

УДК 693.94

А. А. ВАСИЛЬЕВ, кандидат технических наук, Е. О. БЛОЦКАЯ, магистр технических наук, Л. В. ПЛИКУС, магистрант, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель, Р. И. ЗУМЕНТС, ООО "ДаКроса", г. Минск

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВТОРИЧНОЙ ЗАЩИТЫ БЕТОНА ОТ КАРБОНИЗАЦИИ

На основании лабораторных исследований образцов бетона, изготовленных в заводских условиях с применением тепловлажностной обработки (ТВО) и использованием вторичной защиты составом «ГС Пенетрат», получены регрессионные зависимости изменения карбонатной составляющей (показателя КС) по сечению бетона для различных классов бетона по прочности после хранения в течение 1 года в атмосферных условиях для области ускоренной карбонизации. Показано, что применение вторичной защиты в значительной степени уменьшает карбонизацию бетона для всех исследованных классов бетонов по прочности: для «низкопрочных» – на 18–47 % (в зависимости от исследуемой глубины), для «высокопрочных» – на 11–21 %.

Введение. Основным видом коррозии бетона в различных воздушных средах, способствующим развитию коррозии стальной арматуры различной степени интенсивности и определяющим, в целом, техническое состояние железобетонных элементов (ЖБЭ) и конструкций (ЖБК), является карбонизация. При карбонизации бетона происходят структурные изменения цементного камня, вызывающие деградацию бетона и снижение его защитных свойств по отношению к стальной арматуре. Значительная толщина защитного слоя и щелочная среда самого бетона обеспечивают ему наличие защитных свойств по отношению к стальной арматуре сразу после изготовления бетона. Однако в процессе эксплуатации химические свойства цементного камня бетона постоянно изменяются, приводя к постепенному снижению щелочности от поверхности вглубь бетона. Таким образом, процесс коррозионного разрушения конструкции начинается с ее поверхности. В первую очередь теряет свои эксплуатационные свойства бетон защитного слоя. Изменение его структуры происходит без видимых повреждений, коррозия арматуры начинается внутри бетона. Образующиеся продукты коррозии стали занимают в 2–2,5 раза больший объем, чем слой прокорродированного металла, и вызывают развитие растягивающих напряжений в бетоне, превышающих его прочность, в результате чего образуются трещины в защитном слое, ориентированные вдоль корродирующих стержней. Их образование облегчает доступ агрессивных агентов к стальной арматуре и ускоряет, как правило, ее коррозию. В дальнейшем, при отсутствии защитных и восстанавливающих мероприятий, развитие коррозии стальной арматуры приводит к отслаиванию и разрушению защитного слоя, нарушению сцепления арматуры с бетоном и падению несущей способности конструкции.

До настоящего времени не удалось предотвратить отрицательное воздействие CO_2 на бетонные и железобетонные конструкции. Поэтому изучению карбонизации и способам снижения ее скорости и интенсивности уделялось и уделяется большое внимание [1, 2].

Защита бетонных и железобетонных элементов (ЖБЭ) и конструкций (ЖБК) от карбонизации должна предусматриваться со стадии проектирования. Создавая проект сооружения необходимо разработать мероприятия, которые обеспечат требуемую долговечность стро-

ительным конструкциям. Проектирование защиты ЖБЭ и ЖБК от коррозии следует начинать с определения вида агрессивной среды, степени ее агрессивности и длительности воздействия, а затем на основании анализа установить вид защиты, произвести выбор материалов для нее, выработать конструктивные решения и подобрать требуемые способы осуществления защиты.

Выбор способа защиты должен производиться на основании технико-экономического сравнения вариантов с учетом заданного срока службы и расходов на возобновление защиты, текущий и капитальный ремонт конструкций и другие, связанные с эксплуатацией затраты.

Для защиты железобетонных элементов и конструкций от коррозии следует предусматривать первичные и вторичные меры. Так, в соответствии с ТКП 45-2.01-111-2008 (02250) «Защита строительных конструкций от коррозии. Строительные нормы проектирования» к *мерам первичной защиты* относятся:

- применение материалов и изделий, стойких к воздействию данной агрессивной среды;
- использование добавок, повышающих коррозионную стойкость материала и его защитную способность по отношению к стальной арматуре, стальным закладным деталям и соединительным элементам;
- снижение проницаемости бетона технологическими методами;
- соблюдение дополнительных расчетных и конструктивных требований при проектировании конструкций.

Меры вторичной защиты включают защиту поверхностей конструкций:

- металлическими, оксидными, лакокрасочными, металлизационно-лакокрасочными и мастичными покрытиями;
- оклеечной изоляцией из листовых и пленочных материалов;
- обмазочными, футеровочными и штукатурными покрытиями на основе минеральных и полимерных вяжущих, жидкого стекла и битума;
- облицовкой штучными или блочными изделиями из керамики, шлакоситалла, стекла, каменного литья, природного камня;
- уплотняющей пропиткой поверхностного слоя конструкций химически стойкими материалами;

– обработкой гидрофобизирующими, антисептирующими и биоцидными составами.

Очевидно, что меры вторичной защиты, несмотря на свою популярность, требуют больших финансовых и временных затрат. Необходимо учесть все нюансы и найти наиболее эффективные решения, закупить защитные смеси для разных элементов строительного объекта и потратить значительное количество времени на обработку всех поверхностей и набор ими гидроизоляционных свойств. Учитывая темпы строительства на территории Республики Беларусь, применение мер вторичной защиты не всегда приемлемо.

Наиболее целесообразными с точки зрения экономии финансов и времени являются меры первичной обработки: гидроизоляция на этапе бетонирования – новейшая разработка создателей строительных материалов. Специальная добавка реагирует с жидкой бетонной смесью, создавая особые вещества, которые после отвердевания уплотняют структуру бетона и обеспечивают качественную гидроизоляцию по всей толщине. После этого не приходится проводить дополнительные процедуры по увеличению водоотталкивающих свойств поверхности.

Объемы уже построенных и введенных в эксплуатацию зданий и сооружений с использованием ЖБЭ весьма велики и с каждым днем растут и растут. Несмотря на преимущества и эффективность первичных мер защиты они еще не получили широкого применения. В большинстве случаев при эксплуатации ЖБЭ либо применяются вторичные методы защиты, либо защита полностью отсутствует.

Кроме того, эксплуатация ЖБЭ без проведения текущих и капитальных ремонтов приводит к полной или частичной потере эффективности применения вторичных мер защиты ЖБЭ.

В настоящее время разработаны материалы нового поколения, сочетающие действие проникающей гидроизоляции и мембранной обмазочной гидроизоляции. Одним из таких материалов является «Состав гидроизоляционный проникающий «ГС Пенетрат» (ТУ ВУ 100926738.017–2011). Это кристаллообразующий материал глубокого проникновения, предназначенный для значительного увеличения водонепроницаемости и предотвращения капиллярного проникновения влаги через бетон.

«ГС Пенетрат» используется как непосредственно при строительстве, так и при ремонте существующих ЖБЭ и ЖБК.

Состав кристаллической фазы гидроизоляции «ГС Пенетрат» обеспечивает абсолютную совместимость бетонной основы и обретает повышенные качества водонепроницаемости и прочности на весь срок службы основного материала, не требует повторной обработки.

Механизм гидроизоляции проникающего действия сводится к химической реакции активных реагентов (пенетратов) со свободной известью (гидроксидом кальция) и капиллярной водой в бетоне. Результатом данной реакции является образование труднорастворимых продуктов – гидросиликатов и гидроалюминатов кальция, коагулирующих капиллярно-пористую структуру бетона. Материал на толщину проникновения проникающей гидроизоляции становится водонепроницаемым.

Результаты исследований. Для оценки эффективности применения состава «ГС Пенетрат» в качестве защи-

ты от карбонизации по сечению бетона через 28 суток после его изготовления исследовали кубики сечением $100 \times 100 \times 100$ мм, выполненные в заводских условиях из бетонов классов по прочности $C^{16/20}$, $C^{18/22,5}$, $C^{20/25}$, $C^{25/30}$, $C^{30/37}$ различных составов, применяемых при изготовлении колонн. Было изготовлено по три кубика для каждого класса бетона по прочности на сжатие. После изготовления кубики подвергали тепловлажностной обработке (ТВО) в заводских условиях по стандартному режиму. Через 28 суток после ТВО во всех образцах (с одной грани) определялся показатель карбонатной составляющей (КС, %). Методики отбора образцов и определения показателя КС приведены в [1]. Затем образцы обрабатывались гидрофобизирующим составом «ГС Пенетрат» – гидроизоляцией глубокого проникновения. Для приготовления состава смешивали в течение 2 мин вручную 0,25 л воды на 1 кг материала «ГС Пенетрат» до получения жидкого сметанообразного раствора.

Перед нанесением «ГС Пенетрат» поверхность бетонных образцов увлажнялась до полного влагонасыщения. Гидроизоляционный состав «ГС Пенетрат» наносился на предварительно очищенную поверхность бетона в два слоя кистью из синтетического волокна. Первый слой наносился на влажный бетон, второй – на свежий, но уже схватившийся первый слой через два часа [3].

После высыхания нанесенного гидроизоляционного слоя в течение 2 сут поддерживалась влажность поверхности образцов. Растрескивание и шелушение покрытия не наблюдалось.

Группы образцов хранились в атмосферных условиях (класс по условиям эксплуатации ХС4 [4]) в течение 1 года. Атмосферные условия (А) в помещении лаборатории были созданы следующим образом: два раза в день кубики погружались в воду, после чего устанавливались на деревянные подставки под вентилятор; таким образом кубики ежедневно проходили двойной цикл увлажнения и высыхания.

По результатам испытаний получены усредненные зависимости изменения показателя КС по сечению бетона для каждого класса бетона по прочности на сжатие. В качестве примера на рисунках 1–4 приведены регрессионные зависимости для классов бетона по прочности на сжатие $C^{16/20}$ и $C^{25/30}$.

Для оценки защитной способности исследуемого бетона сравнивали полученные показатели карбонизации (КС) с их прогнозными значениями в соответствии с расчетно-экспериментальными моделями, предложенными в [1]. Анализ полученных показателей представлен в таблице 1.

Проведенный анализ позволил оценить возможности состава «ГС Пенетрат».

В условиях открытой атмосферы в зоне ускоренной карбонизации для бетона с применением состава «ГС Пенетрат» в возрасте 1 год наблюдается значительное снижение показателей карбонизации:

- карбонатной составляющей:
 - для «низкопрочных» бетонов (классы бетона по прочности на сжатие до $C^{16/20}$) – 0,60–5,80 %;
 - «среднепрочных» бетонов (классы бетона по прочности на сжатие $C^{18/22,5}$ – $C^{20/25}$) – 0,40–5,10 %;
 - «высокопрочных» бетонов (классы бетона по прочности на сжатие $C^{18/22,5}$ – $C^{20/25}$) – 0,60–2,70 %;

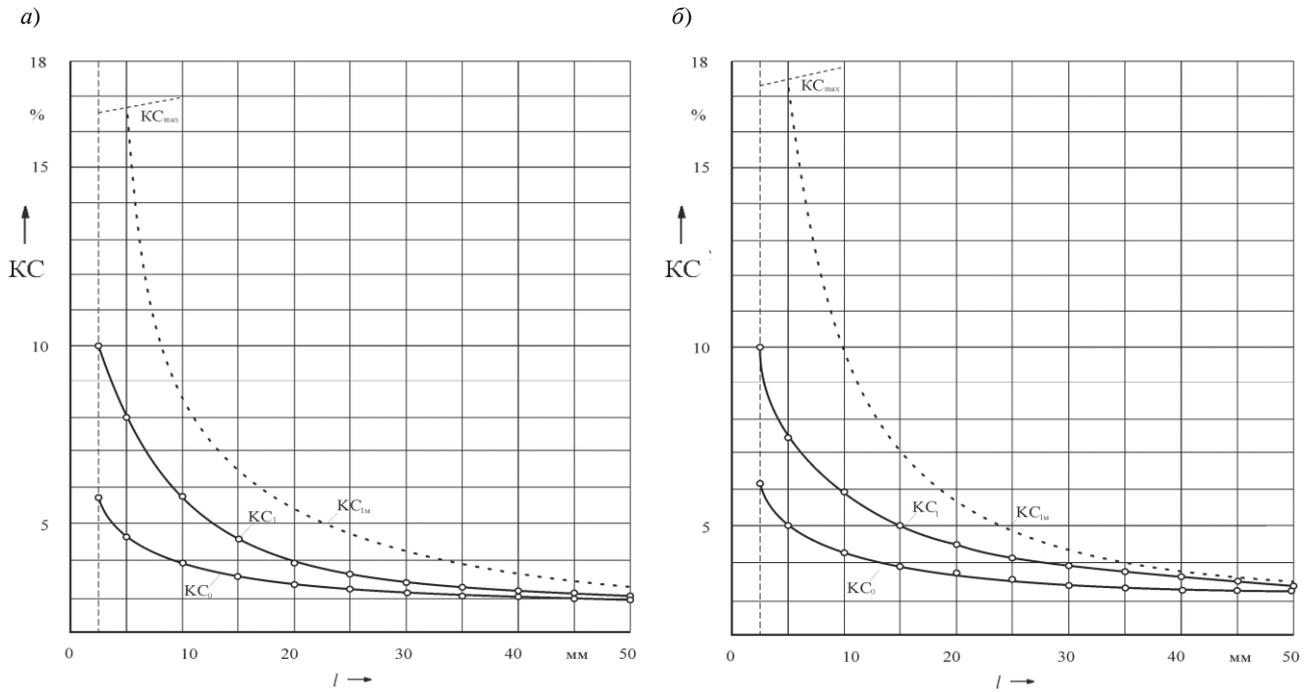


Рисунок 1 – Изменение карбонатной составляющей по сечению бетона с применением вторичной защиты в атмосферных условиях для области ускоренной карбонизации:

a – класс бетона по прочности на сжатие $C^{16}/_{20}$; b – класс бетона по прочности на сжатие $C^{18}/_{22.5}$;
 KC_0 – значение карбонатной составляющей сразу после изготовления с применением ТВО;
 KC_1 – фактическое значение карбонатной составляющей в возрасте 1 год;
 KC_{1m} – прогнозное (модельное) значение карбонатной составляющей в возрасте 1 год

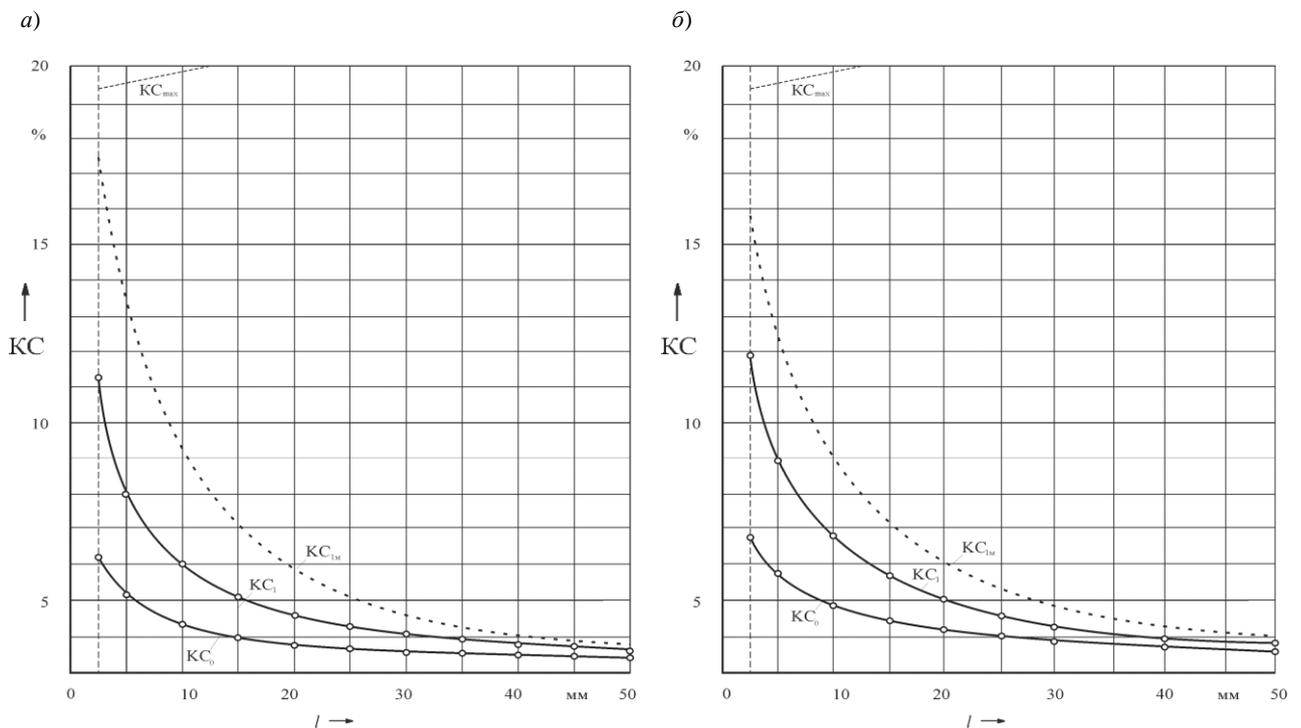


Рисунок 2 – Изменение карбонатной составляющей по сечению бетона с применением вторичной защиты в атмосферных условиях для области ускоренной карбонизации:

a – класс бетона по прочности на сжатие $C^{20}/_{25}$; b – класс бетона по прочности на сжатие $C^{25}/_{30}$;
 KC_0 – значение карбонатной составляющей сразу после изготовления с применением ТВО;
 KC_1 – фактическое значение карбонатной составляющей в возрасте 1 год;
 KC_{1m} – прогнозное (модельное) значение карбонатной составляющей в возрасте 1 год

Таблица 1 – Сравнительный анализ снижения основных параметров карбонизации в зависимости от классов бетона по прочности и исследуемой глубины

Класс бетона по прочности на сжатие	Толщина защитного слоя, мм	Среднее снижение по сравнению с прогнозируемыми, показателей, %		$(CK_1/CK_{1M}) \cdot 100 \%$
		КС	СК	
До $C^{16}/_{20}$	До 10	5,80	23,5	47,8
	10–25	2,60	11,0	37,4
	Более 25	0,60	2,30	18,6
$C^{18}/_{22,5} - C^{20}/_{25}$	До 10	5,10	18,3	39,3
	10–25	1,60	6,00	25,4
	Более 25	0,40	1,50	13,6
Выше $C^{25}/_{30}$	До 10	2,70	8,45	21,2
	10–25	1,60	3,75	20,6
	Более 25	0,60	1,25	11,5

■ степени карбонизации:

- для «низкопрочных» бетонов (классы бетона по прочности на сжатие до $C^{16}/_{20}$) – 2,30–23,5 %;
- «среднепрочных» бетонов (классы бетона по прочности на сжатие $C^{18}/_{22,5} - C^{20}/_{25}$) – 1,50–18,3 %;
- «высокопрочных» бетонов (классы бетона по прочности на сжатие $C^{18}/_{22,5} - C^{20}/_{25}$) – 1,25–8,45 %.

По результатам испытания видно, что для «низкопрочных» бетонов снижение количественных показателей карбонизации более чем в два раза превышает данные показатели для «высокопрочных» бетонов, что весьма актуально в связи с их более низкой коррозионной стойкостью.

Полученные количественные показатели карбонизации (их значительное снижение по сравнению с прогнозируемыми) свидетельствуют о значительном росте качественных показателей коррозионной стойкости бетона, что существенно повышает долговечность ЖБЭ и ЖБК, эксплуатируемых с применением вторичной защиты.

Технологичность применения, производство состава на территории Беларуси, эффективность данного материала в совокупности с приемлемой стоимостью сулят ему быстрое внедрение для проведения защитных мероприятий как сразу после изготовления (монтажа элементов и конструкций), так и для проведения капитальных ремонтов с целью увеличения сроков службы ЖБК и ЖБЭ.

Получено 02.07.2013

A. A. Vasilyev, E. O. Blotskaya, L. V. Plikus, R. I. Zuments. Effectiveness estimation of application of concrete secondary protection from carbonation.

On the basis of laboratory investigation of concrete samples produced in industrial conditions with application of heat humidity treatment (ННТ) and application of secondary protection with the compound "GS Penetrat" there were obtained regressive dependencies of carbonate component change (CC index) at concrete section for different concrete strength classes after storage for 1 year in atmospheric conditions for area of accelerated carbonation. It is shown that secondary protection application sufficiently decreases carbonation for all investigated concrete strength classes, for "low-grade" – on the average by 18–47 % (dependent from investigated depth), for high strength concrete – by 11–21 %.

Заключение. Приведенные результаты исследования защитных свойств гидроизоляции глубокого проникновения на примере состава «ГС Пенетрат» показал, что данный состав обеспечивает повышенную коррозионную стойкость бетона. Гидроизоляция «Пенетрат» после обработки поверхности бетона создает двойную защиту от увлажнения – мембранную и проникающую, что позволяет сделать вывод о том, что гидроизоляционный состав «ГС Пенетрат» проникающего и мембранного действия – это эффективная, быстрая и удобная защита бетона от коррозии.

Список литературы

- 1 **Васильев, А. А.** Карбонизация бетона (оценка и прогнозирование) : [монография] / А. А. Васильев ; М-во образования Респ. Беларусь. Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2013. – 304 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 **ТТК-100299864.107-2012.** Типовая технологическая карта на устройство гидроизоляции монолитных и сборных бетонных и железобетонных конструкций и сооружений с применением составов гидроизоляционных «Пенетрат». – Минск : РУП «МИНСКТИПРОЕКТ», 2011. – 69 с.
- 4 **СНБ 5.03.01-02.** Бетонные и железобетонные конструкции / М-во стр-ва и архитектуры. – Минск, 2003. – 139 с.