,80}\right)^{0,65}}$
$C^{18}/_{22,5}$	$pH(t) = 12,31 - 9,99e^{-\left(\frac{t+12}{3,00}\right)^{0,70}}$
$C^{20}/_{25}$	$pH(t) = 12,36 - 7,49e^{-\left(\frac{t+15}{2,70}\right)^{0,60}}$
$C^{25}/_{30}$	$pH(t) = 12,41 - 7,00e^{-\left(\frac{t+15}{2,70}\right)^{0,60}}$
$C^{30}/_{37}$	$pH(t) = 12,44 - 8,00e^{-\left(\frac{t+15}{2,95}\right)^{0,65}}$

Для уточнения скорости изменения показателя щелочности поровой жидкости исследовали зоны с обычной и ускоренной карбонизацией [2], при этом для каждой зоны:

- начальное изменение щелочности поровой жидкости (pH_0) определяли для усредненной толщины защитного слоя $l = 15$ мм, поскольку в исследуемых областях значения рН определяли для толщин защитного слоя 5–25 мм;

- исследовали всю область значений рН в каждой отдельной зоне для определения регрессионной зависимости рН ($t, l = 15$) для усредненных значений рН;

- принимали, что значения рН для бетонов классов по прочности $C^{16}/_{20}$ и $C^{18}/_{22,5}$ лежат ниже регрессионной зависимости рН ($t, l = 15$) для усредненных значений рН («низкомарочный» бетон карбонизируется быстрее), классов по прочности $C^{20}/_{25}$ и $C^{25}/_{30}$ – выше средней линии;

- строили регрессионную зависимость рН ($t, l = 15$) для усредненных значений рН для каждой пары бетонов, принимали, что область значений выше средней линии, определяемой регрессионной зависимостью рН ($t, l = 15$), принадлежит более «высокомарочному» бетону.

Суммарная регрессионная зависимость рН ($t, l = 15$) для различных классов бетона по прочности и условий сельскохозяйственных помещений для области ускоренной карбонизации приведена на рисунке 1, области обычной карбонизации – на рисунке 2.

Модель изменения показателя рН в зоне расположения стальной арматуры во времени для постоянного значения толщины защитного слоя

$$pH(t/l = \text{const}) = \alpha_0 + \alpha_1 \sqrt{t}, \quad (1)$$

где α_0 – показатель начальной щелочности поровой жидкости; α_1 – показатель скорости изменения щелочности поровой жидкости; t – величина прогнозного периода, лет.

Параметры α_i ($i = 0, 1$) линейной функции регрессии (1) определяли по экспериментальным данным методом наименьших квадратов.

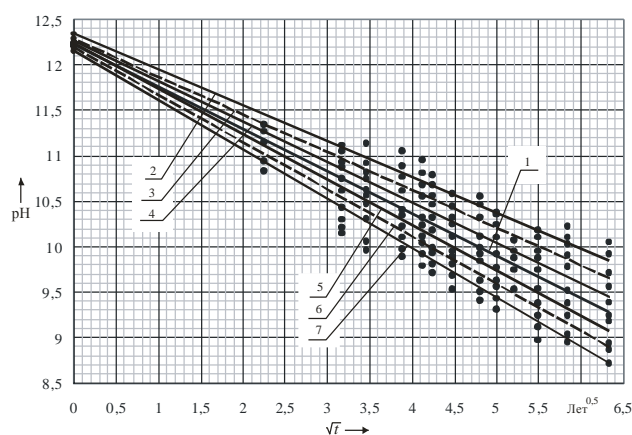


Рисунок 1 – Регрессионная зависимость $\sqrt{t} - pH$ для условий сельскохозяйственных зданий и области ускоренной карбонизации: 1 – общая для области ускоренной карбонизации; 2 – бетон класса $C^{25}/_{30}$; 3 – усредненная для бетонов классов по прочности $C^{20}/_{25}$ и $C^{25}/_{30}$; 4 – бетон класса $C^{20}/_{25}$; 5 – бетон класса $C^{18}/_{22,5}$; 6 – средняя для бетонов классов по прочности $C^{16}/_{20}$ и $C^{18}/_{22,5}$; 7 – бетон класса $C^{16}/_{20}$

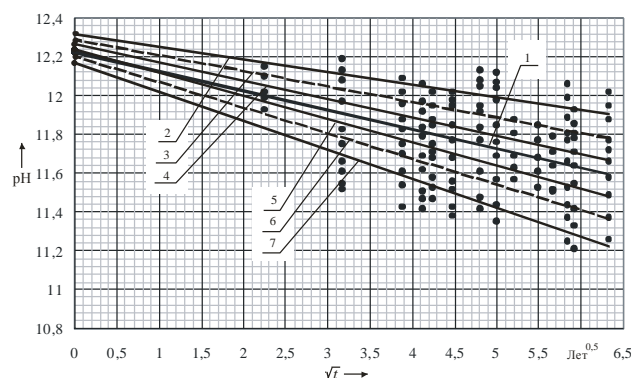


Рисунок 2 – Регрессионная зависимость $\sqrt{t} - pH$ для условий сельскохозяйственных зданий и области обычной карбонизации: 1 – общая для области ускоренной карбонизации; 2 – бетон класса $C^{25}/_{30}$; 3 – усредненная для бетонов классов по прочности $C^{20}/_{25}$ и $C^{25}/_{30}$; 4 – бетон класса $C^{20}/_{25}$; 5 – бетон класса $C^{18}/_{22,5}$; 6 – средняя для бетонов классов по прочности $C^{16}/_{20}$ и $C^{18}/_{22,5}$; 7 – бетон класса $C^{16}/_{20}$

Исследования карбонизации длительно эксплуатируемых ЖБЭ в зоне расположения стальной арматуры с учетом начальных значений щелочности поровой жидкости для различных классов бетона по прочности позволили получить регрессионные зависимости изменения показателя щелочности поровой жидкости бетона в условиях различной агрессивности воздушных сред (таблица 2).

Таблица 2 – Регрессионные зависимости изменения показателя рН в защитном слое бетона

Класс бетона по прочности на сжатие	Область карбонизации	
	ускоренной	обычной
$C^{12}/_{15}$	$pH = 12,08 - 0,56\sqrt{t}$	$pH = 12,08 - 0,17\sqrt{t}$
$C^{16}/_{20}$	$pH = 12,16 - 0,54\sqrt{t}$	$pH = 12,16 - 0,15\sqrt{t}$
$C^{18}/_{22,5}$	$pH = 12,24 - 0,50\sqrt{t}$	$pH = 12,4 - 0,12\sqrt{t}$
$C^{20}/_{25}$	$pH = 12,28 - 0,45\sqrt{t}$	$pH = 12,28 - 0,09\sqrt{t}$
$C^{25}/_{30}$	$pH = 12,31 - 0,39\sqrt{t}$	$pH = 12,31 - 0,07\sqrt{t}$
$C^{30}/_{37}$	$pH = 12,37 - 0,34\sqrt{t}$	$pH = 12,37 - 0,05\sqrt{t}$

Поскольку показатель рН определяли в ЖБЭ, измеренная прочность бетона в которых соответствовала классам бетона по прочности $C^{16/20} - C^{25/30}$, для классов бетона по прочности $C^{12/15}$ и $C^{30/37}$ регрессионную зависимость изменения показателя рН в защитном слое бетона для различных условий эксплуатации получали из анализа регрессионных зависимостей ($t, l = 15$) для бетонов классов по прочности $C^{16/20} - C^{25/30}$ методом интерполяции.

Полученные регрессионные зависимости показывают, что скорость изменения защитных свойств бетона по отношению к стальной арматуре (показателя рН) независимо от степени агрессивности эксплуатационной среды зависит от класса бетона по прочности (количества использованного цемента).

При построении модели изменения щелочности поровой жидкости во времени по сечению бетона использовали данные натуральных исследований по сечению бетонов различных классов по прочности для различных возрастов ЖБЭ и изменения показателя рН во времени в зоне расположения стальной арматуры для различных классов бетона по прочности.

За базовое значение принята толщина защитного слоя бетона $l = 15$ мм, а изменение показателя рН во времени для каждого класса бетона по прочности принимали по регрессионным зависимостям рН ($t, l = 15$).

Начальное значение показателя рН₀ по всему сечению бетона принимали по зависимостям $l - рН_0$, полученным для бетонов различных классов по прочности сразу после изготовления с применением ТВО.

Значения рН_{l=100} на максимальной исследуемой глубине ($l = 100$ мм) для условий максимальной карбонизации принимали по результатам натуральных исследований для класса бетона по прочности $C^{16/20}$ и возраста 40 лет. На основании экспериментальных результатов использовали следующее допущение: отношение скоростей изменения щелочности поровой жидкости на «бесконечной» глубине бетона пропорционально отношению скоростей в поверхностных слоях.

Значения рН_{l=100} для остальных классов бетона по прочности принимали пропорционально из зависимости $[рН(t = 0, l) - рН(t = 40, l)]$ с учетом данных регрессионных зависимостей рН ($t, l = 15$).

Для описания зависимости изменения показателя щелочности поровой жидкости по сечению бетона в [1] предложено пятипараметрическое семейство уравнений

$$рН(l) = \beta_0 + \beta_1 \exp\left(-\left(\frac{l - \beta_2}{\beta_3}\right)^{\beta_4}\right). \quad (2)$$

Значения параметров $\beta_0 - \beta_4$ в уравнении (1) имеют следующий физический смысл: параметр β_0 определяет максимальное значение щелочности поровой жидкости бетона, % (на бесконечной глубине); $(\beta_0 + \beta_1)$ – определяет минимальное значение показателя щелочности поровой жидкости бетона, %; β_2 – глубина начала роста показателя щелочности, мм (как правило, $\beta_2 = 0$, но для успешной аппроксимации экспериментальных точек β_2 может принимать фиктивные значения в интервале (-10 мм; +3 мм)); параметры $\beta_3 > 0$ и $\beta_4 > 0$ характеризуют координату и значение точки перегиба функции рН(l).

При $\beta_0 = 1$ и $\beta_1 = -1$ функция рН(l) тождественна функции распределения Вейбулла-Гнеденко (рисунок 3) с соответствующими свойствами.

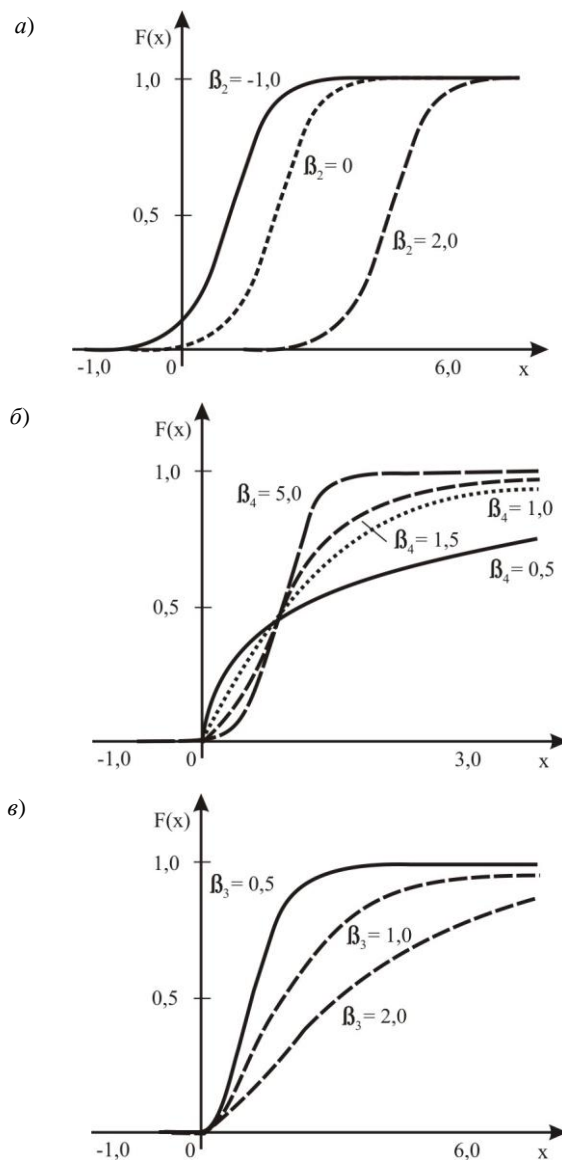


Рисунок 3 – Функция распределения Вейбулла-Гнеденко:
 а – $\beta_2 = -1,0; 0; 2,0; \beta_3 = 2,0; \beta_4 = 3,0;$
 б – $\beta_2 = 0; \beta_3 = 1,0; \beta_4 = 0,5; 1,0; 1,5; 5,0;$
 в – $\beta_2 = 0; \beta_3 = 0,5; 1,0; 2,0; \beta_4 = 1,5$

Влияние параметра β_3 приведено на рисунке 4, а β_4 – на рисунке 5.

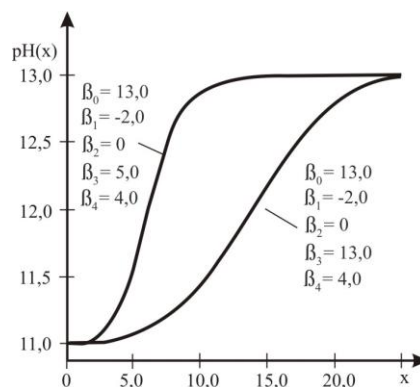


Рисунок 4 – Влияние параметра β_3 на изменение координаты точки перегиба функции рН(l)

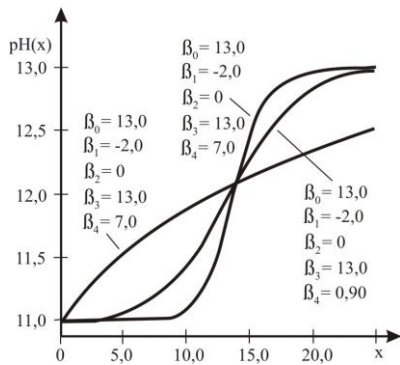


Рисунок 5 – Влияние параметра β_3 на изменение значения точки перегиба функции $pH(l)$

При $\beta_4 > 1$ уравнение функции (1) имеет точку перегиба, координатой которой удобно описывать скорость изменения щелочности поровой жидкости по сечению бетона. Координата (глубина) точки перегиба является решением уравнения $pH(l) = 0$ и определяется выражением

$$l = \beta_2 + \beta_3 \left(1 - \frac{1}{\beta_4} \right)^{\frac{1}{\beta_4}}, \beta_4 > 1. \quad (3)$$

Значение параметра pH в точке перегиба

$$pH(l) = \beta_0 + \beta_1 \exp \left[- \left(\frac{\beta_2 + \beta_3 \left(1 - \frac{1}{\beta_4} \right)^{\frac{1}{\beta_4}} - \beta_2}{\beta_3} \right)^{\beta_4} \right] = \beta_0 + \beta_1 \exp \left[- \left(\left(1 - \frac{1}{\beta_4} \right)^{\frac{1}{\beta_4}} \right)^{\beta_4} \right] = \beta_0 + \beta_1 \exp \left[- \left(1 - \frac{1}{\beta_4} \right) \right]. \quad (4)$$

Уравнение регрессии (2) нелинейно по параметрам $\beta_2, \beta_3, \beta_4$, поэтому их оценка (например, методом наименьших квадратов) связана с проблемами решения системы нелинейных уравнений: существование решения, поиск решения и наличие множества локальных решений. Единственным подходом видится численное решение задачи оценки параметров β_i с перебором всех их возможных значений для минимизации суммы квадратов отклонений экспериментальных точек от уравнения регрессии. Сложность реализации данного подхода заключается в следующем:

- наличие локальных минимумов суммы квадратов отклонений экспериментальных точек от уравнения регрессии, что обуславливает полный перебор всех возможных значений параметров;

- перебор всех возможных значений параметров с точностью каждого из них в 3 значащие цифры требует $(10^3)^5 = 10^{15}$ итераций (здесь 5 – количество оцениваемых параметров).

Однако удалось уменьшить количество перебираемых параметров до трех (β_2, β_3 и β_4), определяя значения других параметров (β_0, β_1) аналитически для заданных значений (β_2, β_3 и β_4). Таким образом, количество итераций удалось сократить до $(10^3)^3 = 10^9$, что требует нескольких минут машинного времени.

Полученная математическая модель изменения защитных свойств бетона и подход определения ее параметров позволит автоматизировать процедуру контроля и прогнозирования ресурса ЖБЭ и увеличить точность прогноза по сравнению с используемыми моделями (степенной функцией в пакете Excel и эвристической кривой).

Для получения зависимости изменения щелочности поровой жидкости во времени по сечению бетонов различных классов по прочности и дискретных значений времени (t) выдвигаем два следующих эвристических предположения о том, что:

- в каждый момент времени t уравнение регрессии $pH(t)$ описывается семейством уравнений (1);

- значения параметров уравнения регрессии (1) $\beta_0 - \beta_4$ являются функциями времени, независимыми между собой.

Функции $\beta_0(t), \beta_1(t), \beta_2(t), \beta_3(t), \beta_4(t)$ определяли методами регрессионного и корреляционного анализа на основе имеющейся статистической информации о значениях показателя pH в бетонах различных возрастов ($t = 0; 1; 5; 10; 20; 30; 40; 50; 100$ лет) на различных глубинах ($l = 2,5; 3; 4, \dots, 100$ мм).

Были оценены параметры уравнений регрессии $pH(l/t = 0), pH(l/t = 1), pH(l/t = 5), \dots, pH(l/t = 100)$.

Подбор функций $\beta_0(t), \beta_1(t), \beta_2(t), \beta_3(t), \beta_4(t)$ осуществлялся в пакете статистического анализа данных Statgraphics Centurion XV, который позволяет в автоматическом режиме проверять 27 простейших уравнений парной регрессии. Наилучшее согласование с экспериментальными данными показали следующие модели регрессии: Reciprocal-Y square root-X, Square root-X, Double square root, Squared-Y, Reciprocal-Y и др.

На основании результатов выполненных натурных исследований и расчетов получены регрессионные зависимости изменения показателя щелочности поровой жидкости во времени для дискретных значений времени $t = 1; 5; 10; 20; 30; 40; 50; 100$ лет по сечению бетонов классов по прочности $C^{12/15} - C^{30/37}$ для различных степеней агрессивности воздушных сред сельскохозяйственных зданий.

Разработанные зависимости показывают, что независимо от степени агрессивности воздушной среды, с повышением прочности на сжатие бетона скорость изменения защитных свойств бетона по отношению к стальной арматуре снижается. В качестве примера в таблице 5 приведены регрессионные зависимости изменения показателя pH во времени по сечению бетона класса по прочности $C^{12/15}$ для дискретных значений времени $t = 1; 5; 10; 20; 30; 40; 50; 100$ лет и условий повышенной и обычной агрессивности среды. По полученным регрессионным зависимостям построены расчетно-экспериментальные модели изменения показателя pH во времени для дискретных значений времени t по сечению бетонов классов по прочности $C^{12/15} - C^{30/37}$ для различных степеней агрессивности воздушных сред сельскохозяйственных зданий.

Расчетно-экспериментальные модели изменения показателя pH во времени по сечению бетонов классов по прочности $C^{12/15}$ и $C^{30/37}$ для различных степеней агрессивности эксплуатационной среды сельскохозяйственных зданий представлены соответственно на рисунках 6 и 7.

Таблица 5 – Регрессионные зависимости изменения показателя pH во времени по сечению бетона класса по прочности C^{12/15} для дискретных значений времени *t* и различных условий агрессивности воздушной среды

Класс бетона по прочности на сжатие	Возраст, лет	Область карбонизации	
		ускоренной	обычной
C ^{12/15}	1	$pH(t) = 12,06 - 0,89e^{-\left(\frac{t-3,25}{18,6}\right)^{1,70}}$	$pH(t) = 12,16 - 1,25e^{-\left(\frac{t+36,5}{43,5}\right)^{2,69}}$
	5	$pH(t) = 11,91 - 1,45e^{-\left(\frac{t+1,25}{27,65}\right)^{2,53}}$	$pH(t) = 12,13 - 0,78e^{-\left(\frac{t-0,7}{21,35}\right)^{1,68}}$
	10	$pH(t) = 11,81 - 1,83e^{-\left(\frac{t-0,8}{29,6}\right)^{2,61}}$	$pH(t) = 12,09 - 0,95e^{-\left(\frac{t+1,0}{22,5}\right)^{1,83}}$
	20	$pH(t) = 11,65 - 2,32e^{-\left(\frac{t+3,1}{40,25}\right)^{3,82}}$	$pH(t) = 12,05 - 1,15e^{-\left(\frac{t+8,6}{31,55}\right)^{2,64}}$
	30	$pH(t) = 11,55 - 2,74e^{-\left(\frac{t-24,3}{22,05}\right)^{2,30}}$	$pH(t) = 12,01 - 1,30e^{-\left(\frac{t+2,7}{25,85}\right)^{2,22}}$
	40	$pH(t) = 11,43 - 3,09e^{-\left(\frac{t-35,05}{19,55}\right)^{2,67}}$	$pH(t) = 11,98 - 1,43e^{-\left(\frac{t+3,40}{27,3}\right)^{2,36}}$
	50	$pH(t) = 11,35 - 3,49e^{-\left(\frac{t-47,05}{13,9}\right)^{2,42}}$	$pH(t) = 11,96 - 1,51e^{-\left(\frac{t-0,45}{24,25}\right)^{2,15}}$
	100	$pH(t) = 11,06 - 4,94e^{-\left(\frac{t-55,95}{24,0}\right)^{5,2}}$	$pH(t) = 11,86 - 1,80e^{-\left(\frac{t-1,2}{26,85}\right)^{2,26}}$

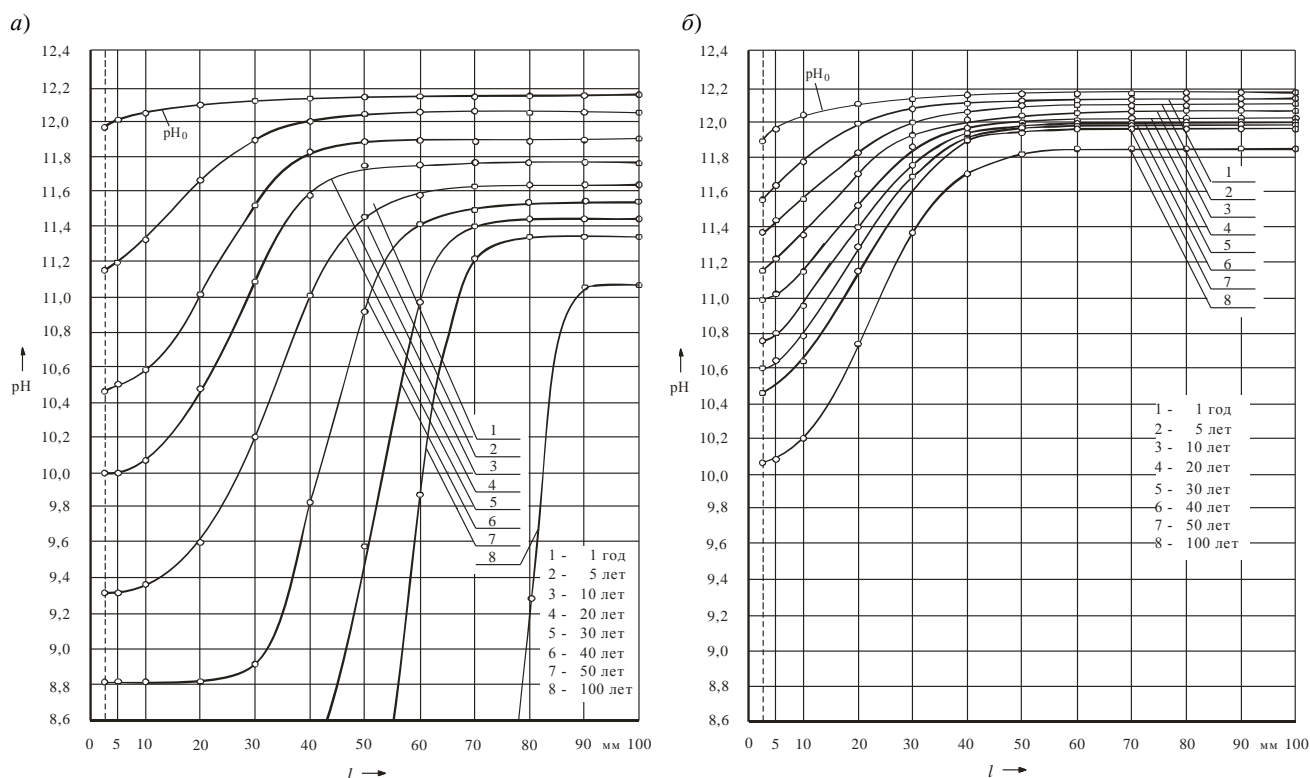


Рисунок 6 – Расчетно-экспериментальная модель изменения щелочности поровой жидкости во времени по сечению бетона класса по прочности C^{12/15} для дискретных значений времени *t*:

pH₀ – начальная щелочность бетона сразу после ТВО;

a – область ускоренной карбонизации; *b* – область обычной карбонизации

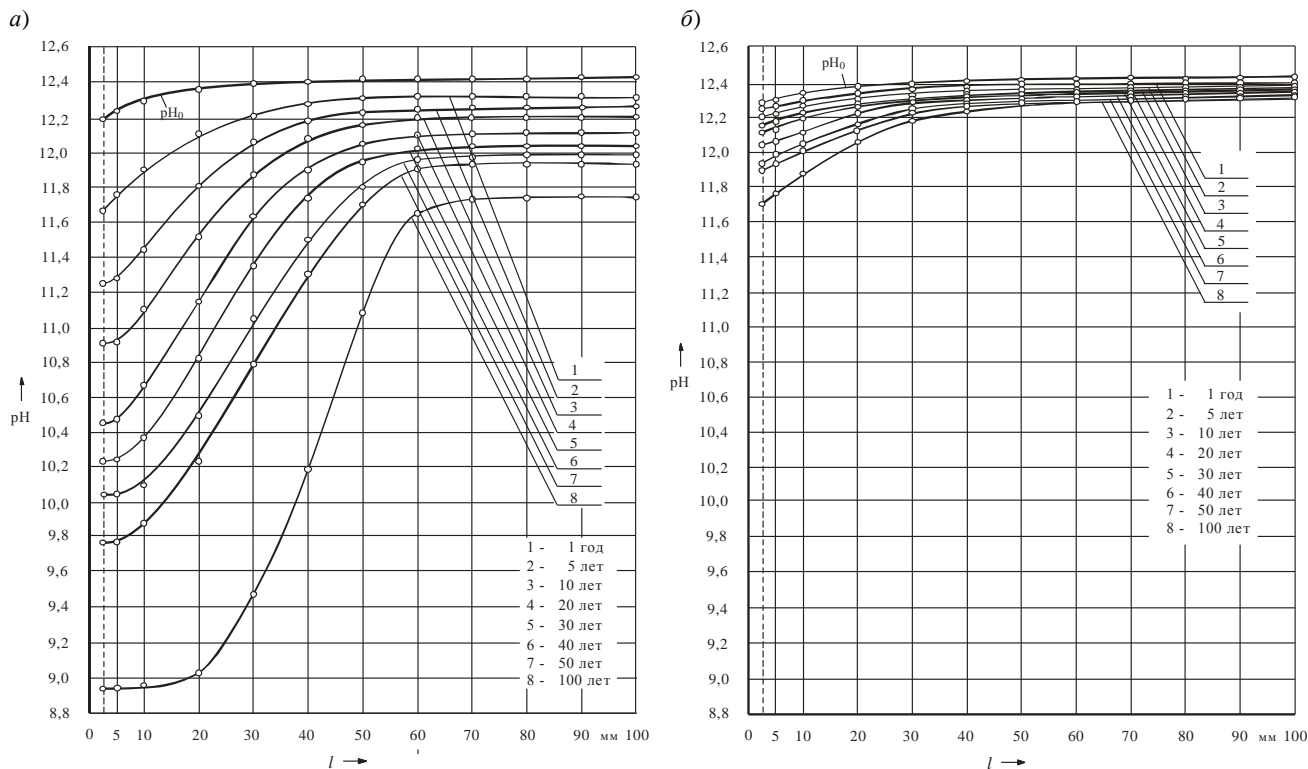


Рисунок 7 – Расчетно-экспериментальная модель изменения щелочности поровой жидкости во времени по сечению бетона класса по прочности $C^{30/37}$ для дискретных значений времени t :
 pH_0 – начальная щелочность бетона сразу после ТВО;
 а – область ускоренной карбонизации; б – область обычной карбонизации

Заключение. На основании многолетних исследований развития карбонизации во времени по сечению реально эксплуатируемых ЖБЭ, а также образцов бетона сразу после изготовления с применением ТВО получены расчетно-экспериментальные модели изменения щелочности поровой жидкости во времени по сечению бетонов классов по прочности $C^{12/15} - C^{30/37}$ для различных степеней агрессивности воздушных сред сельскохозяйственных зданий. Они достаточно хорошо коррелируют с результатами исследования изменения щелочности поровой жидкости по сечению ЖБЭ, эксплуатируемых длительные сроки в условиях сельскохозяйственных зданий.

Расчетно-экспериментальные модели изменения щелочности поровой жидкости во времени по сечению бетона позволяют на стадии проектирования в зависимости от предполагаемых условий эксплуатации конструкций зданий закладывать класс бетона по прочности для обеспечения необходимой долговечности ЖБЭ с учетом процессов карбонизации бетона.

Получено 22.11.2012

A. A. Vasilyev, D. N. Shevchenko, E. O. Adarchenko, L. V. Plikus, N. V. Babok. Model of pore liquid alkalinity change at concrete cross section for aggressive exploitation conditions.

According to laboratory investigation of reinforced concrete elements samples exploiting in different according the degree of aggressiveness conditions of agricultural buildings, there were obtained regressive dependencies of pore liquid alkalinity change (pH index) in the area of reinforcement location. On their basis and taking into consideration obtained earlier regression dependencies of pH index change at concrete cross section of samples produced in industrial conditions with heat and humidity treatment (HHT), there were offered the models of pore liquid alkalinity change against time at cross section for concretes of different compression strength classes for different degree of aggressiveness air environment of agricultural buildings.

Список литературы

- 1 **Бабушкин, В. И.** Физико-химические процессы коррозии бетона и железобетона / В. И. Бабушкин. – М. : Стройиздат, 1968. – 187 с.
- 2 **Васильев, А. А.** Карбонизация и оценка поврежденности железобетонных конструкций : [монография] / А. А. Васильев; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2012. – 263 с. – ISBN 978-985-468-978-4.
- 3 **Грин, К. Т.** Влияние добавок на прочность бетонов / К. Т. Грин : матер. IV междунар. конгресса по химии цемента. – М. : Стройиздат, 1964. – С. 275.
- 4 Corrosion protection of reinforcing steels: technical report / Task Group 9.7 – Feb. 2009. Bulletin 49. – 2009. – 116 p.
- 5 **Алексеев, С. Н.** Коррозионная стойкость железобетонных конструкций в агрессивной промышленной среде / С. Н. Алексеев, Н. К. Розенталь. – М. : Стройиздат, 1976. – 205 с.
- 6 Исследование изменения показателя щелочности поровой жидкости по сечению бетона / А. А. Васильев [и др.] // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2012. – № 1 (24). – С. 80–85.