

УДК 666.972:620.193.4

Гильмутдинов Т.З. – аспирант

Федоров П.А. – кандидат технических наук, доцент

Латыпов В.М. – доктор технических наук, профессор

E-mail: stexpert@mail.ru

Уфимский государственный нефтяной технический университет

Адрес организации: 450062, Россия, г. Уфа, ул. Космонавтов, д. 1

Результаты исследований по ускоренной карбонизации бетона и цементного камня во влажных условиях эксплуатации¹

Аннотация

Целью исследования является изучение процессов карбонизации цементного камня и бетона, влияющих на долговечность железобетонных конструкций. Приведены результаты выбора рабочей поверхности на образце для исследования глубины карбонизации. Проведён анализ результатов экспериментальных исследований кинетики карбонизации цементного камня и бетона во влажных условиях эксплуатации.

Основным методом исследования принят способ испытания контрольных образцов путём протравливания их атмосферой с повышенной концентрацией углекислого газа, с последующим определением глубины нейтрализации бетона и цементного камня. Испытания проведены в соответствии с требованиями ГОСТ Р 52804-2007 и EN 13295:2004.

Ключевые слова: долговечность строительных конструкций, углекислый газ, карбонизация, бетон, цементный камень, железобетон, математическая модель коррозии.

Сборный и монолитный железобетон был и в ближайшие десятилетия останется основным строительным материалом. По статистическим данным Ассоциации производителей цемента в Канаде установлено [1], что ежегодный объем применения в мировом масштабе бетона и железобетона в строительных конструкциях составляет около 5 млрд. м³ в год.

Основная часть возведённых надземных строительных конструкций подвергается в период эксплуатации действию газообразных агрессивных сред, которые способны вызвать повреждения конструкций, приводящие к ограничено-работоспособному или к аварийному состоянию. Особенно, это воздействие велико в промышленной зоне, где внешняя газообразная среда (чистый воздух) загрязняется продуктами и отходами местных производств, в том числе кислыми газами. Наибольшее распространение имеет газообразная агрессивная среда с повышенным содержанием кислого углекислого газа, которая напрямую воздействует на все железобетонные конструкции зданий и сооружений, находящиеся в контакте с атмосферой воздуха, вызывая процесс карбонизации бетона. Этот процесс является наиболее распространённым фактором резкого снижения эксплуатационного ресурса железобетонных конструкций, которые эксплуатируются 20...30 лет. В отдельных случаях, при высокой концентрации углекислого газа в атмосфере и изменяющимся температурно-влажностным режимом среды, коррозионные повреждения железобетонных конструкций наблюдаются уже через 3-5 лет эксплуатации. Эти повреждения вызваны дипассивацией стальной арматуры и её коррозии из-за нейтрализации защитного слоя бетона (карбонизация) и последующего его разрушения увеличивающимися в объёме продуктами коррозии стали (ржавчиной).

Ещё в 1969 г. В. М. Москвин [2] обозначил в качестве одной из основных задач обеспечения долговечности строительных конструкций разработку метода расчёта и конструирования железобетонных изделий, работающих в агрессивных средах, различных по свойствам и степени агрессивности. Необходимо отметить, что на этот период приходятся основные исследования процесса карбонизации бетона, совокупным результатом которых послужила работа С.Н. Алексеева и Н.К. Розенталя [3].

В международных нормативно-технических документах по проектированию долговечности бетонных и железобетонных конструкций (например, EN 206-1, ГОСТ 31384-2008) отсутствует методика, позволяющая с достаточной точностью,

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке со стороны Минобрнауки России в рамках базовой части государственного задания № 2014/241, № НИР 2093.

прогнозировать их долговечность. Это связано с неоднородностью бетона, сложностью физико-химических процессов карбонизации бетона, ненадёжностью прогнозирования изменчивости параметров эксплуатационной среды и наличие технологических факторов, появляющихся при изготовлении железобетонных конструкций.

На данный момент времени разработано множество расчётных моделей (например, модель Алексеева [3], модель Пападакиса [4], модель Ishida [5], модель Лианга [6], модель Анварова [7]), описывающих процесс коррозии бетона, в том числе и карбонизации бетона, представляющих собой зависимость глубины нейтрализации бетона от времени эксплуатации $L=f(x)$.

В целом, большинство моделей сводятся к классическому решению, получившему общепринятое название «закон корня квадратного от времени», который имеет вид (1). Существуют и другие варианты расчётных моделей, например, при расчёте численным методом Анварова А.Р. в работе [7] была получена модель вида (2) без учёта агрессивности среды, и Лиангом М.Т. в работе [6] получена расчётная модель вида (3). В том и в другом случае в расчёте одновременно учитывались диффузия и химическая реакция:

$$L = A_2 \sqrt{t}, \quad (1)$$

$$L = A_3 \sqrt[3]{t}, \quad (2)$$

$$L = at^b, \quad (3)$$

где A_2 , A_3 , a , b – коэффициенты, зависящие от структуры бетона и свойств окружающей среды.

При сопоставлении различных случаев выявляется ошибка в расчётах, которая может достигать при длительном сроке эксплуатации десятков процентов. Из-за противоречивости получаемых моделей, изучение процесса карбонизации бетона остаётся актуальным вопросом, требующим проведения экспериментальных исследований.

Объекты исследования

Объектами исследования служили образцы из мелкозернистого бетона и цементного камня, виды и характеристика которых приведена в табл. 1.

Таблица 1

№ серии	Состав	Примечание
1	Мелкозернистый бетон (цемент: песок=1:3 с В/Ц=0,70)	пористый бетон
2	Мелкозернистый бетон (цемент: песок=1:3 с В/Ц=0,65)	пористый бетон
3	Мелкозернистый бетон (цемент: песок=1:3 с В/Ц=0,60)	бетон нормальной проницаемости
4	Мелкозернистый бетон (цемент: песок=1:3 с В/Ц=0,55)	бетон нормальной проницаемости
5	Мелкозернистый бетон (цемент: песок=1:3 с В/Ц=0,50)	бетон нормальной проницаемости
6	Мелкозернистый бетон (цемент: песок=1:3 с В/Ц=0,45)	плотный бетон
7	Цементный камень (цемент: вода=1:0,50)	
8	Цементный камень (цемент: вода=1:0,45)	
9	Цементный камень (цемент: вода=1:0,35)	

В качестве вяжущего вещества для приготовления тестируемых образцов принят среднеалюминатный портландцемент марки СЕМ II/A-III 32,5Б с минеральными добавками до 20 %, быстротвердеющий, класса 32,5 (ЗАО «Катавский цемент»). В качестве мелкозернистого заполнителя для изготовления тестируемых образцов выбран кварцевый речной песок Уршакского месторождения Республики Башкортостан.

Образцы были изготовлены в виде призм размером 40x40x160 мм. Технология изготовления призм из бетона включала в себя следующие стандартные процедуры: дозирование в требуемой пропорции вяжущего вещества, мелкого заполнителя и воды; перемешивание; формование; уплотнение на вибростоле и выдержка в камере естественного твердения в течение 28 сут.

После выдержки в камере естественного твердения (относительная влажность 100 %) образцы помещались в камеру установки для проведения протравливания углекислым газом (относительная влажность 75 %) и выдерживались до установления равновесной влажности.

Методика исследования

Основным фактором при исследовании долговечности железобетонных конструкций является то, что в естественных условиях процессы карбонизации протекают медленно. Многие исследователи, по данным обследования железобетонных конструкций или при испытании модельных образцов, получают зависимость $L=f(x)$ по одной, реже по двум-трём точкам. Набирая статистические данные для расчёта, исследователи коррелируют эти данные, как правило, по зависимости (1), однако есть и исключения. Так в работах Рябича [8] и Вандамовской [9], при обследовании натуральных бетонных образцов разной плотности в условиях открытой промышленной атмосферы, были получены зависимости вида (3).

Из-за большого разброса статистических данных по составу материала конструкции, условий их эксплуатации и степени агрессивности среды предлагаемые расчётные зависимости, полученные при сопоставлении этих результатов, будут иметь значительные погрешности в определении срока эксплуатации конструкции. Поэтому необходимость применения ускоренного испытания путём повышения концентрации углекислого газа стало одной из важных задач в данном направлении исследования.

При проведении ускоренных испытаний необходимо условие, обеспечивающее минимальную погрешность результатов эксперимента относительно естественного фона при рабочей концентрации углекислого газа в среде. Выбор оптимальной концентрации углекислого газа определен в работе [10], раскрывающей гипотезу, что при 10 %-ной концентрации углекислого газа процесс карбонизации, вероятно, протекает с избытком газа, который возможно контролировать только диффузией углекислого газа. В естественных условиях концентрация углекислого газа гораздо ниже – 0,04 %, поэтому процесс контролируется уже двумя параметрами: диффузией углекислого газа и химической реакцией. Учитывая данный факт, было принято решение в качестве рабочей концентрации принять 5 % концентрацию углекислого газа, при которой не наблюдается значительного избытка углекислого газа, что приближает эксперимент к естественным условиям, согласно результатам, приведённым в работе [11].

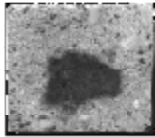
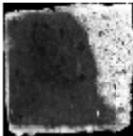
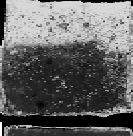
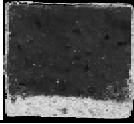
Для определения скорости карбонизации бетона была выбрана стандартная методика испытания, рекомендуемая по ГОСТ Р 52804-2007 и в EN13295:2004. Прототипом для создания экспериментальной установки послужили разработки Н.К. Розенталя и В.К. Язева [12], усовершенствованные установки и методики испытания, которые подробно описаны в работах [11, 13].

Перед началом протравливания углекислым газом все грани контрольных образцов обрабатывались воздухонепроницаемым материалом, чтобы исключить влияние краевых эффектов, влияющих на точность замера глубины карбонизации бетона. На основании серии проведённых пробных опытов над разными материалами, было принято решение использовать трёхслойное покрытие, состоящее из двух слоёв водно-дисперсной полиакриловой краски и одного слоя парафина.

Немаловажное значение имеет выбор стороны рабочей грани образца. По результатам проведённого предварительного опыта на образцах из мелкозернистого бетона с $V/C=0,60$ (табл. 2) установлено, что наиболее равномерное распределение фронта глубины карбонизации бетона возникает в верхней и нижней гранях образца. Из табл. 2 видно, что наиболее рациональной для исследования является нижняя грань, так как она имеет меньшее отклонение и соответствует фактически заявленной марке бетона по водонепроницаемости.

Через определённый промежуток времени каждый образец, вынутый из установки, подвергался сколу, на котором определялась глубина карбонизации. Глубину карбонизации бетона определяли по изменению водородного показателя pH, на свежий скол наносился индикатор – 0,1 %-ный раствор фенолфталеина, согласно рекомендациям, приведённым в работе [3]. Фенолфталеин менял свою окраску от бесцветного – в карбонизированной зоне до малинового или пурпурного цвета – в некарбонизированной зоне.

Таблица 2

№ п/п	Способ обработки образца	Макроснимок образца	Средняя глубина карбонизации бетона, мм	Среднеквадратическое отклонение, %	Отрицательные факторы
1	без обработки		17,05	23,3	- наличие «краевого» эффекта, вследствие чего происходит значительное искажение результатов; - хаотичное «смещение» центра зоны здорового бетона, следовательно, невозможно измерить глубину нейтрализации бетона на конкретном уровне; - во многом зависит от технологических факторов (неравномерность уплотнения образца по всему сечению)
2	обработка нижней, верхней, а также одной боковой грани		16,38	13,2	- зависит от технологических факторов (уплотнение смеси); - неравномерная скорость нейтрализации бетона по сечению;
3	обработка нижней и боковых граней		15,47	4,8	- из-за повышенной пористости верхнего слоя скорость нейтрализации бетона высокая
4	обработка верхней и боковых граней		8,77	3,6	- скорость нейтрализации бетона медленная – из-за высокой плотности бетона

Для наблюдения за кинетикой карбонизации бетона сколы проводились последовательно на одном и том же образце с минимальным интервалом в 15 мм от предыдущего скола. Примерно через минуту обработанный индикатором скол подвергался фотографированию (макросъёмке). При этом объектив фотоаппарата устанавливается строго перпендикулярно к оси образца, чтобы исключить фактор искажения изображения. Для обеспечения этого условия использовался штатив с уровнем.

Далее образец обрабатывался повторно воздухонепроницаемым материалом (парафином) и вновь помещался в камеру для дальнейшей карбонизации.

Полученный макроснимок сечения экспортировался в программу AutoCAD и, согласно фактическим размерам сечения, подвергался масштабированию. Далее на фотоснимке выделялся участок размером 10x20 мм в центре образца. Глубина карбонизации образца в каждом сечении рассчитывалась по результатам 10 измерений с одного выделенного участка. Точность измерения по сечениям принята 0,5 мм.

Согласно рекомендациям по определению глубины карбонизации образцов, приведённым в EN13295:2004, при определении общего фронта карбонизации выделялись следующие типы отклонений фронта от нормального распределения: большой угловой эффект; волновой фронт; локальная глубокая карбонизация; отклонение фронта из-за присутствия больших фрагментов плотного заполнителя; отклонение фронта из-за присутствия фрагментов пористого заполнителя.

Обработка полученных данных выполнялась современными статистическими методами в программе Statistica 6.0. Результатом данной обработки является получение среднестатистических значений с верхним пределом, с учётом коэффициента Стьюдента, 0,95.

Результаты исследования

Полученные фрагменты сколов части образцов приведены в табл. 3-4. Графики, с полученными в результате экспериментов данными глубины карбонизации образцов бетона и цементного камня, в зависимости от времени каждого скола, приведены на рис. 1-2.

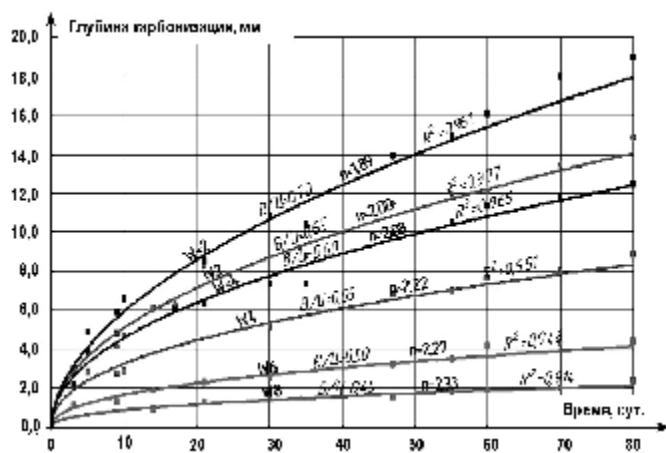


Рис. 1. Скорость карбонизации образцов из мелкозернистого бетона состава 1:3 с разным водоцементным отношением
 R^2 – коэффициент сходимости (коэффициент детерминации)

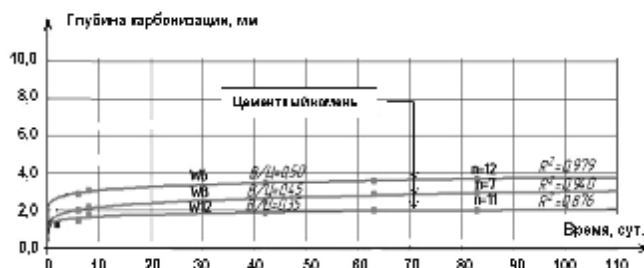


Рис. 2. Скорость карбонизации образцов цементного камня
 R^2 – коэффициент сходимости (коэффициент детерминации)

Таблица 3

Материал образца	Марка по водопоглощению	мм	Фрагменты сколов образцов, сделанные через промежуток времени, сут.					
			1	6	8	42	63	83
Цементный камень В/Ц=0,50	W6	0						
		10						
		20						
		30						
		40						
		50						
Цементный камень В/Ц=0,40	W8	0						
		10						
		20						
		30						
		40						
		50						
Цементный камень В/Ц=0,35	W12	0						
		10						
		20						
		30						
		40						
		50						

Таблица 4

Результаты определения глубины карбонизации образцов из мелкозернистого бетона

Материал образца	Влажность, %	Модуль упругости, МПа	Мин	Фрезевентиль скалов образцов, сделанные через промежутки времени, сут.													
				3	5	9	10	14	17	21	30	35	47	55	60	70	80
Мелкозернистый бетон Ц/П=1:3, В/Ц=0,7	8,1%	<W2	0 10 20														
Мелкозернистый бетон Ц/П=1:3, В/Ц=0,65	6,6%	W2	0 10 20														
Мелкозернистый бетон Ц/П=1:3, В/Ц=0,6	5,1%	<W4	0 10 20														
Мелкозернистый бетон Ц/П=1:3, В/Ц=0,55	5,6%	W4	0 10 20														
Мелкозернистый бетон Ц/П=1:3, В/Ц=0,50	4,5%	W6	0 10 20														
Мелкозернистый бетон Ц/П=1:3, В/Ц=0,45	4,2%	W8	0 10 20														

Экспериментально полученные точки подверглись регрессионному анализу, где в качестве наилучшей функции сходимости принята степенная функция вида (4), соответствующая виду (3):

$$L = A_n t^{1/n}. \quad (4)$$

Из данных рис. 3-4 получена расчётная зависимость показателя степени n от водоцементного отношения (В/Ц) (рис. 3) в виде показательной функции (5):

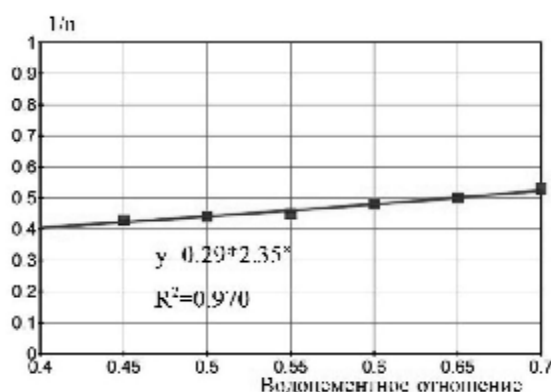
$$\frac{1}{n} = c \times d^{B/C}, \quad (5)$$

где $c = 0,29$ и $d = 2,35$ – эмпирические коэффициенты.

Результаты определения коэффициентов n и A_n приведены в табл. 5.

Таблица 5

Водоцементное отношение, В/Ц	Марка по водонепроницаемости, W	Коэффициент A_y , см/год ⁻ⁿ	Коэффициент A_n , см/год ⁻ⁿ	Показатель степени n в формуле (2)
0,70	< 2	4,03	0,29	1,89
0,65	2	3,03	0,25	2,00
0,60	< 4	2,58	0,20	2,08
0,55	4	1,66	0,16	2,22
0,50	6	0,81	0,11	2,27
0,45	8	0,41	0,07	2,33

Рис. 3. Зависимость показателя n от водоцементного отношения В/Ц

Переход от данных, полученных в ускоренных испытаниях к естественным условиям эксплуатации бетона (при концентрации углекислого газа среды равной 0,04%), предложено осуществлять по формуле (6):

$$A_n \gg A_y \times \sqrt[3]{C_{0,04\%} / C_y}, \quad (6)$$

где A_n – коэффициент для естественных условий эксплуатации (табл. 5);

A_y – эмпирический коэффициент, полученный при ускоренных испытаниях (табл. 5);

$C_{0,04\%}$ – концентрация CO_2 в естественных условиях эксплуатации, %;

C_y – концентрация CO_2 при ускоренных испытаниях на карбонизацию (5 %).

Анализ полученных данных мелкозернистого бетона (рис. 1) свидетельствует о том, что глубина карбонизации бетона определяется плотностью образцов, причём образцы из мелкозернистого бетона дают выраженную зависимость степени карбонизации от их плотности ($n = 1,89 \dots 2,33$), следовательно, скорость карбонизации описывается зависимостью вида (3).

Данные для образцов из цементного камня (рис. 2) также соответствуют зависимости (3), а некоторое расхождение результатов расчёта значений n с функцией (4) может быть объяснено погрешностями в определении глубины карбонизации в начальной фазе эксперимента (0-10 сут.) из-за наличия поверхностных пор. В более поздние сроки общая закономерность соблюдается.

Выводы

1. Получены результаты испытаний кинетики карбонизации образцов из мелкозернистого бетона и цементного камня в условиях 5 % концентрации углекислого газа и относительной влажности среды 75 %.

2. Установлено, что скорость карбонизации бетона с наибольшей достоверностью описывается степенной функцией вида $L=A_n \times t^{1/n}$, где L – глубина карбонизации, A_n – коэффициент, при этом показатель степени n является величиной не постоянной и меняется в зависимости от плотности образца: в пористом бетоне с маркой по водонепроницаемости $W_2 \dots W_4$ значение n изменяется от 1,90 до 2,16.

3. Установлена кинетика карбонизации цементного камня: из-за большого количества гидратных фаз степень карбонизации стремится на начальной стадии к глубокому проникновению через поверхностные поры в тело бетона, а на более поздних стадиях – к последующему быстрому затуханию.

Список библиографических ссылок

1. History of Cement Static Content. URL: http://www.cement.ca/en/content/History_of_Cement_Static_Content.html (дата обращения 28.05.2014).
2. Москвин В.М. К вопросу о долговечности строительных конструкций // Сб. трудов НИИЖБ «Защита от коррозии строительных конструкций и повышение их долговечности». – М.: Стройиздат, 1969. – С. 3-9.
3. Алексеев С.Н., Розенталь Н.К. Коррозионная стойкость железобетонных конструкций в агрессивной промышленной среде. – М.: Стройиздат, 1976. – 205 с.
4. Ishida T., Maekawa K., Soltani M. Theoretically Identified Strong Coupling of Carbonation Rate and Thermodynamic Moisture States in Micropores of Concrete // Journal of Advanced Concrete Technology, Vol. 2, № 2. – P. 213-222.
5. Liang M., Wu J., Liang C. «Multiple Layer Fuzzy Evaluation for Existing Reinforced Concrete Bridges» J. Infrastruct. Syst., 7(4), 2001. – P. 144-159.
6. Papadakis V.G., Vayenas C.G., Fardis M.N. A reaction engineering approach to the problem of concrete carbonation, Journal of the American Institute of Chemical Engineers, 1 (11), 1989. – P. 110-122.
7. Анваров А.Р., Латыпова Т.В., Латыпов В.М. Учёт химического взаимодействия при построении математических моделей коррозии бетона // материалы международной конференции «Проблемы безопасности зданий и сооружений в современном строительстве». – СПб., 2007. – С. 43-50.
8. Рябич В.Ф. О толщине защитного слоя бетона // Бетон и Железобетон, 1971, № 4. – С. 23-24.
9. Вандаловская Л.А. Исследование процессов коррозии железобетонных конструкций прядильных цехов вискозных производств и разработка способов повышения долговечности: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Киев, НИИСК, 1972. – 20 с.
10. Латыпов В.М., Федоров П.А. О возможности проведения ускоренных испытаний при исследовании карбонизации бетона // Проблемы строительного комплекса России: материалы XIII Межд. научно-техн. конф.: тез. докл. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2009. – С. 50-51.
11. Федоров П.А., Анваров Б.Р. и др. О математической зависимости, описывающей процесс нейтрализации бетона // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура, 2010, вып. 15 (191). – С. 13-15.
12. Установка для определения кинетики карбонизации бетона: а.с. 388227 G01n 33/38. СССР. Н.К. Розенталь, П.В. Язев (НИИ Бетона и Железобетона), № 1752120/29-33, заявл. 25.11.1972; опубл. 1973, № 28. – 297 с.
13. Установка для определения кинетики карбонизации бетона: пат. № 2502711 Российская федерация, МПК C04B40/00C01N33/38.; Латыпов В.М., Федоров П.А., Анваров Б.Р.; № 2012128440/15; заявл. 05.07.2012; опубл. 27.12.2013. Бюл. № 36. – 6 с.

Gilmutdinov T.Z. – post-graduate student
Fedorov P.A. – candidate of technical sciences, associate professor
Latypov V.M. – doctor of technical sciences, professor
E-mail: stexpert@mail.ru
Ufa State Petroleum Technological University
The organization address: 450062, Russia, Ufa, Kosmonavtov st., 1

Results of researches of the accelerated carbonization of concrete and cement stone in normal temperature and moist conditions of the environment

Resume

This work is directed on studying of processes of carbonization of samples from a cement stone and fine-grained concrete. The special attention to a choice of a working surface is paid at an impact by carbon dioxide recommendations about a choice of an air-tight covering for control samples are made.

Existing methods of an assessment of kinetics of carbonization of concrete are inexact or bulky, with a large number of unknown indicators. The guaranteed term of operation of designs manages to be determined by existing methods not always because of a wide spacing of parameters. Therefore carrying out laboratory researches by modeling of the real environment of operation is an actual task.

Researches were conducted on the basis of requirements of GOST P 52804-2007 and EN 13295:2004, special advanced installation, in the conditions of 5 % concentration of carbon dioxide of the environment and relative humidity of 75 % of air. Processing of results took place by means of statistical methods of processing of results.

Because of researches data on kinetics of carbonization of samples with a different density from fine-grained concrete and a cement stone in the conditions of 5 % concentration of carbon dioxide were received at a normal temperature and moist mode of the environment, settlement dependences of depth of carbonization on time are received for each series of samples. On the basis of the conducted researches recommendations about a choice of a working surface of samples for an impact are made by carbon dioxide.

Keywords: durability of construction designs, carbon dioxide, carbonization, concrete, cement stone, reinforced concrete, mathematical model of corrosion.

Reference list

1. History of Cement Static Content. URL: http://www.cement.ca/en/content/History_of_Cement_Static_Content.html (reference date: 28.05.2014).
2. Moskvina V.M. To a question of durability of construction designs // Sb. works NIIZhB «Protection against corrosion of construction designs and increase of their durability». – M.: Stroyizdat, 1969. – P. 3-9.
3. Alekseev S.N., Rosental N.K. Corrosion resistance of ferroconcrete designs in hostile industrial environment. – M.: Stroyizdat, 1976. – 205 p.
4. Ishida T., Maekawa K., Soltani M. Theoretically Identified Strong Coupling of Carbonation Rate and Thermodynamic Moisture States in Micropores of Concrete // Journal of Advanced Concrete Technology Vol. 2, № 2. – P. 213-222.
5. Liang M., Wu J., Liang C. «Multiple Layer Fuzzy Evaluation for Existing Reinforced Concrete Bridges» J. Infrastruct. Syst., 7 (4), 2001. – P. 144-159.
6. Papadakis V.G., Vayenas C.G., Fardis M.N. A reaction engineering approach to the problem of concrete carbonation, Journal of the American Institute of Chemical Engineers, 1 (11), 1989. – P. 110-122.
7. Anvarov A.R., Latypova T.V., Latypov V.M. The accounting of chemical interaction at creation of mathematical models of corrosion of concrete // materials of the international conference «Problems of Safety of Buildings and Constructions in Modern Construction». – SPb., 2007. – P. 43-50.

8. Ryabchich V.F. About thickness of a protective layer of concrete // Beton i Zhelezobeton, 1971, № 4. – P. 23-24
9. Vandalovskaya L.A. Research of processes of corrosion of ferroconcrete designs of spinning shops of viscose productions and development of ways of increase of durability: autoref. cand. tech. sci. – Kiev, NIISK, 1972. – 20 p.
10. Latypov V.M., Fedorov P.A. About possibility of carrying out the accelerated tests at research of carbonization of concrete // Problems of a construction complex of Russia: materials XIII International scientific technical conference, abstracts. – Ufa: UGNTU publishing house, 2009. – P. 50-51.
11. Fedorov P.A., Anvarov B.R., etc. About the mathematical dependence describing process of neutralization of concrete // Vestnik Yuzhno-Uralskogo gosudarstvennogo universiteta Seriya Stroitelstvo i arhitektura, 2010, № 15 (191). – P. 13-15.
12. Installation for definition of kinetics of carbonization of concrete: a.s. 388227 G01n 33/38. USSR. N.K. Rosenthal, P.V. Yazev (Concrete and Reinforced concrete scientific research institute), № 1752120/29-33; statement 25.11.1972; published 1973, № 28. – 297 p.
13. Installation for definition of kinetics of carbonization of concrete: stalemate. Patent № 2502711 Russian Federation, MPK C04B40/00 C01N33/38.; Latypov V.M., Fedorov P.A., Anvarov B.R.; № 2012128440/15; statement 05.07.2012; published 27.12.2013. Bulletin № 36. – 6 p.