УДК 539.3
Каюмов Р.А. – доктор физико-математических наук
E-mail: kayumov@rambler.ru
Ибрагимова А.А. – студент
E-mail: ibragimova-aigul92@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Об оценке предельной нагрузки железобетонной стенки, подверженной одностороннему воздействию влаги[1]

Аннотация

Постановка задачи. Дана железобетонная стенка под воздействием вертикальной осевой нагрузки и воздействием влаги. Считается, что бетон от воздействия влаги деградирует с течением времени. Примем, что прочность арматуры не меняется со временем, поэтому учитываем падение прочности только бетона. Целью работы являлась разработка методики описания процесса деградации железобетонных конструкций.

Результаты. В данной работе используются закон диффузии влаги в бетоне и закон Фика в процессе деградации. Эти уравнения решаются численно методом конечных разностей. Исследовалась сходимость метода преуменьшения шага по времени и шага по координате. Разработана методика определения коэффициентов диффузии на примере обработки результатов эксперимента для гипсоцементно-пуццоланового камня (ГЦПК).

Выводы. Получена инженерная формула для определения выщелоченной гашеной извести бетона, по которой определяем остаточную прочность бетона по работе Рахимова Р.З. и Алтынкис М.Г. Данные вычисления позволяют найти предельную нагрузку железобетонной стенки в любой момент времени.

Ключевые слова: железобетон, долговечность, коррозия, деградация, диффузия, выщелачивание.

Введение

Вода – одна из наиболее агрессивных сред, негативно влияющих на прочность и долговечность железобетонных конструкций. Учет воздействия агрессивных сред на работу конструкции осуществляется путем введения различных коэффициентов запаса. Этот подход не дает возможность определения безопасного срока службы конструкции. Данные коэффициенты не отражают в полной мере реальную работу конструкции, а зачастую не учитывают механизм изменения свойств материала под действием агрессивных сред. Расчет долговечности и надежности конструкций должен учитывать временную зависимость процессов, протекающих в материале под действием агрессивных сред. Для этого должны быть определены основные характеристики сопротивления бетонов действию химически-активных веществ и определен механизм взаимодействия материала со средой.

Уязвимым для коррозии в бетоне является цементный камень.

Существует 2 основных фактора, определяющих коррозионные процессы в бетоне.

• В цементном камне содержится растворимый $Ca(OH)_2$, который может вымываться из бетона;

• Цементный камень имеет щелочную природу, поэтому все его соединения реагируют с кислотами.

Процесс выщелачивания происходит при фильтрации влаги через бетон. Определение закономерностей влияния температуры и влажности на свойства материала дает возможность увеличения долговечности бетона.

Изучением воздействия влаги на долговечность железобетонных конструкций занимались многие ученые, например: Ветров С.Н. Яковлев С.В., которые в качестве

[1]Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 15-08-06018 и при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, проект № 1660 государственного задания в сфере научной деятельности по Заданию № 2014/58 за 2016.

примера использовали тоннель и перекрытия промышленного здания [2]; Карпенко Н.И., Карпенко С.Н., Ярмаковский В.Н. и Ерофеев В.Т. изучали различные методы по описания деградации свойств материалов от коррозии [3] и т.д.

1. Определение влажности бетона

1.1. Постановка задачи

Рассмотрим задачу диффузии влаги через бетонную стенку. Закон диффузии примем в виде:

$$\lambda \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} = \frac{\partial W}{\partial t}, \quad W = W(x, t), \tag{1}$$

где W – влажность бетона (в %); λ – коэффициент диффузии (в см²/сут); x – координата по толщине стенки (в см); t – момент времени (в сутках).

Граничные условия запишем в виде (рис. 1):

$$x=0: W(0,t)=W_{max}=w_0=const, \text{ (например, 2,6 \%)}, \tag{2}$$

$$x=L: W(L,t)=W_{min}. \tag{3}$$

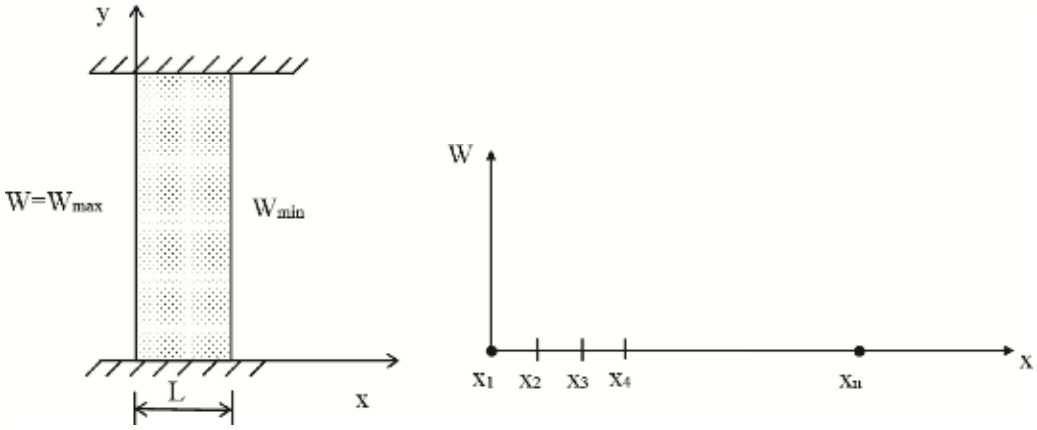


Рис. 1. Железобетонная стенка

В начальный момент времени:

$$W(0,0)=w_0, \tag{4}$$

$$W(x,0)=W_{min}. \tag{5}$$

1.2. Алгоритм решения в конечных разностях

Решение проводим в конечных разностях и по времени, и по координате.

Обозначим: W_i^k – значение влажности в точке $x = x_i$ при $t = t_k$.

Считаем, что в точке $x = x_1$ влажность всегда одинакова и равна максимально возможной:

$$W_1=w_0. \tag{6}$$

Шаг по времени № 1

Запишем уравнение (1) в конечных разностях для точки $x=x_1$ в момент времени $t=t_1=\Delta t$:

$$t = t_1: \quad \lambda \frac{W_3^{(0)} - 2W_2^{(0)} + W_1^{(0)}}{\Delta x^2} = \frac{\left(W_2^{(1)} - W_2^{(0)}\right)}{\Delta t}. \tag{7}$$

Здесь:

$$W_3^{(0)} = W_{min}, W_2^{(0)} = W_{min}, W_1^{(0)} = w_0. \tag{8}$$

Отсюда находим $W_2^{(1)}$.

Шаг по времени № 2

Далее запишем уравнение (1) в конечных разностях для точки $x = x_2$ в момент времени $t = t_2 = 2\Delta t$:

$$t = t_2: \quad \lambda \frac{W_3^{(1)} - 2W_2^{(1)} + W_1^{(1)}}{\Delta x^2} = \frac{\left(W_2^{(2)} - W_2^{(1)}\right)}{\Delta t}. \tag{9}$$

Здесь $W_3^{(1)} = W_{min}$, $W_1^{(1)} = w_0$, а $W_2^{(1)}$ найден на 1-ом шаге.

Отсюда находим $W_2^{(2)}$.

Далее запишем уравнение (1) в конечных разностях для точки $x = x_2$:

$$t = t_2: \qquad \frac{W_4^{(1)} - 2W_3^{(1)} - W_2^{(1)}}{\Delta x^2} \lambda = \frac{\left(W_3^{(2)} - W_3^{(1)}\right)}{\Delta t}. \tag{10}$$

Здесь:

$$W_4^{(1)} = W_{min},\ W_3^{(1)} = W_{min}, \tag{11}$$

а $W_2^{(1)}$ найден на 1-ом шаге.

Отсюда находим $W_3^{(2)}$.

Таким образом, последовательно находим значения W в точках $x = x_i$ в моменты времени $t = t_1, t_2, \ldots$

Ниже в табл. 1 и на рис. 2 в качестве примера приведены результаты теоретических расчетов при $\lambda = 1$, $\Delta t = 7$ суток, $\Delta x = 4$ см, $W_{min} = 0{,}4$ %.

Таблица 1

Значения влажности бетона в разные моменты времени при λ = 1

	$W(t_1)$	$W(t_2)$	$W(t_3)$	$W(t_4)$	$W(t_5)$	$W(t_6)$	$W(t_7)$	$W(t_8)$	$W(t_9)$	$W(t_{10})$	$W(t_{11})$
$W(x_1)$	2,600	2,600	2,600	2,600	2,600	2,600	2,600	2,600	2,600	2,600	2,600
$W(x_2)$	1,363	1,483	1,682	1,753	1,841	1,889	1,940	1,974	2,008	2,034	2,043
$W(x_3)$	0,400	0,821	0,926	1,107	1,191	1,294	1,358	1,426	1,476	1,526	1,552
$W(x_4)$	0,400	0,400	0,584	0,653	0,776	0,846	0,932	0,993	1,057	1,108	1,158
$W(x_5)$	0,400	0,400	0,400	0,481	0,521	0,595	0,645	0,707	0,755	0,807	0,865
$W(x_6)$	0,400	0,400	0,400	0,400	0,435	0,457	0,499	0,531	0,572	0,607	0,670
$W(x_7)$	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,415	0,427	0,450	0,469	0,495	0,541
$W(x_8)$	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,407	0,413	0,425	0,436	0,471
$W(x_9)$	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,403	0,406	0,412	0,429
$W(x_{10})$	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,401	0,403	0,411
$W(x_{11})$	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400

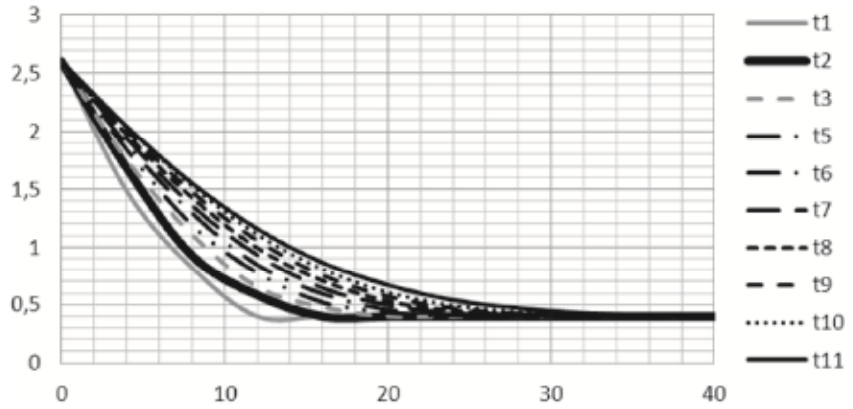


Рис. 2. Значения влажности бетона в разные моменты времени.
По оси абсцисс отложена координата по толщине колонны x_i, см;
по оси ординат – значение влажности бетона W, %

1.3. Пример обработки результатов эксперимента

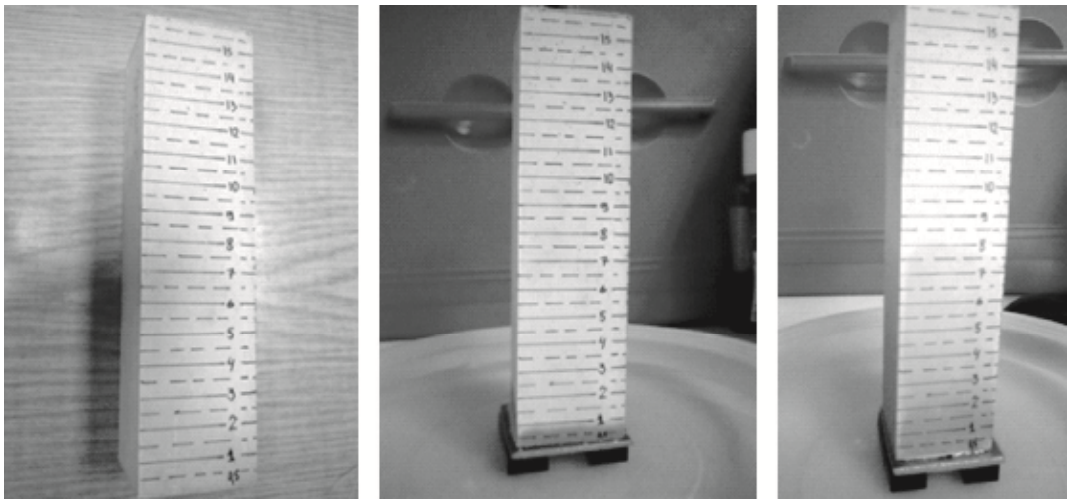
В качестве исследуемого объекта был использован образец с габаритами 16×4×4 см из гипсоцементно-пуццоланового камня (ГЦПК), для изготовления которого были использованы следующие материалы: гипс марки Г6БII производства ООО «Аракчинский гипс» ГОСТ 125-79 – 76 %; портландцемент Белгородского цементного завода марки ПЦ500-Д0-Н – 20 %; метакаолин, полученный путем обжига каолина при температуре 700ºС в течении 1 часа, $S_{уд}$=1357 м^2/кг – 4 %; гиперпластификатор «Одолит-К» – 1,5 % от массы вяжущего. Образец был помещен в воду на глубину 5 мм. В течение

2 дней измерялась влажность бетона с помощью влагомера. Результаты измерений приведены ниже в табличной форме и на рис. 3.

Таблица 2

Значения влажности бетона из эксперимента

	W (x=1 см)	W (x=1,5 см)	W (x=2 см)	W (x=2,5 см)	W (x=3 см)	W (x=3,5 см)	W (x=4 см)	W (x=4,5 см)
27.04.2016 16:05	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
27.04.2016 17:30	2,4	2	1,8	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5
28.04.2016 12:40	2,5	1,9	1,7	1,6	1,6	1,5	1,5	1,5
	W (x=5 см)	W (x=5,5 см)	W (x=6 см)	W (x=6,5см)	W (x=7 см)	W (x=7,5 см)	W (x=15 см)	
27.04.2016 16:05	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	
27.04.2016 17:30	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	
28.04.2016 12:40	1,5	1,5	1,1	0,8	0,5	0,4	0,4	



а) б) в)

Рис. 3. Состояние бетона а) до испытания, б) в начале испытания и в) в конце испытания

Высота подъема влаги сравнивалась с теоретическими расчетами $W(t_{10})$. Это позволяет найти коэффициент диффузии:

$$\lambda = 2{,}187 \text{ см}^2 / \text{сут.}$$

Сравнив высоту поднятия влаги через t=1 сутки, получим следующие результаты.

Согласно теоретическому расчету за время t=1сутки влага поднялась на высоту x=6 см. По экспериментальным данным за это время влага поднимется на высоту x=7,5 см.

Ниже в табл. 3 и рис. 4 приведены результаты теоретических расчетов при λ = 2,187, Δt = 0,2 суток, Δx = 1 см, W_{min} = 0,4 %.

Таблица 3

Значения влажности бетона в разные моменты времени при λ = 2,187

	$W(t_1)$	$W(t_2)$	$W(t_3)$	$W(t_4)$	$W(t_5)$	$W(t_6)$	$W(t_7)$	$W(t_8)$	$W(t_9)$	$W(t_{10})$	$W(t_{11})$
$W(x_1)$	2,600	2,600	2,600	2,600	2,600	2,600	2,600	2,600	2,600	2,600	2,600
$W(x_2)$	1,137	1,280	1,537	1,681	1,775	1,846	1,900	1,945	1,982	2,013	2,682
$W(x_3)$	0,400	0,548	0,803	0,976	1,113	1,216	1,303	1,374	1,435	1,487	3,797
$W(x_4)$	0,400	0,400	0,465	0,584	0,687	0,785	0,867	0,942	1,007	1,067	5,024
$W(x_5)$	0,400	0,400	0,400	0,428	0,484	0,542	0,603	0,660	0,716	0,767	5,656
$W(x_6)$	0,400	0,400	0,400	0,400	0,412	0,438	0,469	0,505	0,541	0,579	5,189
$W(x_7)$	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,405	0,417	0,433	0,454	0,476	4,083
$W(x_8)$	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,402	0,408	0,416	0,427	2,666
$W(x_9)$	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,401	0,404	0,408	1,571
$W(x_{10})$	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,402	0,836
$W(x_{11})$	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400

где $x_1 = 0$ см, $x_2 = 1$ см,…, $x_{11} = 10$ см, $t_1 = 0$ суток, $t_2 = 0{,}2$ суток,…, $t_{11} = 2$ суток.

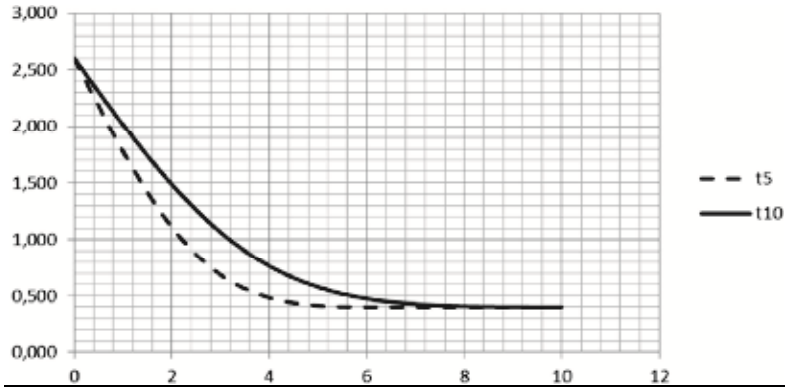


Рис. 4. Значения влажности ГЦПК в разные моменты времени.
По оси абсцисс отложена координата по высоте образца ГЦПК (Xi, см),
по оси ординат – значения влажности ГЦПК (W, %)

2. Определение уровня выщелачивания

2.1 Постановка задачи

Определив зависимость влажности бетона от времени t, мы можем найти уровень выщелачивания гашеной извести $Ca(OH)_2$. Рассмотрим задачу выщелачивания гашеной извести. Уравнение Фика примем в виде:

$$D(W)\times\frac{\P^2 Q}{\P x^2}=\frac{\P Q}{\P t},\quad Q=Q(x,t). \tag{12}$$

Здесь Q – уровень выщелачивания, который примем в виде отношения массы потерянной гашеной извести к максимально возможной массе выщелоченной гашеной извести, множитель D (W) – это коэффициент выщелачивания, зависящий от влажности бетона.

Граничные и начальные условия запишем в виде:

$$x=x_0<0:\ Q(x_0,t)=100\ \%,\ x=L:\ Q(L,t)=0, \tag{13}$$

$$Q(x,0)=0. \tag{14}$$

Коэффициент выщелачивания аппроксимируем в виде:

$$D(W)=aW/(b+W). \tag{15}$$

Здесь *a* и *b* – коэффициенты, определяемые из эксперимента.

2.2. Решение в конечных разностях

Решение проводим по аналогии с алгоритмом определения влажности бетона (п. 1.2). В конечных разностях соотношение (12), например, для точки $x = x_1 = 0$ примет вид:

$$\frac{Q_2^{(i-1)} - 2Q_1^{(i-1)} + Q_0^{(i-1)}}{\Delta x^2} \times D^{(i-1)} = \frac{\left(Q_1^{(i)} - Q_1^{(i-1)}\right)}{\Delta t}, \quad Q_0^{(i-1)} = Q(x_0, t_{i-1}) = 100\ \%. \qquad (16)$$

Ниже в табл. 4 и на рис. 5 приведены результаты расчетов.

Таблица 4

Значения количества выщелоченной извести в разные моменты времени

	Qcao (t_1)	Qcao (t_2)	Qcao (t_3)	Qcao (t_4)	Qcao (t_5)	Qcao (t_6)	Qcao (t_7)	Qcao (t_8)	Qcao (t_9)	Qcao (t_{10})	Qcao (t_{11})
Qcao(x_1)	4,3599	8,3479	11,9957	15,3400	18,4127	21,2424	23,8539	26,2692	28,5080	30,5873	32,5226
Qcao(x_2)	0,1901	0,3632	0,6952	1,1578	1,7271	2,3827	3,1073	3,8866	4,7082	5,5618	6,4387
Qcao(x_3)	0,0000	0,0082	0,0232	0,0514	0,0973	0,1640	0,2536	0,3673	0,5054	0,6678	0,8541
Qcao(x_4)	0	0	0,0004	0,0013	0,0034	0,0074	0,0138	0,0237	0,0376	0,0563	0,0806
Qcao(x_5)	0	0	0	1,5E-05	7,1E-05	0,0002	0,0005	0,0011	0,0020	0,0035	0,0056
Qcao(x_6)	0	0	0	0	6,52E-07	3,642E-06	1,248E-05	3,3E-05	7,65E-05	0,0002	0,0003
Qcao(x_7)	0	0	0	0	0	2,794E-08	1,816E-07	7E-07	2,08E-06	5,19E-06	1,15E-05
Qcao(x_8)	0	0	0	0	0	0	1,196E-09	8,9E-09	3,82E-08	1,24E-07	3,36E-07
Qcao(x_9)	0	0	0	0	0	0	0	5,1E-11	4,26E-10	2,02E-09	7,16E-09
Qcao(x_{10})	0	0	0	0	0	0	0	0	2,19E-12	2,02E-11	1,05E-10
Qcao(x_{11})	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9,37E-14	9,52E-13

где $x_1 = 0$ см, $x_2 = 4$ см,…, $x_{11} = 40$ см, $t_1 = 0$ суток, a = 0,09, b = 0,02, $\Delta t = 7$ суток.

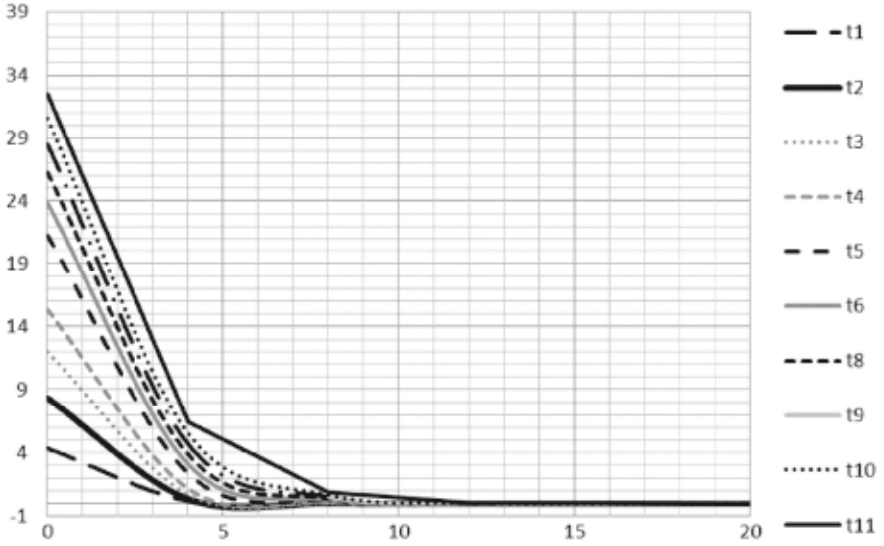


Рис. 5. По оси абсцисс отложена координата по толщине колонны Xi, см;
по оси ординат – значение количества выщелоченной извести Q_{CaO}, %

3. Нахождение инженерной формулы

С помощью проверки условия сходимости значений Δt и Δx окончательно принимаем значения Δt=1 сутки, Δx=8 см.

Затем путем аппроксимации получаем инженерную формулу для определения выщелоченной гашеной извести бетона:

$$\Delta Q=((1x10^{-5})x-0,0001)t^2+(0,0011x^2-0,0271x+0,1502)t+0,0011x^2-0,0301x+0,2181. \quad (17)$$

4. Оценка несущей способности колонны

В работе Рахимова Р.З., Алтыкиса М.Г. «Долговечность строительных материалов» приводится диаграмма снижения прочности бетона по мере выщелачивания (рис. 6). Там же отмечено, что при потерях CaO примерно в 33 % наступает полное разрушение цементного камня, а предел прочности можно считать нулевым (рис. 6).

Рис. 6. По оси абсцисс отложено значение количества выщелоченной извести Q_{CaO}
в пересчете на CaO, % по оси ординат – значение прочности бетона при сжатии $R_{сж}$, %

Определив количество выщелоченной извести Q(CaO) во время t в каждой точке колонны и используя известные графики уровня снижения прочности R_b при выщелачивании можно провести расчет предельной нагрузки P^* для ж/б стенки. В первом

приближении будем считать, что свойства арматуры не меняются со временем. Тогда предельная нагрузка для стенки определяется по формуле:

$$P^* = P_b^* + P_a^* = \int_{A_b} R_b(Q) \times dA + R_s \times A_s, \quad (18)$$

где A_b – площадь поперечного сечения бетонного элемента (A_b = 1600 см²), $R_b(Q)$ – расчетное сопротивление бетона сжатию, которое определяется из зависимости, приведенной на рис. 3. (R_b(100 %) = 115 кг/см²), A_s – площадь поперечного сечения арматуры (A_s = 14,51 см²), R_s – расчетное сопротивление арматуры (R_s = 3620 кг/см²).

Результаты расчета приведены ниже в табл. 5.

Таблица 5

Значения предельной нагрузки железобетонной стенки в разные моменты времени

	$P^*(t_1)$	$P^*(t_2)$	$P^*(t_3)$	$P^*(t_4)$	$P^*(t_5)$	$P^*(t_6)$	$P^*(t_7)$	$P^*(t_8)$	$P^*(t9)$	$P^*(t_{10})$	$P^*(t_{11})$
$P^*(x_1)$	17848	16376	15456	14904	14536	13432	12512	9016	7176	5704	920
$P^*(x_2)$	18032	17848	17664	17296	17240,8	17167,2	17112	16928	16744	16376	15456
$P^*(x_3)$	18400	18216	18032	17664	17480	17296	17204	17112	17020	16928	16836
$P^*(x_4)$	18400	18400	18381,6	18032	17848	17940	17848	17756	17664	17572	17480
$P^*(x_5)$	18400	18400	18400	18381,6	18032	17848	17664	17480	17296	17112	17020
$P^*(x_6)$	18400	18400	18400	18400	18381,6	18216	18032	17848	17664	17480	17388
$P^*(x_7)$	18400	18400	18400	18400	18400	18381,6	18124	18032	17848	17664	17572
$P^*(x_8)$	18400	18400	18400	18400	18400	18400	18381,6	18179,2	17940	17848	17756
$P^*(x_9)$	18400	18400	18400	18400	18400	18400	18400	18398,16	18032	18124	18032
$P^*(x_{10})$	18400	18400	18400	18400	18400	18400	18400	18400	18398,2	18160,8	18381,6

где x_1 = 0 см, x_2 = 4 см,…, x_{11} = 40 см, t_1 = 0 суток, Δt = 7 суток, $P^*(x_1)$ – предельная нагрузка, воспринимаемая бетонной частью стенки с площадью поперечного сечения A_{b1} = 160 см² в координатах от 0 до 4 см; $P^*(x_2)$ – предельная нагрузка, воспринимаемая частью бетонной стенки с площадью поперечного сечения A_{b2} = 160 см² в координатах от 4 до 8 см; …; $P^*(x_{10})$ – предельная нагрузка, воспринимаемая бетонной частью стенки с площадью поперечного сечения A_{b10} = 160 см² в координатах от 36 до 40 см.

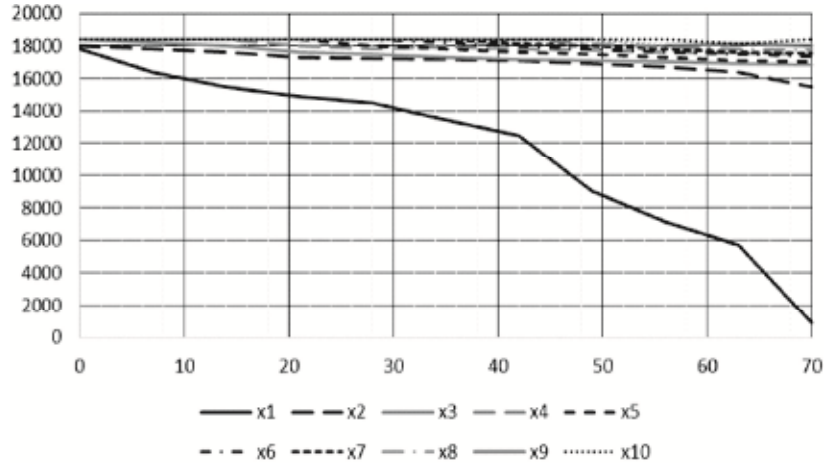


Рис. 7. Величина предельной нагрузки в разные моменты времени.
По оси абсцисс отложены моменты времени t, в сутках,
по оси ординат – величина предельной нагрузки P^*,
воспринимаемой бетонной частью стенки с площадью поперечного сечения A_{bi} = 160 см²
в период деградации, кгс

Зная предельную нагрузку, воспринимаемую каждой бетонной частью стенки в разные моменты времени, можно определить предельную нагрузку, воспринимаемую всей бетонной частью стенки в разные моменты времени, по формуле:

$$P^{*t1}_{общ.} = P^{*t1}_{x1} + P^{*t1}_{x2} + ... + P^{*t1}_{x11}; \quad P^{*t2}_{общ.} = P^{*t2}_{x1} + P^{*t2}_{x2} + ... + P^{*t2}_{x11}; ... \qquad (19)$$

Значение предельной нагрузки, воспринимаемой всей стенкой до деградации, найдем по формуле:

$$P^* = P_b^* + P_a^* = R_b \cdot A_b + R_s \cdot A_s = 115 \cdot 1600 + 3620 \cdot 14{,}51 = 236526{,}2 \text{ кгс}. \qquad (20)$$

Используя табл. 5, по формулам (18), (19) получим график падения предельной нагрузки, воспринимаемой стенкой, в период деградации (рис. 8).

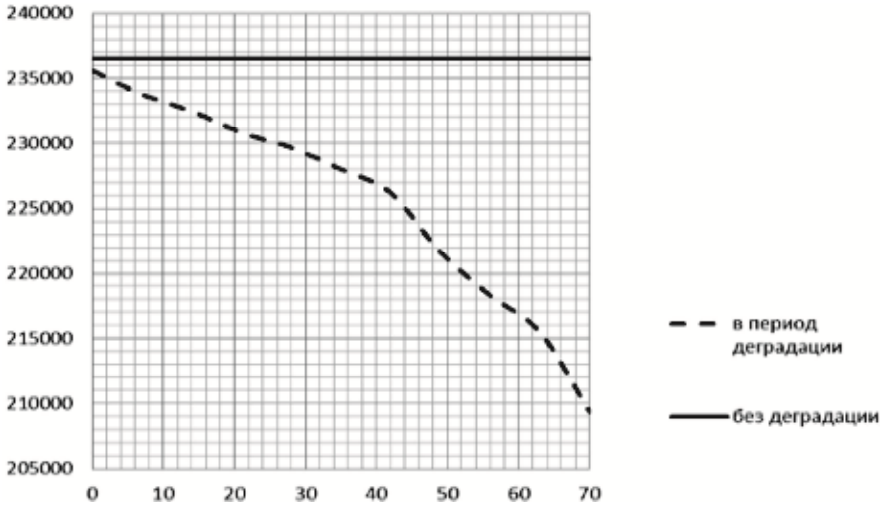


Рис. 8. На оси абсцисс отложены моменты времени t, в сутках; на оси ординат – величина предельной нагрузки P^*, воспринимаемой железобетонной стенкой с площадью поперечного сечения A_b = 1600 см², кгс

Основные выводы

1. Разработана методика описания процесса диффузии влаги в бетонной стенке, методика оценки влияния влажности на свойства материала и методика описания процесса деградации железобетонных конструкций под действием влаги.

2. Приведен пример обработки результатов эксперимента по определению коэффициента диффузии гипсоцементно-пуццоланового камня.

3. Приведен пример расчета определения влажности бетона в любой точке и в любой момент времени, уровня выщелачивания и определения предельной нагрузки для железобетонной стенки в различные моменты времени.

4. Получена инженерная формула для определения выщелоченной гашеной извести бетона, по которой можно определить остаточную прочность бетона по работе Рахимова Р.З. и Алтынкис М.Г.

Список библиографических ссылок

1. Бондаренко В. М. К вопросу о влиянии анизотропии и коррозионных повреждений на силовое сопротивление железобетона при знакопеременном нагружении // Academia. Архитектура и строительство. 2011. № 1. С. 101–105.
2. Ветров С. Н., Яковлев С. В. Специфика обследования состояния железобетонных конструкций в условиях агрессивного воздействия воды // Инженерно-строительный журнал. 2010. № 7 (17). С. 35–40.
3. Карапенко Н. И., Карапенко С. Н., Ярмаковский В. Н., Ерофеев В. Т. О современных методах обеспечения долговечности железобетонных конструкций // Academia. РААСН. 2015. № 1. С. 3–18.
4. Каюмов Р. А., Ахметшин М. М. Долговечность панели с внешним каркасом из тонких гнутых профилей с учетом ползучести утеплителя // Известия КГАСУ. 2015. № 3 (27). С.64–69.
5. Каюмов Р. А., Мангушева А. Р., Мухаметшин А. Т., Сулейманов А. М. К определению долговечности пленочно-тканевого композиционного материала, подвергаемого воздействию солнечной радиации // Издательство КГУ. 2010. № 4. С. 158–165.
6. Леонович С. Н., Прасол А. В. Железобетон в условиях хлоридной коррозии: деформирование и разрушение // Строительные материалы. 2013. № 5. С. 94–96.
7. Селяев В. П., Ошкина Л. М., Селяев П. В., Сорокин Е. В. Исследование химической стойкости цементных бетонов с учетом сульфатной коррозии // Региональная архитектура и строительство. 2012. № 1. С. 4–11.
8. Селяев, В. П., Неверов В А., Ошкина Л. М., Селяев Е. В., Сорокин Е. В., Кечуткина Е. Л. Сопротивление цементных бетонов сульфатной коррозии // Строительные материалы. 2013. № 12. С. 26–30.
9. Arab N., Zemskov E. P., Muntean A. Homogenization of a reaction – diffusion system modeling sulfate corrosion of concrete in locally – periodic perforated domains // Journal of Engineering mathematics. 2011. № 69 (2). P. 261–276.
10. Kosmatka, Kerkoff B, Hooton R. Design and control of Concrete Muxtures. The Guide to Application // Methods and Materials, Eight Canadian Edition. Cement Association of Canada. Ottawa. 2011. P. 35–68.
11. Selyaev V. P., Selyaev P. V., Sorokin E. V., Udina O. A., Tsganov V. V. Crack resistance of reinforced concrete structures with epoxy coating // Munich publishing office Vela Verlag Waldkraiburg. 2013. P. 167–176.
12. Selyaev V. P., Selyaev P. V., Sorokin P. V. Physical bases of materials strength with the structure of conglomerate type // Westwood publishing office Accent Graphics communications. 2012. P. 523–531.
13. Stevulova N., Ondrejka Harbulakova V., Estokova A., Luptakova A., Repka M. Study of sulfate corrosion simulations on concrete composites // International Journal of Energy and Environment. 2012. № 2. P. 276–283.

Kayumov R.A. – doctor of physical and mathematical sciences, professor
E-mail: kayumov@rambler.ru
Ibragimova A.A. – student
E-mail: ibragimova-aigul92@mail.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering
The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

On the assessment of the maximum load of a reinforced concrete wall subjected to unilateral action of moisture

Abstract

Problem statement. The reinforced concrete wall is given under the influence of the vertical axial load and the influence of moisture. It is believed that the concrete from the effects of moisture degrades over time. We assume that the strength of the reinforcement does not change with time, so we take into account the drop in strength of concrete only. The aim of the work was to develop a methodology for describing the process of degradation of reinforced concrete structures.

Results. In this paper we use the law of moisture diffusion in concrete and Fick's law in the process of degradation. These equations are solved numerically by the method of finite differences. The convergence of the method of minimizing the step with respect to time and step along the coordinate was investigated. A technique for determining the diffusion coefficients is developed using the example of processing the results of an experiment for a gypsum cement-pozzolan stone.

Conclusions. An engineering formula has been obtained for the determination of leached slaked lime concrete, according to which we determine the residual strength of concrete according to the work of Rakhimov R.Z. and Altynkis M.G. These calculations allow finding the ultimate load of the reinforced concrete wall at any time.

Keywords: reinforced concrete, durability, corrosion, degradation, diffusion, leaching.

References

1. Bondarenko V. M. On the influence of anisotropy and corrosion damage on the strength resistance of reinforced concrete under alternating loading // Academia. Architectura I stroitel'stvo. 2011. № 1. P. 101–105.
2. Vetrov S. N., Yakovlev S. V. Specificity of inspection of the state of reinforced concrete structures in conditions of aggressive water impact // Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal. 2010. № 7 (17). P. 35–40.
3. Karapenko N. I., Karapenko S. N., Yarmakovskiy V. N., Erofeev V. T. On modern methods of ensuring the durability of reinforced concrete structures // Academia. RAASN. 2015. № 1. P. 3–18.
4. Kayumov R. A., Akhmetshin M. M. Durability of a panel with an external frame made of thin bent profiles taking into account the creep of a heater // Izvestiya KGASU. 2015. № 3 (27). P. 64–69.
5. Kayumov R. A., Mangusheva A. R., Mukhametshin A. T., Suleimanov A. M. Determination of the durability of film-fabric composite material exposed to solar radiation // KSU Publishing House. 2010. № 4. P. 158–165.
6. Leonovich S. N., Prasol A. V. Concrete in conditions of chloride corrosion: deformation and destruction // Stroitel'nyye materialy. 2013. № 5. P. 94–96.
7. Selyaev V. P., Oshkina L. M., Selyaev P. V., Sorokin E. V. Investigation of chemical resistance of cement concretes taking into account sulfate corrosion // Regional architecture and construction. 2012. № 1. P. 4–11.
8. Selyaev V. P, Neverov V. A., Oshkina L. M., Selyaev E. V., Sorokin E. V., Kechutkina Ye. L. Resistance of cement concretes of sulphate corrosion // Stroitel'nyye materialy. 2013. № 12. P. 26–30.
9. Arab N., Zemskov E. P., Muntean A. Homogenization of a reaction – diffusion system modeling sulfate corrosion in the perennial periodic perforated domains // Journal of Engineering mathematics. 2011. № 69 (2). P. 261–276.
10. Kosmatka, Kerkoff B., Hooton R. Design and control of Concrete Muxtures. The Guide to Application // Methods and Materials, Eight Canadian Edition. Cement Association of Canada. Ottawa. 2011. P. 35–68.
11. Selyaev V. P., Selyaev P. V., Sorokin E. V., Udina O. A., Tsganov V. V. Crack resistance of the reinforced concrete structures with epoxy coating // Vela Verlag Waldkraiburg. 2013. P. 167–176.
12. Selyaev V. P., Selyaev P. V., Sorokin P. V. Physical bases of materials of strength with the structure of conglomerate type // Westwood publishing office Accent Graphics communications. 2012. P. 523–531.
13. Stevulova N., Ondrejka Harbulakova V., Estokova A., Luptakova A., Repka M. Study of sulfate corrosion simulations on concrete composites // International Journal of Energy and Environment. 2012. № 2. P. 276–283.