



нииц строительство
научно-исследовательский центр



АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР «СТРОИТЕЛЬСТВО».
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ, ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСКИЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
БЕТОНА И ЖЕЛЕЗОБЕТОНА ИМЕНИ А. А. ГВОЗДЕВА



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАКЛЮЧЕНИЕ

по теме:

«Проведение испытаний гидроизоляционных материалов марки «ПЕНЕТРОН» по показателю диффузионная проницаемость CO₂ по ГОСТ 31383-2008 по сравнению с бетоном без защиты и выдача научно-технического заключения»

Гарантийное письмо № 01/03 от 01.03. 2017 г.

Заказчик:

ЗАО «Группа компаний «Пенетрон-Россия»

Зав. лабораторией № 13, д.т.н.

Степанова В. Ф.

Ответственные исполнители:

Старший научный сотрудник

Зими́на Т. Л.

научный сотрудник

Полушкин А. Л.

Москва, 2017 г.

Содержание

| | | |
|----|--|----|
| 1. | Характеристика материала, представленного на испытания | 4 |
| 2. | Основные технологические параметры изготовления образцов | 6 |
| 3. | Определение диффузионной проницаемости CO ₂ бетона с добавкой «Пенетрон-Адмикс» и с нанесенным материалом «Пенетрон» по ГОСТ 31383-2008 | 10 |
| | Приложения | 20 |

В соответствии с гарантийным письмом № 01/03 от 01.03.2017 г. были проведены испытания материалов марки «ПЕНЕТРОН» по определению диффузионной проницаемости CO_2 (определение защитных свойств материалов марки «ПЕНЕТРОН» от карбонизации) по ГОСТ 31383-2008. Для проведения испытаний Заказчиком ЗАО «Группа компаний «Пенетрон-Россия» предоставлены материалы марки «ПЕНЕТРОН» – гидроизоляционный материал «Пенетрон» и гидроизоляционная добавка «Пенетрон-Адмикс».

Пенетрон – общее название системы материалов, предназначенных для гидроизоляции бетонных и железобетонных конструкций.

Гидроизоляционный материал «Пенетрон» представляет собой сухую строительную гидроизоляционную проникающую капиллярную смесь. Смесь предназначена для гидроизоляции бетонных и железобетонных элементов конструкций за счёт повышения водонепроницаемости бетона, приобретения бетоном свойства «самозалечивания» трещин раскрытием до 0,4 мм.

«Пенетрон-Адмикс» – гидроизоляционная добавка в бетонную смесь для увеличения показателей бетона по водонепроницаемости, морозостойкости и прочности. Представляют собой сухую смесь на основе специального цемента и запатентованных химических компонентов. По внешнему виду материал представляет собой сыпучий порошок серого цвета, не содержащий комков и механических примесей.

Материалы «Пенетрон» и «Пенетрон-Адмикс» выпускаются ООО «Завод гидроизоляционных материалов «ПЕНЕТРОН» (г. Екатеринбург) в соответствии с Техническими условиями «Смеси сухие гидроизоляционные дисперсные системы «ПЕНЕТРОН» ТУ 5745-001-77921756-2006. Техническое описание материалов с инструкцией по применению представлено в «Технологическом регламенте на выполнение работ по гидроизоляции и антикоррозионной защите монолитных и сборных бетонных и железобетонных конструкций».

Материал «Пенетрон» изготовлен 03.11.2016 г., паспорт № 001.
Материал «Пенетрон-Адмикс» изготовлен 15.08.2016 г., паспорт № 001.

Материалы торговой марки «ПЕНЕТРОН» изготавливаются в соответствии со спецификацией производителя и имеют сертификат соответствия № РОСС RU.СЛ47.Н00691 от 01.09.2017 г.

Материалы имеют свидетельство государственной регистрации № RU.66.01.31.013.Е.000224.10.13 от 24.10.2013 г. и Экспертное заключение № 77.01.03.П.002537.02.13 от 27.02.2013 г.

Для проведения испытаний представителями Заказчика ЗАО «Группа компаний «Пенетрон-Россия» и лаборатории коррозии и долговечности бетонных и железобетонных конструкций НИИЖБ – АО «НИЦ «Строительство» произведен отбор проб гидроизоляционного материала «Пенетрон» и добавки «Пенетрон-Адмикс».

Для проведения испытаний отобраны пробы материалов марки «ПЕНЕТРОН»:

- добавка «Пенетрон-Адмикс» в количестве 4 кг (ведро) из партии № РА 16 225 001;
- материал «Пенетрон» 5 кг (ведро) из партии № PN 16 307 001.

2. Основные технологические параметры изготовления образцов

Для проведения испытаний материалов марки «ПЕНЕТРОН» по определению диффузионной проницаемости CO_2 по ГОСТ 31383-2008 в лаборатории коррозии и долговечности бетонных и железобетонных конструкций НИИЖБ представителями Исполнителя проведено изготовление образцов бетона, предназначенных для нанесения материала «Пенетрон», образцов бетона с добавкой «Пенетрон-Адмикс» и контрольных образцов бетона.

Изготовлены образцы-кубы размером 10x10x10 см в количестве 6 образцов на каждый состав для определения диффузионной проницаемости CO_2 по ГОСТ 31383-2008;

В соответствии с ГОСТ 30459-2003 для изготовления образцов был принят состав бетона с расходом материалов на 1 куб. м бетона:

Ц : П : Щ = 330 кг : 780 кг : 1020 кг, В/Ц = 0,51.

Для производства работ использовался портландцемент без минеральных добавок на основе клинкера нормированного состава М 500 марки ПЦ 500-Д0-Н по ГОСТ 10178-85 производства Обособленного подразделения АО «Лафарж Цемент» (п. Ферзиково), партия 91 от 08.02.2017 г. Цемент имеет справку от 20.02.2017 г. по результатам испытаний данного цемента в лаборатории Обособленного подразделения АО «Лафарж Цемент» на соответствие цемента требованиям ГОСТ 10178-85 и ГОСТ 30515-2013.

Приготовление бетонной смеси с добавкой «Пенетрон-Адмикс» выполняли в соответствии с Техническими условиями и Технологическим регламентом по следующей технологии:

- подготовка расчетного количества сухой смеси песка и цемента;
- перемешивание полученной смеси с расчетным количеством щебня;
- добавление воды с дальнейшим перемешиванием;
- добавление в смесь водного раствора «Пенетрон-Адмикс» в количестве 1 % от массы цемента и тщательное перемешивание в течение 3 минут.

Приготовление бетона для контрольных образцов и образцов для нанесения материала «Пенетрон» осуществлялось аналогично, за исключением введения добавки «Пенетрон-Адмикс».

После приготовления составов была измерена осадка конуса. Для бетонной смеси контрольных образцов и образцов, предназначенных для нанесения материала «Пенетрон», ОК = 3 см, для бетонной смеси с добавкой «Пенетрон-Адмикс» ОК = 3 см.

По окончании был составлен акт по изготовлению образцов для испытаний.

Распалубку образцов производили после 1 суток выдерживания их в опалубочных формах во влажных условиях. После распалубки все бетонные образцы были помещены в камеру влажного хранения (температура 20-25 °С, влажность 95 %).

После 28 суток с момента бетонирования образцы для нанесения материала «Пенетрон» были извлечены и в течение 3 суток были выдержаны в воде при полном погружении до полного водонасыщения. Перед нанесением образцы были извлечены из воды и обтерты влажной тряпкой. Приготовление и нанесение материала «Пенетрон» выполняли в соответствии с Техническими условиями и Технологическим регламентом.

После нанесения и выдержки в течение суток образцы бетона с нанесенным материалом «Пенетрон», а также образцы бетона с добавкой «Пенетрон-Адмикс», для имитации капиллярного подсоса были установлены в емкость с водой на подставки так, чтобы вода закрывала примерно 3/4 высоты образца. Образцы были выдержаны в таких условиях в течение 19 суток. Условия хранения и время выдержки образцов до испытаний определялись рекомендациями Заказчика и Техническими условиями.

Образцы извлекали из воды и выдерживали до испытаний в течение 7 суток при комнатной температуре ($20 \pm 5^\circ\text{C}$).

Для проведения испытаний по основным показателям качества была принята следующая маркировка образцов:

Серия 1 – образцы бетона с нанесенным материалом «Пенетрон», маркировка П;

Серия 2 – образцы бетона с добавкой «Пенетрон-Адмикс», маркировка А;

Серия 3 – контрольные образцы бетона, маркировка К.

В соответствии с планом работ проведены испытания по определению диффузионной проницаемости CO_2 по ГОСТ 31383-2008.

3. Определение диффузионной проницаемости CO₂ бетона с добавкой «Пенетрон-Адмикс» и с нанесенным материалом «Пенетрон» по ГОСТ 31383-2008

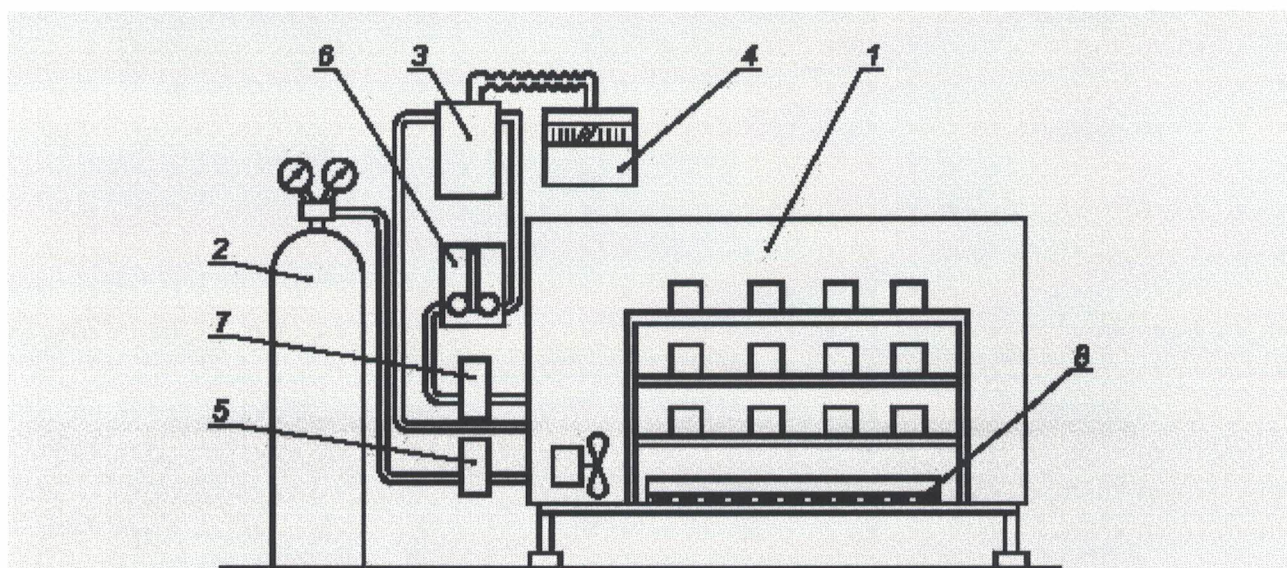
Диффузионную проницаемость бетона для углекислого газа определяли в соответствии с методикой, изложенной в ГОСТ 31383-2008 «Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии. Методы испытаний».

Для проведения испытаний были изготовлены бетонные образцы размером 10×10×10 см трех партий:

- образцы бетона с нанесенным материалом «Пенетрон», маркировка П;
- образцы бетона с добавкой «Пенетрон-Адмикс», маркировка А;
- контрольные образцы бетона без добавки и без покрытия, маркировка К.

Согласно методике диффузионную проницаемость определяли на основании данных о скорости нейтрализации (карбонизации) бетона углекислым газом в отсутствие градиента общего давления газовой среды при наличии разности концентрации углекислого газа в бетоне и в окружающей среде в период, когда процесс нейтрализации ограничен скоростью диффузии углекислого газа в пористой структуре бетона.

Испытания проводили на специальной установке с автоматическим поддержанием заданной концентрации углекислого газа. Принципиальная схема установки представлена на рис. 1, общий вид камеры – на рис. 2.



1 – камера; 2 – баллон с CO_2 ; 3 – автоматический газоанализатор; 4 – показывающий командный прибор; 5 – электрический клапан; 6 – блок регулирования потока газа в трубопроводе газоанализатора; 7 – побудитель расхода газа; 8 – ванна с насыщенным раствором хлорида натрия; 9 – вентилятор

Рис. 1 – Схема установки для определения диффузионной проницаемости бетона для углекислого газа.

Камера установки имеет постоянные параметры среды: концентрация углекислого газа – (10 ± 5) % по объему; относительная влажность воздуха – (75 ± 3) %; температура – (20 ± 5) °С.

Образцы выдерживали в камере в течение 14 суток, промежуточные определения проводили в 7 суток.

По истечении заданного срока образцы извлекали из камеры и раскалывали в направлении. На поверхность скола по периметру образца наносили 0,1 %-ный спиртовой раствор фенолфталеина. Мерной линейкой с точностью до 0,1 см измеряли толщину нейтрализованного слоя бетона, которая равна расстоянию от поверхности образца до слоя, окрашенного в малиновый цвет. Измерения проводили через 1 см по периметру образца.



Рис. 4. Общий вид камеры для определения диффузионной проницаемости бетона для углекислого газа.

Среднее значение толщины нейтрализованного слоя бетона x , см, рассчитывали по формуле:

$$x = \frac{\sum_1^n x}{n},$$

где n – число измерений.

Реакционную емкость бетона m_0 в относительных величинах, рассчитывали по формуле:

$$m_0 = 0,4 \cdot \eta \cdot p \cdot f,$$

где η – содержание цемента, г в 1 см³ бетона;

p – количество основных оксидов в цементе в пересчете на СаО в относительных величинах по массе, принимаемое по данным химического анализа ($\sim p=0,6$);

f – степень нейтрализации бетона, равная отношению количества основных оксидов, вступивших во взаимодействие с углекислым газом, к общему их количеству в цементе ($\sim f=0,6$).

Эффективный коэффициент диффузии углекислого газа в бетоне D' , см²/с рассчитывали по формуле:

$$D' = \frac{m_0 \cdot x^2}{2 \cdot c \cdot \tau},$$

где m_0 – реакционная емкость бетона или объем газа, поглощенный единицей объема бетона;

x – толщина нейтрализованного слоя бетона; см;

c – концентрация углекислого газа в относительных величинах по объему;

τ – продолжительность воздействия газа на бетон, с.

Внешний вид бетонных образцов после испытаний приведен на рисунках 5-10. Результаты испытаний приведены в таблице 1.



Рис. 5. Внешний вид бетонных образцов с нанесенным материалом «Пенетрон» после 7 суток испытаний.



Рис. 6. Внешний вид бетонных образцов с добавкой в бетон «Пенетрон-Адмикс» после 7 суток испытаний.



Рис. 7. Внешний вид контрольных бетонных образцов после 7 суток испытаний.

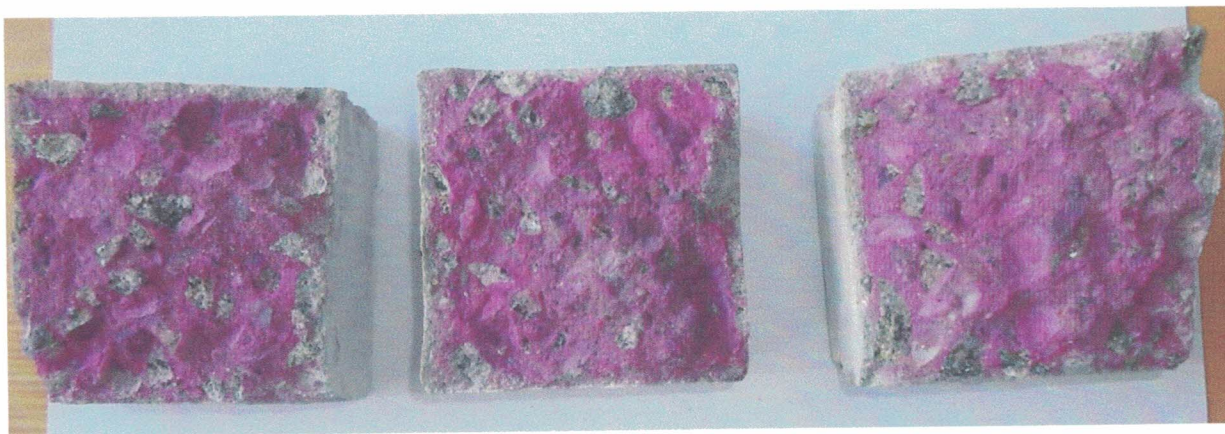


Рис. 8. Внешний вид бетонных образцов с нанесенным материалом «Пенетрон» после 14 суток испытаний.



Рис. 9. Внешний вид бетонных образцов с добавкой в бетон «Пенетрон-Адмикс» после 14 суток испытаний.

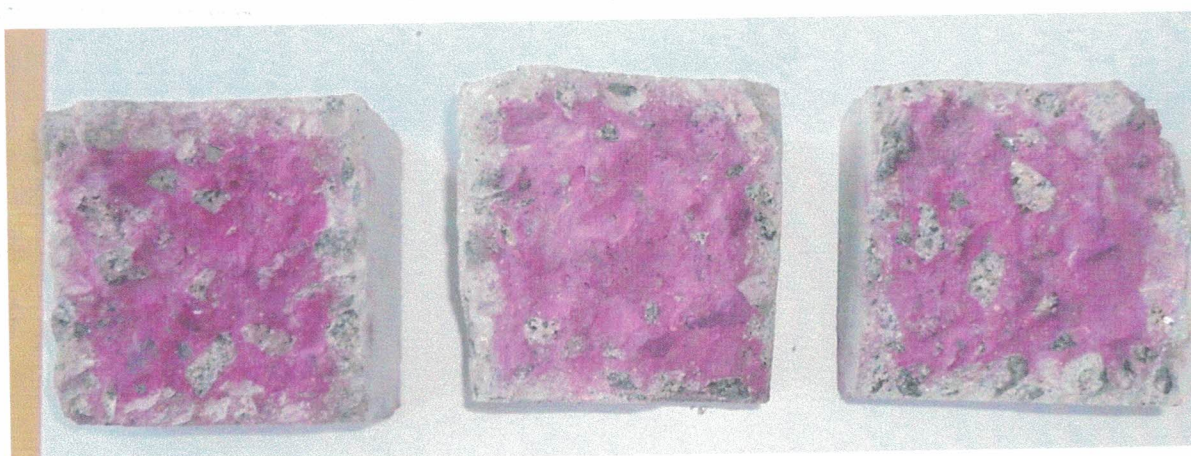


Рис. 10. Внешний вид контрольных бетонных образцов после 14 суток испытаний.

Таблица 1.

Диффузионная проницаемость для углекислого газа бетона с нанесенным материалом «Пенетрон» и с добавкой в бетон «Пенетрон-Адмикс»

| Вид бетонных образцов | № образца | Грани образца | Глубина карбонизации, мм, через | | | | | | Эффективный коэффициент диффузии CO ₂ , Д'см ² /с | | |
|--|-----------|---------------|---------------------------------|--------------------|-----|--------------------------|--------------------|-----|---|-----------------------|-----------------------|
| | | | 7 суток | | | 14 суток | | | 7 суток | 14 суток | Среднее значение |
| | | | Средняя по грани | Средняя по образцу | max | Средняя по грани | Средняя по образцу | max | | | |
| С нанесенным материалом «Пенетрон», маркировка П | 2.1 | Не определены | 1,1 0 1,0 2,1 | 1,05 | 3,0 | – | – | – | 0,05×10 ⁻⁴ | – | 0,30×10 ⁻⁴ |
| | 2.2 | « | 0,2 2,7 0,7 2,1 | 1,40 | 3,0 | – | – | – | 0,08×10 ⁻⁴ | – | |
| | 2.3 | « | 0,2 1,1 0,9 2,6 | 1,20 | 3,0 | – | – | – | 0,06×10 ⁻⁴ | – | |
| | 2.4 | « | – | – | – | 2,9 4,1 3,8 1,4 | 3,05 | 8,0 | – | 0,19×10 ⁻⁴ | |
| | 2.5 | « | – | – | – | 4,7 4,2 6,1 4,0 | 4,80 | 9,0 | – | 0,48×10 ⁻⁴ | |
| | 2.6 | « | – | – | – | 2,0 2,5 4,0 4,6 | 3,30 | 7,0 | – | 0,23×10 ⁻⁴ | |

Продолжение таблицы 1

| Вид бетонных образцов | № образца | Грани образца | Глубина карбонизации, мм, через | | | | | | Эффективный коэффициент диффузии CO ₂ , Дсм ² /с | | |
|--------------------------------------|-----------|---------------|---------------------------------|--------------------|-----|------------------|--------------------|-----|--|-----------------------|-----------------------|
| | | | 7 суток | | | 14 суток | | | 7 суток | 14 суток | Среднее значение |
| | | | Средняя по грани | Средняя по образцу | max | Средняя по грани | Средняя по образцу | max | | | |
| С добавкой в бетон «Пенетрон-Адмикс» | 3.1 | верхняя | 1,4 | 1,15 | 3,0 | – | – | – | 0,055×10 ⁻⁴ | – | 0,19×10 ⁻⁴ |
| | | нижняя | 1,2 | | | – | | | | | |
| | | боковые | 0,85 | | | – | | | | | |
| | 3.2 | верхняя | 2,3 | 1,20 | 5,0 | – | – | – | 0,06×10 ⁻⁴ | – | |
| | | нижняя | 0 | | | – | | | | | |
| | | боковые | 1,4 | | | – | | | | | |
| | 3.3 | верхняя | 1,4 | 1,10 | 5,0 | – | – | – | 0,05×10 ⁻⁴ | – | |
| | | нижняя | 0 | | | – | | | | | |
| | | боковые | 1,9 | | | – | | | | | |
| | 3.4 | верхняя | – | – | – | 3,3 | 2,60 | 5,0 | – | 0,14×10 ⁻⁴ | |
| | | нижняя | – | | | 1,4 | | | | | |
| | | боковые | – | | | 3,2 | | | | | |
| | 3.5 | верхняя | – | – | – | 3,5 | 3,10 | 8,0 | – | 0,20×10 ⁻⁴ | |
| | | нижняя | – | | | 1,8 | | | | | |
| | | боковые | – | | | 4,1 | | | | | |
| | 3.6 | верхняя | – | – | – | 4,5 | 3,30 | 8,0 | – | 0,23×10 ⁻⁴ | |
| | | нижняя | – | | | 0,8 | | | | | |
| | | боковые | – | | | 4,5 | | | | | |

Окончание таблицы 1

| Вид бетонных образцов | № образца | Грани образца | Глубина карбонизации, мм, через | | | | | | Эффективный коэффициент диффузии CO ₂ , Д'см ² /с | | |
|-----------------------|-----------|---------------|---------------------------------|--------------------|------|------------------|--------------------|------|---|-----------------------|-----------------------|
| | | | 7 суток | | | 14 суток | | | 7 суток | 14 суток | Среднее значение |
| | | | Средняя по грани | Средняя по образцу | max | Средняя по грани | Средняя по образцу | max | | | |
| Контрольные | 1.1 | верхняя | 10,0 | 7,80 | 13,0 | – | – | – | 2,50×10 ⁻⁴ | – | 2,10×10 ⁻⁴ |
| | | нижняя | 5,7 | | | – | | | | | |
| | | боковые | 7,7 | | | – | | | | | |
| | 1.2 | верхняя | 7,8 | 6,80 | 10,0 | – | – | – | 1,90×10 ⁻⁴ | – | |
| | | нижняя | 4,7 | | | – | | | | | |
| | | боковые | 8,0 | | | – | | | | | |
| | 1.3 | верхняя | 7,5 | 7,00 | 11,0 | – | – | – | 2,00×10 ⁻⁴ | – | |
| | | нижняя | 3,5 | | | – | | | | | |
| | | боковые | 10,0 | | | – | | | | | |
| | 1.4 | верхняя | – | – | – | 12,5 | 10,60 | 13,0 | – | 2,30×10 ⁻⁴ | |
| | | нижняя | – | | | 11,4 | | | | | |
| | | боковые | – | | | 7,9 | | | | | |
| | 1.5 | верхняя | – | – | – | 12,9 | 10,10 | 11,0 | – | 2,10×10 ⁻⁴ | |
| | | нижняя | – | | | 5,5 | | | | | |
| | | боковые | – | | | 11,8 | | | | | |
| | 1.6 | верхняя | – | – | – | 11,5 | 9,60 | 13,0 | – | 1,90×10 ⁻⁴ | |
| | | нижняя | – | | | 6,6 | | | | | |
| | | боковые | – | | | 10,7 | | | | | |

Результаты испытаний показали, что при применении проникающего гидроизоляционного материала «Пенетрон» глубина карбонизации бетона при воздействии углекислого газа снизилась в 1,5 раза по сравнению с контрольным бетоном. Максимальная глубина карбонизации бетона за одинаковый период времени для образцов с нанесенным проникающим гидроизоляционным материалом «Пенетрон» в среднем составила 8,0 мм, тогда как для бетона контрольных образцов – 12,0 мм, при эффективном коэффициенте диффузии углекислого газа $0,30 \times 10^{-4} \text{ см}^2/\text{с}$ и $2,10 \times 10^{-4} \text{ см}^2/\text{с}$ соответственно.

Ведение добавки «Пенетрон-Адмикс» в бетон также снизило диффузионную проницаемость бетона для углекислого газа почти в два раза. Максимальная глубина карбонизации бетона с добавкой «Пенетрон-Адмикс» по сравнению с контрольным бетоном снизилась до 7,0 мм с 12,0 мм, а эффективный коэффициент диффузии углекислого газа составил $0,19 \times 10^{-4} \text{ см}^2/\text{с}$ и $2,10 \times 10^{-4} \text{ см}^2/\text{с}$ соответственно.

Оценка диффузионной проницаемости бетона для углекислого газа позволяет рассчитать период, в течение которого происходит нейтрализация (карбонизация) защитного слоя бетона в газовой среде, и оценить по признаку сохранности стальной арматуры долговечность железобетонных конструкций, эксплуатируемых в неагрессивных и слабоагрессивных газовой средах.

Длительность защитного действия бетона τ_1 , годы, рассчитывали по формуле:

$$\tau_1 = \frac{x_1^2 \cdot c \cdot \tau}{x \cdot c_1},$$

где x_1 – толщина защитного слоя бетона в конструкции, см;

c_1 – концентрация углекислого газа по объему в условиях эксплуатации, в относительных величинах.

Для расчета принимали максимальную глубину карбонизации бетона в исследуемых образцах. Толщину защитного слоя бетона до арматуры в конструкции принимали 20 мм.

Результаты испытаний и расчета длительности защитного действия бетона приведены в таблице 4.

Таблица 4.

| Вид бетонных образцов | Максимальная глубина карбонизации бетона, см | Эффективный коэффициент диффузии CO_2 , $\text{Д}^2/\text{с}$ | Длительность защитного действия бетона при толщине защитного слоя 2 см, годы |
|--------------------------------------|--|--|--|
| Контрольные образцы | 12 | $2,10 \times 10^{-4}$ | 35 |
| С нанесенным материалом «Пенетрон» | 8 | $0,30 \times 10^{-4}$ | 80 |
| С добавкой в бетон «Пенетрон-Адмикс» | 7 | $0,19 \times 10^{-4}$ | 105 |

На основании проведенных испытаний и расчетов установлено:

1. Нанесение проникающего гидроизоляционного материала «Пенетрон» уменьшает проницаемость бетона для углекислого газа, что способствует снижению значения эффективного коэффициента диффузии с $2,10 \times 10^{-4} \text{ см}^2/\text{с}$ для контрольного бетона до $0,30 \times 10^{-4} \text{ см}^2/\text{с}$.

2. Введение в состав бетонной смеси добавки «Пенетрон-Адмикс» также понижает проницаемость бетона для углекислого газа: эффективный коэффициент диффузии углекислого газа составляет $0,19 \times 10^{-4} \text{ см}^2/\text{с}$ (для контрольного бетона – $2,10 \times 10^{-4} \text{ см}^2/\text{с}$).

3. Расчеты показали, что бетон с нанесенным проникающим гидроизоляционным материалом «Пенетрон» способен обеспечить сохранность арматуры в бетоне конструкций с защитным слоем 20 мм в течение 80 лет, бетон с добавкой «Пенетрон-Адмикс» – в течение 105 лет, в то время как длительность защитного действия контрольного бетона составила 35 лет.