

## **БУДІВНИЦТВО ТА ЕКСПЛУАТАЦІЯ ДОРІГ**

**УДК 666. 983**

**Возный С.П., Дорошенко Ю.М., канд. техн. наук**

### **АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА ЦЕМЕНТОБЕТОННОЕ ПОКРЫТИЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ**

**Анотація.** У статті розглядаються фактори, що впливають на експлуатаційні властивості цементобетонних покриттів доріг. Об'єктом дослідження є цементобетонне покриття на автомобільних дорогах. Метою роботи є показати, що бетонні добавки і дисперсне армування дозволяють підвищити якість цементобетонного покриття доріг. Методом дослідження є підвищення надійності і довговічності цементобетонних покриттів.

Для підвищення довговічності і якості цементобетонних доріг необхідно підвищувати водонепроникність (W), морозостійкість (F), тріщиностійкість цементобетона, на сьогоднішній день для досягнення необхідних властивостей використовуються бетонні добавки, а також дисперсне армування. Експериментуючи з цими матеріалами ми можемо збільшити тривалість служби цементобетонного покриття.

**Ключові слова:** цементобетонне покриття, експлуатаційні властивості, дисперсне армування, пластифікатори, тріщиностійкість цементобетону.

**Аннотация.** В статье рассматриваются факторы, влияющие на эксплуатационные свойства цементобетонных покрытий дорог. Объектом исследования является цементобетонное покрытие на автомобильных дорогах. Целью работы является показать, что бетонные добавки и дисперсное армирование позволяют повысить качество цементобетонного покрытия дорог. Методом исследования является повышения надежности и долговечности цементобетонных покрытий.

Для повышения долговечности и качества цементобетонных дорог необходимо повышать водонепроницаемость (W), морозостойкость (F), трещиностойкость цементобетона, на сегодняшний день для достижения необходимых свойств используются бетонные добавки, а также дисперсное армирование. Экспериментируя с этими материалами мы можем увеличить продолжительность службы цементобетонного покрытия.

**Ключевые слова:** цементобетонное покрытие дорог, эксплуатационные свойства, дисперсное армирование, пластификаторы, трещиностойкость цементобетона.

**Abstract.** This article discusses the factors affecting the performance characteristics of cement-concrete road surfaces. The object of this study is to cement concrete pavement on the roads. The aim is to show that concrete additives and particulate reinforcement can improve the quality of cement concrete pavement of roads. The method of this study is to improve the reliability and durability of concrete slabs.

To increase the longevity and quality of cement-concrete roads is necessary to raise the water resistance (W), frost (F), fracture toughness of cement concrete, to date, in order to achieve the required properties of concrete additives used, as well as particulate reinforcement. Experimenting with these materials, we can increase the length of service of cement concrete pavement.

**Keywords:** cement-concrete coating, operational properties, disperse reinforcement, a plasticizer, a fracture toughness of cement.

### **Постановка проблемы**

В современных реалиях цементобетонное покрытие дорог работает в неблагоприятных окружающих условиях, так как подвергается механическому воздействию транспортных средств, и воздействия атмосферных осадков приводит к многократному увлажнению и высушиванию, замораживанию и оттаиванию.

Таким образом, для предотвращения данному типу воздействий и повышению долговечности бетона необходимо повышать его водонепроницаемость (W) и морозостойкость (F). Основной причиной проницаемости бетона является наличие в его структуре капиллярной пористости. Бетон мог бы иметь достаточно высокую водонепроницаемость и морозостойкость, но на практике в смесь вводят больше воды, чем нужно для

гидратации цемента. Этот избыток воды при испарении создает пустоты и поры, которые могут соединяться между собой и создавать капиллярные каналы. А.М. Невиль считал, что основную роль в проницаемости бетона играет проницаемость цементного камня и контактный слой между цементным камнем и поверхности заполнителя.

На дорожный бетон влияет также влага, проникающая в бетон за счет капиллярного подсоса. Основной причиной капиллярного подсоса является наличие в бетоне системы тончайших капилляров, способствуют переносу влаги.

Как отдельный вид воздействия, который имеет общую природу с капиллярным подсосом, является безнапорная фильтрация. В работах исследовалась безнапорная водопроницаемость бетона и цементного камня. На минимизацию деформативности и проницаемости влияют: применение суперпластификаторов, оптимального соотношения кристаллогидратов и геля, В/Ц отношение и коэффициентов раздвижки зерен.

Увлажнения материала вызывает его набухание, а высушивание - усадку. Оба процесса характеризуются соответствующими объемными деформациями, которые создают в бетоне внутренние напряжения. Усадка бетона возникает под влиянием физико-химических и капиллярных явлений, происходящих в гелиевой составляющей цементного камня и обусловлены изменением влагосодержания в бетоне. Высыхания увлажненных конструкций происходит за счет градиентов температуры и влажности между конструкцией и средой эксплуатации. По мере прохождения циклов увлажнения и высушивания отмечаются наращивания остаточных деформаций, которые могут быть определены как усталость.

Усадка и усадочные напряжения в бетоне опасны в раннем возрасте. Свежеуложенный бетон под действием сухого воздуха, солнца и ветра интенсивно испаряет влагу, вызывает уменьшение его объема и усложняет процесс твердения и формирования структуры. Возникают внутренние усадочные напряжения, которые плохо компенсируются малопрочным бетоном. В этот период на поверхности бетона появляются усадочные трещины.

Внешние знакопеременные деформации от увлажнения и высушивания вызывают повреждения бетона в дальнейшей эксплуатации конструкции.

Усадка материалов, как капиллярно-пористых тел, связанная с давлением мениска жидкости в капилляре, то есть в трещине мениск жидкости давит на берега трещин, вызывая увеличение ширины ее раскрытия. В трещине, которая заполнена водой, реализуется «эффект Ребиндера», связанный с адсорбционным снижением прочности, что ведет к увеличению объема капиллярно-пористых тел при их насыщении водой.

Действие многократного замораживания и оттаивания влияет на верхний слой цементобетонного покрытия. На бетоны дорожного покрытия зимой действует:

- многократные замораживания и оттаивания в насыщенном состоянии; причем бетон может насыщаться как чистой водой, так и растворами хлористых солей;
- многократное замерзание под слоем воды с образованием на поверхности бетона слоя льда;
- многократное глубокое высушивание (вымораживание) бетона, насыщенного раствором хлористых солей.

Важную роль в обеспечении необходимой морозостойкости бетона играет наличие нормальных условий твердения в начальный период. Нарушение таких условий твердения приводит к интенсивному прохождению массообменных процессов, вызванных градиентами температуры и влажности, а также их совместным действием. Жидкая фаза поднимается к поверхности, образуя в его растворимой части поры и капилляры открытого типа или расширяя уже существующие. Важную роль играет водно-тепловой режим конструкции дорожной одежды в целом. При близком расположении грунтовых вод может происходить инфильтрация влаги снизу, что приведет к тому, что бетон постоянно увлажняется и находится в состоянии частичного водонасыщения и его разрушения под действием отрицательных температур может происходить быстрее. При этом образуется большое количество открытых макропор.

Морозное разрушение бетона связано со значительным расширением воды при ее переходе в лед в порах материала. Давление замерзающей воды в незамкнутых порах может достигать сотен атмосфер.

Считалось, что происходит воздействие льда, который кристаллизуется на стенки пор, что вызывает местные напряжения. Позже исследователи пришли к выводу, что причиной разрушения при замораживании и оттаивании

есть гидравлическое давление, возникающее во влажном бетоне при замерзании воды.

Было предложено около 20 гипотез морозного разрушения: гидравлическое давление незамерзшей воды, что прижимается льдом, который образуется в порах; кристаллизационное давление льда; образования «ледовых линз»; осмотическое давление; миграция воды через пористую среду в зону контакта между льдом и пористой основой; сегрегация льда в микропорах и др. Процесс деструкции бетона при замораживании и оттаивании следует рассматривать как развитие и накопление трещин в гетерогенном материале. При замерзании жидкости давление от увеличения ее объема передается на берега трещины и на воду в пленочном состоянии, что не изменила свое агрегатное состояние. Кроме того, в поле высоких напряжений в вершине трещины может происходить сдвиги. Это приводит к раздвижки сторон трещины и увеличение ее длины с последующим снижением прочности в процессе эксплуатации.

В тонких порах и капиллярах с размерами  $10^{-5} \dots 10^{-7}$  см вода находится в структурированном виде с температурой ее замерзания  $-50$  °С.

Процесс коррозии бетона в агрессивных средах - это комплекс гетерогенных химических процессов взаимодействия бетона с компонентами агрессивной среды. Коррозионные процессы в бетоне и железобетоне под воздействием агрессивных сред различаются между собой. Это связано как с разнообразием свойств бетона (его состоянием), так и со свойствами агрессивной среды.

Коррозия первого вида возможна, когда под действием одностороннего напора возникает фильтрация воды сквозь толщу бетона. Следствием коррозии первого вида является растворение и вынос из структуры бетона продуктов гидратации цемента, что существенно снижает показатели физико-механических свойств бетона и постепенно разрушает его. Наиболее растворимым веществом является создаваемый при гидролизе гидроксид кальция.

Суть коррозии второго вида заключается в развитии обменных реакций между кислотами или солями окружающей среды и составными элементами цементного камня. Вследствие таких реакций в поверхностных слоях бетона, которые стыкуются с агрессивной средой, возникают новообразования без

вяжущих свойств и достаточной плотности. Эти вещества растворяются или вымываются механически, при этом обнажаются новые слои бетона; так процесс продолжается до полного разрушения бетона.

Самым опасным видом химических воздействий можно считать сульфатоалюминатную коррозию - под действием сульфатных вод в цементном камне образуется этрингит, и как показали последние исследования, таумасит.

В результате воздействия сульфатов бетон постепенно разрушается и переходит в рыхлое состояние, что легко обнаруживается визуально.

Основным признаком коррозии третьего вида является накопление в порах-капиллярах и других пустотах цементного камня, раствора или бетона, кристаллов солей, образовавшихся за счет химических реакций взаимодействия агрессивной среды и составных частей новообразований цементного камня. Кристаллы солей, расширяясь, разрушают стенки пор цементного камня.

Особенно большое влияние оказывает образование на поверхности бетона слоя льда и действие солей оттаивания. При замерзании под слоем льда повышается степень водонасыщения бетона, особенно в поверхностном слое, что сталкивается со льдом. Таяние льда при отрицательной температуре под действием хлористого натрия является эндотермическим процессом и поэтому в поверхностном слое бетона происходит резкое снижение температуры.

Отмечается также ускоренное разрушение бетона при замораживании в растворах электролитов, в частности хлоридов. Существует мнение, что это происходит из-за интенсификацию химической коррозии, связанной с повышением концентрации солей в растворе по мере вымораживания из него пресного льда.

В процессе разрушения бетона, насыщенного раствором хлорида, при его замораживании важную роль играет гидравлическое давление, которое возникает, когда концентрация раствора составляет около 4%.

При высушивании бетонов, насыщенных растворами хлористых и других солей происходит кристаллизация этих солей в порах бетонов. Некоторые из этих солей при изменении влажности переходят из безводной формы в кристаллогидраты со значительным увеличением объема. Такие преобразования солей вызывают значительные дополнительные напряжения в бетоне. Есть данные об отрицательном влиянии на прочность бетона концентрированного раствора NaCl, даже при кратковременном воздействии.

Важними свойствами дорожного цементного бетона является его прочность усталости - способность сохранять прочность при многократной механической нагрузке, а также его деформативность. Под деформативностью дорожного цементного бетона имеется в виду его способность изменять форму и размеры не разрушаясь. Плотность, морозостойкость и водонепроницаемость дорожного цементного бетона определяют его долговечность. Требуемая плотность обеспечивается оптимальным содержанием воды в цементобетоне ( $V/C < 0,5$ ). Морозостойкость же цементного бетона зависит как от морозостойкости составляющих материалов так и плотности бетона.

Физическое и химическое воздействие окружающей среды проявляется одновременно с механическими воздействиями транспорта и средств эксплуатации (истирание, вдавливания и удары).

Последнее время наблюдается устойчивая тенденция увеличения количества, грузоподъемности и скорости движения транспортных средств. С учетом существующего состояния дорожных покрытий по показателям равенства данные тенденции приводят к существенному увеличению динамической составляющей давления на покрытие.

В условиях постоянного «недоработки» сети автомобильных дорог, при ухудшении показателя ровности покрытия, дорожные одежды начинают работать в условиях динамических перегрузок, что приводит к их ускоренному разрушению. Динамические нагрузки на неровных участках в среднем составляют 50 - 90%, при допустимых - 30%.

Характерная черта работы цементобетонных покрытий заключается в том, что все воздействия воспринимаются в первую очередь, поверхностным слоем. При этом разрушение бетона происходит, в основном, в поверхностном слое. В начальный период разрушается поверхностный слой бетона путем отслоения толщиной 0,1-1 см. Затем происходит постепенное разрушение раствора в глубину. Крупный заполнитель обнажается и под влиянием динамических воздействий колес автотранспорта выкрошивается из бетона.

Механические воздействия автомобильного транспорта вызывают в цементобетонных покрытиях вертикальные и горизонтальные усилия. Под влиянием вертикальных нагрузок происходит изгиб, например, плит, лежащих на упругом основании, что вызывает появление в бетоне напряжений растяжения при изгибе.

Горизонтальные усилия в покрытии возникают (особенно при торможении) при движения транспорта с переменной скоростью. Эти усилия вызывают напряженное состояние, как правило, в поверхностных слоях покрытия и влекут дополнительный абразивный износ дорожного бетона.

Долговечность конструкций во многом зависит от того, насколько правильно при их возведении были учтены особенности поведения бетона при динамической нагрузке.

Положительным моментом для противодействия динамическим воздействиям бетонов можно считать факт большей устойчивости мелкозернистых бетонов по сравнению с бетонами на большом заполнители. Устойчивость бетонов как грубогетерогенных материалов к ударным нагрузкам может быть повышена за счет управления макроструктурными параметрами в процессе самоорганизации материала.

Согласно напряженного состояния к цементному бетону дорожных покрытий предъявляются требования по прочности на сжатие и растяжение при изгибе, изложенные в ДБН В.2.3-4: 2007 «Автомобильные дороги». Отметим, что для дорожного цементного бетона прочность на растяжение при изгибе имеет более важную роль.

В результате резкого увеличения интенсивности транспортных потоков, ухудшение окружающей среды (автомобильные выхлопы, горюче-смазочные и антигололедные реагенты и т.п.), существенно возросли нагрузки на дорожные одежды, в том числе и с цементобетонных покрытий. Актуальным является поиск решений, направленных на увеличение сроков службы дорожных одежд с цементобетонных покрытий, работающих в тяжелых условиях эксплуатации. В настоящее время при строительстве и реконструкции автомобильных дорог одной из основных условий является повышение долговечности и эксплуатационной устойчивости дорожных покрытий.

Для повышения долговечности дорожного бетона необходимо снизить уровень его внутреннего напряженного состояния до величины, обеспечивающей его длительную работу (сохранение расчетной прочности) с учетом транспортных, климатических и эксплуатационных (борьба с гололедом) и других воздействий.

Одним из перспективных конструкционных материалов для цементобетонных покрытий дорог является дисперсно-армированные бетоны.

Дисперсное армирование

осуществляется волокнами-фибрами, равномерно распространенными в объеме бетонной матрицы.

Для получения более прочных композиций необходимо выполнять ряд требований:

- волокна нужно равномерно распределять по всему объему матрицы, но они не должны непосредственно касаться друг к друга;
- матрица должна быть химически инертной по отношению к действию волокон;
- волокна должны иметь более высокий по сравнению с матрицей, модуль упругости;
- желательно, чтобы матрица имела достаточно высокую прочность при сдвиге, при возможности следует стремиться к ориентированному распределению волокон в матрице (в бетоне, растворе).

Исследования показали, что при относительной длине фибры  $l/d = 100$  предельный состав их, который удастся ввести в бетонную смесь при обычных способах перемешивания, составляет 2-3% по объему. С уменьшением длины фибры их количество, которое может быть введена в бетонную смесь без ухудшения при этом ее однородности, увеличивается и наоборот, при увеличении длины фибры снижаются возможности технологического процесса.

Важной проблемой, которая возникает при армировании волокнами бетонных материалов, также снижение легкоукладываемости бетонной смеси по мере увеличения в ней состава волокнистого заполнителя. Установлено, что как с увеличением длины волокна, так и с уменьшением его диаметра - снижение удобоукладываемости бетона при прочих равных условиях оказывается более заметным. Увеличение уровня удобоукладываемости обычно достигается за счет увеличения водоцементного отношения и объема растворной части материала, а также благодаря использованию различных пластифицирующих добавок.

Типичный армированный фибрами бетон должен отличаться от обычного более высоким содержанием цемента, расходы которого в зависимости от наличия в бетоне крупного заполнителя и геометрических параметров фибровой арматуры – 350 – 550 кг / м<sup>3</sup>. При этом водоцементное отношение - 0,35 – 0,55. Расходы цемента могут быть снижены за счет добавок.

Большое значение с технологической точки зрения имеют разного рода добавки, которые вводят в бетонную смесь для улучшения ее качества. Для оптимизации технологического процесса уместно использовать добавки пластификаторов или суперпластификаторов, замедлители и ускорители твердения, добавки, которые снижают влагосодержание и водопотребность. Волокна, как правило, не вызывают какого-либо влияния на действие добавок.

Особый интерес представляет использование при изготовлении дисперсно-армированных бетонов и конструкций на их основе специальных технологических мероприятий, которые позволяют улучшить качество готовой продукции. Здесь прежде всего необходимо указать на большие возможности вибропроката и вибропрессования в сочетании с вакуумированием, центрифугированием, формированием под давлением (с нагрузкой).

Технологические процессы связанные с укладкой, уплотнением и отделкой армированных волокнами бетонных материалов практически не отличаются от традиционных.

Итак, в результате исследования прочностных свойств фибробетона можно сделать выводы:

- увеличение прочности бетонной смеси на сжатие, на растяжение при изгибе, на растяжение при расколе, на осевое растяжение зависит от увеличения величины диаметра и объемного содержания волокон.

- при увеличении диаметра и объемного содержания волокон увеличивается и жесткость бетонной смеси, что отрицательно влияет на ее удобоукладываемость.

- оптимальный диаметр 0,8 – 1,0 мм и объемное содержание волокон 2 –3 % объема бетонной смеси.

## **Література**

1. Баженов Ю.М. Технология бетона. – М.: Высшая школа. - 2002. – 415 с.
2. Баженов Ю.М. Бетон при динамическом нагружении. – М.: Стройиздат, 1970.- 272 с.
3. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика –2-е изд. – М. - Технопроект, 1998. – 768 с.
4. Берг О.Я. Физические основы теории прочности бетона и железобетона. – М. - Госстройиздат, 1962. – 96 с.
5. Бунин М.В., Грушко И.М., Ильин А.Г. Структура и механические свойства дорожного цементного бетона. – Харьков: изд-во универ.,1968. – 199 с.
6. Глыбин В.С. Технология дорожного цементобетона. – М.: Высшая Школа, 1972. – 272 с.
7. Гоц В.И. Бетоны и строительные растворы. Учебник. – К.: ООО УВПК „ЕксОб”, 2003. – 472 с.
8. Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. Основы бетоноведения. – Спб., Строй-Бетон, 2006. – 692 с.

9. Демьянова В.С., Баженов Ю.М., Калашников В.И. Модифицированные высококачественные бетоны. – М.: Изд-во АСВ, 2006. – 368 с.
10. Добавки в бетон: Справ. пособие / В.С. Рамачандран, Р.Ф. Фельдман, М. Коллепарди и др. – М.: Стройиздат, 1988. – 575 с.
11. Дорошенко Ю.М., Вишневыский В.Б., Чистяков В.В. Добавки, повышающие прочность и водонепроницаемость цементных бетонов // Повышение долговечности конструкций водохозяйственного назначения. Тезисы докладов всесоюзной конференции. – Ростов-на-Дону, 1981. – С.133-135.
12. Влияние химической добавки-ускорителя твердения на процессы гидратации, структурообразования и свойства портландцемента / Ю.М. Дорошенко, О.Ю. Дорошенко, Л.Г. Гурина, П.П. Борковский // Весник ТАУ и УТУ. – 2000. – №4. – С.122 – 127.
13. Дорошенко О.Ю., Возненко А.Д. Кремнийорганические примеси - эффективные модификаторы цементного бетона / Сборник научных трудов Киевского университета экономики и технологий транспорта, серия "Транспортные системы и технологии". 2003. – Выпуск 3, – С. 72 – 79.
14. Дорошенко О.Ю., Дорошенко Ю.М. Цементный бетон, армированный стальной дисперсной арматурой // Сборник научных трудов Киевского университета экономики и технологий транспорта, серия "Транспортные системы и технологии". – 2006. – Вып. 10. – С. 66 – 74.
15. Дорошенко О.Ю., Дорошенко Ю.М. и др.. Состояние и перспективы развития дорожной сети Украины // Сборник научных трудов ГЭТУТ. Серия «Транспортные системы и технологии». – 2010. – Вып. 17. – С. 55 – 60.
16. Дорошенко О.Ю., Дорошенко Ю.М. Эксплуатационные воздействия на бетоны в цементобетонных покрытиях дорог / Сборник научных трудов ГЭТУТ. Серия «Транспортные системы и технологии». – 2011. – Вып.18. – С. 38 – 44.
17. Жёсткие покрытия аэродромов и автомобильных дорог: Учеб. пособие для вузов / Г.И. Глушков, В.Ф. Бабков, В.Е. Тригони и др.; Под ред. Г.И. Глушкова. – М.: Транспорт, 1994. – 349 с.
18. Мишутин А.В., Мишутин Н.В. Повышение долговечности бетонов тонкостенных плавучих и портовых гидротехнических сооружений. – Одесса: Одесский центр научно-технической и экономической информации, 2003. – 192 с.
19. Опыт строительства дорожных покрытий из жёстких укатываемых смесей / И.В. Басурманова, В.И. Коршунов, А.И. Суворов, Р.А. Коган. – М., 1990. – 64 с. – (Автомоб. дороги: Обзорн. информ. / Информавтодор; Вып. 2).
20. Пушкарева К.К., Дорошенко О.Ю. Особенности получения щелочного шлакопортландцементного бетона и перспективы его использования для устройства дорожного покрытия // Автодорожник Украины. – 2008. – № 5 (211). – С. 40 – 45.
21. Рабинович Ф.Н. Дисперсно-армированные бетоны. – М.: Стройиздат, 1989. – 176 с.
22. Ребиндер П.А. Процессы структурообразования в дисперсных системах. Физико-химическая механика строительных материалов / – Ташкент: Изд. «Фан», 1966. – 348 с.
23. Строительство цементобетонных покрытий автомобильных дорог: Учеб. для вузов / Э.Р. Пинус, С.В. Коновалов, А.М. Радин. – М.: Высшая школа, 1975. – 303 с.
24. Транспортная стратегия Украины на период до 2020 года.
25. Ферронская А.В. Долговечность конструкций из бетона и железобетона. – М.: Изд-во АСВ, 2006. – 336 с.

**Рецензенти:**

Мишутін А.В., д-р техн. наук, Одеська державна академія будівництва і архітектури.  
Солодкий С.Й., д-р техн. наук, НУ "Львівська політехніка".

**Reviewers:**

Mishutin A.V., Dr. Tech. Sci., Odessa State Academy of Construction and Architecture.  
Solodkyi S.Yo., Dr. Tech. Sci., NU "Lviv Polytechnic".

Стаття надійшла до редакції: **16.06.2016 р.**