

СПОСОБЫ ЗАЩИТЫ ДОРОЖНЫХ БЕТОНОВ ПРИ ДЕЙСТВИИ АГРЕССИВНЫХ ФАКТОРОВ

Толмачев С.Н., д.т.н., профессор,

Беличенко Е.А., к.т.н., с.н.с.,

Бражник А.В., к.т.н., н.с.

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

Abstract. To increase the resistance of concrete under the action of aggressive factors used two ways to protect it. The first concrete protection is carried out at the stage of selection of materials. In this case, you can protect the concrete, if you use high-quality aggregates. In addition, an important role is played by the use of modern chemical and mineral additives. The second stage of protection is applied when the concrete exploit. It is used when the surface of the concrete began destruction. The concrete surface impregnated with a special compound.

Введение. Дорожные цементные бетоны работают в сложных условиях. На них действуют температура, влажность и механические нагрузки. В этих условиях у бетона может понизиться долговечность. Долговечность бетона зависит от внутренних и внешних факторов. Внутренние факторы – это цемент и заполнители для изготовления бетона. Чем выше их качество, тем меньше их влияние. К внешним факторам относят условия твердения и эксплуатации бетонов. При правильном выборе заполнителей можно обеспечить необходимую долговечность дорожного бетона. Наиболее важным показателем долговечности является морозостойкость бетона, особенно при одновременном действии температуры и растворов солей.

И.М. Грушко считал, что основной причиной разрушения бетона при одновременном действии растворов солей и мороза является кристаллизация льда и гидратов солей на глубине 10...12 мм от поверхности бетона [1]. Это часто происходит при удалении льда с поверхности бетонного покрытия с помощью химических агентов. В одном случае разрушение выглядит как отделение тонкой пленки раствора. В другом случае поверхностный слой бетона отделяется вместе с крупным заполнителем. Наиболее сильно разрушают бетон растворы хлоридов, нитратов, аммиака, спирты и другие растворы [2].

Среди причин морозно-солевого разрушения бетона Т. Пауэрс выделяет [3]:

1. Гидравлическое давление, которое возникает в порах и капиллярах бетона под влиянием замерзающей воды.

2. Давление от кристаллизации льда в порах бетона.

Кроме этих двух причин присутствуют также осмотическое давление [4] и давление от кристаллизации солей в порах бетона [5].

Повысить морозно-солевою устойчивость бетонов можно за счет увеличения плотности цементного камня. Кроме этого, можно ввести в состав бетона воздухововлекающие добавки. Эти добавки будут способствовать увеличению содержания воздуха в составе бетона от 1...2 % до 4...6 %. Такие воздушные пузырьки повышают пластичность бетонной смеси, морозостойкость и солестойкость бетона, но прочность бетона снижается. Поэтому необходимо применять другие способы повышения плотности, а также непроницаемости бетона.

Для повышения стойкости бетона при действии агрессивных факторов применяют два способа его защиты. Первичная защита бетона осуществляется на стадии подбора состава бетонной смеси и производства бетона. Принципы первичной защиты известны:

1. Использование заполнителей высокого качества.

2. Правильный выбор цемента.

3. Применение современных химических и минеральных добавок.

4. Соблюдение технологий изготовления, транспортирования, уплотнения и ухода за бетоном.

Теоретически, соблюдение этих принципов позволяет обеспечить необходимую долговечность дорожных бетонов. Но незначительные нарушения, одного или нескольких принципов приводят к снижению их долговечности. Поэтому после окончания определенного периода эксплуатации для повышения долговечности бетона применяют вторичную защиту.

Вторичную защиту дорожного бетона применяют на стадии его эксплуатации. Его применяют в случае, если на поверхности бетона начались разрушения. Для этого поверхность бетона пропитывают специальными составами. Эту защиту применяют также, если необходимо увеличить (повысить) срок службы дорожного бетона.

Цели и задачи. При выборе первичной или вторичной защиты бетона необходимо оценивать также экономическую сторону работ. Если долговечность можно достичь применением только первичной защиты, то вторичная защита не имеет смысла. Поэтому целью работы является определение необходимости применения разных способов защиты бетона.

Результаты исследований. В исследованиях применяли пески кварцевые с модулем крупности 0,92...0,94, отсев (табл. 1), щебень фракций 5-10 мм и 10-20 мм, цемент ПЦ I – 500 Н. Нормальная плотность цемента составляла 25,5 %. Начало схватывания цемента - 1 час 45 минут, конец схватывания цемента – 4 часа 30 минут.

Таблица 1 – Гранулометрический состав песка кварцевого и отсева

Материал	Диаметры ячеек сит, мм							
	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	0,071	<0,071
Песок 1	---	---	0,4	4,1	37,8	49,5	7,6	0,6
Песок 2	---	7,7	10,7	23,7	36,5	15,2	3,5	2,7
Высевки	12,0	20,7	9,9	16,7	14,3	8,5	5,9	3,0

В качестве добавок применяли суперпластификатор FM21 и воздухововлекающую добавку LP 71 (фирма BASF, Германия). Суперпластификатор FM21 – это сульфированные производные меламинформальдегидов. Выпускается в виде темнокоричневой жидкости плотностью $1140 \pm 30 \text{ кг/м}^3$. Рекомендованная дозировка 0,1 - 2,3 % от массы цемента. Для вторичной защиты бетона использовали защитные гидроизолирующие и герметизирующие добавки (пропитывающие жидкости) Силол и CONWISOL S-60. Составы бетона приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Составы бетона

Компоненты бетона	кг/м ³	
	С 1	С 2
Цемент	380	380
Песок	560	560
Щебень 5-10 мм	536	536
Щебень 10-20 мм	804	804
Суперпластификатор FM 21	2,66	2,66
Воздухововлекающая добавка Lp 71	-	0,38
Вода, кг/м ³	166,6	166,6

Добавка Силол – это жидкий раствор силоксанов в органическом растворителе плотностью $960 \pm 20 \text{ кг/м}^3$. После нанесения на поверхность бетона раствор проникает в поры и создает силоксановую пленку. Пленка препятствует проникновению воды и газов в бетон и железобетон. Рекомендованный расход 0,20 – 0,80 кг/м².

Добавка CONWISOL S-60 представляет собой прозрачный гидрофобный раствор на

основе полиметилгидрогенсилана плотностью $790 \pm 20 \text{ кг/м}^3$. За счет низкой молекулярной массы этот раствор легко проникает в бетон. CONWISOL S-60 реагирует с цементом, образуя кремнийорганический полимер. Рекомендованный расход $0,20 - 0,30 \text{ кг/м}^2$.

Составы бетона С1 и С2 отличаются тем, что С1 содержит суперпластификатор, а С2 содержит и суперпластификатор и воздухововлекающую добавку.

Известно, что структура бетона зависит от условий его твердения. Если бетон или раствор твердеют в воде, то в них впитывается влага. В этом случае в них будут образовываться микропоры и микрокапилляры. Такие поры равномерно распределены в объеме бетона. При таких условиях твердения капиллярная пористость бетона уменьшается (табл. 3). По данным [6] (табл. 3) в растворах, которые твердели в воде, количество капиллярных пор радиусом более 1 мкм (10^{-6} м) в 3,4 раза меньше, чем в растворах, которые твердели на воздухе. Известно, что поры радиусом больше 1 микрона снижают морозостойкость бетонов и растворов. Количество микрокапилляров в растворах, которые твердели в воде, радиусом меньше 10^{-7} м , уменьшается в 2 раза.

Таблица 3 – Влияние условий твердения на пористость цементного раствора

Условия твердения	Общая пористость, %	Количество капиллярных пор, %			
		Менее $5 \cdot 10^{-9} \text{ м}$	$5 \cdot 10^{-9} \dots 10^{-7} \text{ м}$	$10^{-7} \dots 10^{-6} \text{ м}$	Более 10^{-6} м
На воздухе	17,4	15,0	20,6	25,7	38,7
В воде	16,6	17,8	40,2	30,5	11,5

Исследования, проведенные в университете строительства и архитектуры и автомобильно-дорожном университете г. Харькова показали, что радиус пор в цементном камне, твердеющем в различных условиях, может сильно отличаться. С помощью метода термопорометрии было установлено, что при твердении образцов цементного камня в воде средний радиус пор уменьшается в 7 раз по сравнению с цементным тестом, которое твердело на воздухе. Средний радиус пор в цементного теста твердевшего на воздухе, пропитанного составами типа CONWISOL S-60 или Силол, уменьшается в 3,5 раза. Температура твердения всех образцов была $+ 303 \text{ К}$.

Известно, что при уменьшении среднего радиуса пор основные свойства бетона повышаются. Для подтверждения этого мы проводили исследования прочности, водопоглощения и морозостойкости бетонов. Были изготовлены две группы образцов: контрольные, без защитных добавок и образцы, на поверхность которых наносили растворы защитных добавок. Все образцы бетона предварительно выдерживали 12 часов в камере для тепловлажностной обработки при температуре 353 К . После этого на сухую поверхность образцов напылением наносили защитные составы CONWISOL S-60 и Силол. Свойства бетонов определяли на 28 сутки.

Исследования морозостойкости бетонов были проведены на образцах размером $70 \times 70 \times 70 \text{ мм}$, которые предварительно насыщали в 5 % растворе NaCl . После этого образцы замораживали и выдерживали при температуре 255 К в течение 1,5 часа. После этого образцы оттаивали в растворе 5 % NaCl при температуре 291 К в течение 1,5 часа. Это составляло один цикл испытаний на замораживание и оттаивание. До начала испытаний и после 100, 200, 300 и 400 циклов испытания на замораживание-оттаивание определяли прочность образцов бетонов при сжатии. Отношение прочности при сжатии после определенного числа циклов к прочности при сжатии до начала испытаний есть коэффициент морозостойкости. Он не должен быть ниже 0,95.

Исследования свойств бетонов (табл. 4) показали, что плотность и прочность бетона состава С2 меньше, чем состава С1. Водопоглощение, соответственно, больше. Это можно объяснить повышенным содержанием вовлеченного воздуха в составе С2. Водопоглощение в образцах бетона, которые были обработаны пропитывающими добавками, в 2 раза меньше.

Такое значительное снижение водопоглощения подтверждает защитную способность пропитывающих добавок. В то же время, прочность бетонов с защитными добавками и без этих добавок одинакова.

Таблица 4 – Свойства бетона В 40, уплотненного вибрацией

Добавка для пропитки номер состава	Плотность, кг/м ³		Водопогло- щение, %		Прочность при сжатию, МПа	
	С 1	С 2	С 1	С 2	С 1	С 2
без пропитки	2453	240 5	2,34	2,7	52,6	47,4
CONWISOL S-60			1,12	1,5		
Силол			1,07	1,6		

Дальнейшие исследования были направлены на изучение влияния пропиточных добавок на основной показатель долговечности – морозостойкость (табл. 5). Анализ таблицы показывает, что морозостойкость состава С1, в котором содержится суперпластификатор, соответствует марке F 200. Состав С2, в котором кроме суперпластификатора есть воздухововлекающая добавка имеет более высокую марку по морозостойкости - F 300. Коэффициент морозостойкости бетонов всех исследуемых составов после 100 циклов испытаний постоянно снижается. Это свидетельствует о постоянном снижении морозостойкости бетонов и означает, что способность бетона сопротивляться циклам замораживания-оттаивания с ростом количества циклов испытания неуклонно падает. Коэффициент морозостойкости образцов бетона, которые были пропитаны защитными добавками, на протяжении 300 циклов испытаний изменяется незначительно. При этом коэффициент морозостойкости одинаков для бетонов с воздухововлекающей добавкой и без нее. Но после 300 циклов испытаний происходит разрушение защитного поверхностного слоя бетона. Это приводит к проникновению агрессивных жидкостей внутрь бетона, что облегчает его дальнейшее морозно-солевое разрушение.

Таблица 5 – Морозостойкость бетона В40, уплотненного вибрацией

Добавка для пропитки	Коэффициент морозостойкости после количества циклов							
	100		200		300		400	
	С 1	С 2	С 1	С 2	С 1	С 2	С 1	С 2
без пропитки	1,01	1,06	0,95	1,00	0,91	0,95	-	0,82
CONWISOL S-60	1,01	1,02	0,99	1,01	0,96	1,0	0,85	0,95
Силол	1,03	1,02	0,99	1,03	0,95	0,99	0,88	0,96

Это подтверждают данные на рис. 1, 2. До 300 циклов поверхность образцов оставалась без изменений (рис. 1). После 300 циклов произошло разрыхление и частичное разрушение верхнего слоя образцов (рис. 2). Исследования показали, что потери массы образцов в результате разрушения, составили 1,5...2,1 %. При таком разрушении защитная способность пропитывающих добавок исчезает, и бетон не сопротивляется действию замораживания-оттаивания. Поэтому к 400 циклам испытаний происходит сильное снижение коэффициента морозостойкости. Но марка по морозостойкости бетона состава С2 выше, чем бетона состава С1. Это объясняется присутствием в этом составе воздухововлекающей добавки.

Уплотнение бетонных изделий производят не только с помощью вибрации, но и с помощью прессования. В этом случае количество воды в бетонной смеси значительно меньше. Это может снизить прочность бетона, но повысить его долговечности. Для исследования использовали состав бетона С1. В случае, когда бетон уплотняют прессованием, воздухововлекающая добавка не проявляет свои свойства, поэтому ее не применяют.



Рис. 1. Образец до 300 циклов испытаний



Рис. 2. Образец после 300 циклов испытаний

Плотность бетона, уплотненного прессованием составила 2380 кг/м^3 . Свойства этого бетона приведены в табл. 6. Водопоглощения в прессованных бетонах выше, чем в бетонах, уплотненных с помощью вибрации на 26 %. Поэтому применение пропиточных добавок приводит к понижению водопоглощения в 3,2...3,4 раза. Это больше, чем в виброуплотненных бетонах. Прочность прессованных бетонов без пропиточных добавок и с ними одинакова. Прочность при сжатии прессованных бетонов ниже, чем у бетонов, уплотненных с помощью вибрации при одинаковом расходе цемента.

Таблица 6 – Свойства прессованных бетонов В30

Добавка для пропитки	Водопоглощение, %	Прочность при сжатии, МПа	Коэффициент морозостойкости после количества циклов			
			100	200	300	400
без пропитки	2,95	41,3	1,01	0,98	0,96	0,93
CONWISOL S-60	0,87	42,4	1,02	1,10	1,04	0,99
«Силол»	0,91	40,8	1,03	1,06	1,02	0,98

Дальнейшие исследования морозостойкости бетонов показали, что в бетонах без пропиточных добавок наблюдалось медленное снижение коэффициента морозостойкости (табл. 6). Но в этом случае марка по морозостойкости возросла почти до F 400. Коэффициент морозостойкости после 400 циклов испытаний незначительно меньше предельной величины 0,95. Применение пропиточных составов изменяет характер сопротивляемости таких бетонов замораживанию-оттаиванию. Он имеет волновой вид – вначале (до 200 циклов) наблюдается увеличение коэффициента морозостойкости, а в дальнейшем – плавное уменьшение.

Исследования показали, что применение методов первичной и вторичной защиты бетонов позволяет гарантировать необходимые проектные марки бетона по прочности и морозостойкости. Например, для условий Украины это марка F 200. В случае применения комбинации методов защиты долговечность бетонов существенно возрастает.

Выводы. Установлено, что введение воздуховлекающих добавок, как способа первичной защиты бетонов, повышает их морозостойкость, независимо от того, применен пропиточный состав или нет. Показано, что применение пропиточных добавок, как способа вторичной защиты, не изменяет прочность бетонов, но позволяет понизить водонепроницаемость бетонов и за счет этого повысить их морозостойкость. Правильный подбор состава как метода первичной защиты в бетонах, которые уплотняют прессованием,

обеспечивает высокую плотность и морозостойкость без применения пропитки. Применение пропиточных материалов для бетонов, которые уплотняют прессованием, позволяет значительно повысить морозостойкость дорожных бетонов по сравнению с бетонами без пропитки. При необходимости обеспечения фиксированного значения марки бетона по прочности и морозостойкости достаточными являются методы первичной защиты – правильный подбор состава и введение соответствующих химических добавок.

Литература

1. Грушко И.М. Довговічність бетону при спільній дії середовища та механічного навантаження / И.М. Грушко, Е.Б. Киреева // Автом. дороги і дор. буд-во. «Респ. міжвід. наук.-техн. зб.». – 1978. – № 23. – С. 64-68.
2. Coroziunea si degradarea betonului din suprastructura podurilor de sosea in conditii de exploatare / Tudorie Gheorghe, Pasnicu Alexendru // Rev.transp.: Auto, drumuri, navig. - Коррозия и разрушение бетонных дорожных покрытий в процессе эксплуатации. – 1991. – 18, №3-4. – Р. 65-69.
3. Powers T.C. The mechanism of Frost Action in Concrete / T.C. Powers. – Cement, Lime, Grevel. –1966. – 41. – № 5. – Р. 143-148, Р.181-185.
4. Власов О.Е. Равновесие многокомпонентной и многофазной капиллярной системы. / О.Е. Власов. // В кн. Долговечность ограждающих и строительных конструкций (физические основы). – М.: Стройиздат, 1963. – С. 6-11.
5. Толмачев С.Н. Исследование механизма морозного разрушения дорожных бетонов / С.Н. Толмачев, И.Г. Кондратьева, А.В. Матяш. // Бетон и железобетон в Украине. – № 2. – 2010. – С. 18-22.
6. Сопов В.П. Технологическое обеспечение эффективности химических добавок в бетоны / В.П. Сопов. // Научно-технический сборник – Запорожье Будиндустрия LTD. – 2002. – С. 35-42.