

Технологический процесс - непрерывного действия. Дозирование исходных материалов осуществляют с помощью весовых дозаторов. Все последующие технологические операции также проводят, используя серийно производимое оборудование.

Технология предусматривает подготовку сырья путем химической нейтрализации примесей без удаления продуктов реакции из фосфогипса. В качестве нейтрализующей добавки используют известь, как наиболее распространенную нейтрализующую добавку. Специально разработанные метод и подобранное оборудование позволяют использовать фосфогипс непосредственно из цеха производства экстракционной фосфорной кислоты или из отвала. Репульпация фосфогипса не требуется и, следовательно, не требуется и использование в технологической цепи громоздких репульпаторов и вакуум-фильтров. В то же время обеспечивается более глубокая нейтрализация материала, так как нейтрализуются не только примеси, находящиеся на поверхности кристаллов, и в промежутках между агрегированными частицами, но и в порах крупных кристаллов, так как происходит их разрушение.

Использование полученного по предлагаемой технологии нейтрализованного фосфогипса-полуфабриката позволит отказаться от импорта дорогостоящего природного гипсового камня, снизить себестоимость продукции, улучшить экологическую обстановку в районе нахождения отвалов фосфогипса.

## **ПРОБЛЕМЫ СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ ДОРОЖНЫХ ЦЕМЕНТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ**

И.И. Леонович, С.В. Богданович

Факультет дорожного строительства,

Белорусская государственная политехническая академия

г. Минск, Беларусь

В статье затрагиваются некоторые проблемы обеспечения качества цементобетонов в дорожном строительстве, факторы и причины, приводящие к разрушению цементобетонных покрытий. В целях предотвращения разрушений важно своевременно выполнять ремонтные мероприятия. Для наиболее эффективного их проведения необходимо прогнозировать изменение состояния покрытия с течением времени.

Ключевые слова: Цементобетон, качество, разрушение, прогнозирование

В настоящее время в дорожном строительстве достаточно широкое распространение получили цементобетонные покрытия. Высокие качества этих покрытий обеспечиваются как на стадии строительства - при точном соблюдении технологических требований, так и на стадии эксплуатации - при использовании специальных водозащитных средств и своевременном выполнении ремонтных мероприятий. Актуальной задачей является своевременное определение участков покрытия, нуждающихся в ремонте. Для решения этой задачи необходимо прогнозировать изменение состояния покрытия с течением времени. В Белорусской государственной политехнической академии, а также в Белдорцентре ведутся исследования по прогнозированию изменения с течением времени основных транспортно-эксплуатационных показателей цементобетонных покрытий.

Ниже изложены некоторые проблемы, обозначившиеся в результате этих исследований.

#### 1. Проблемы обеспечения качества цементобетонов в дорожном строительстве

В Республике Беларусь цементобетон используется для строительства как дорог республиканского, так и местного значения. Возможность его применения обусловлена наличием развитой цементной промышленности. Высокие потребительские качества таких дорог также позволяют широко применять цементобетонные покрытия.

Однако эксплуатация дорог с цементобетонными покрытиями показывает, что их долговечность несколько ниже ожидаемой, на поверхности возникают дефекты, приводящие к снижению ровности и, следовательно, к росту затрат на эксплуатацию транспорта. При формировании качественного дорожного бетона большое внимание необходимо уделять активности и химическому составу портландцемента, оптимизации структуры цементного камня и бетона в целом, качеству крупного и мелкого заполнителя, соотношению всех компонентов материала. Важное значение имеет режим уплотнения и условия твердения бетона. К бетону для дорожных покрытий предъявляются повышенные требования по прочности и морозостойкости. Значение имеет не только прочность на сжа-

тие, но и прочность на растяжение при изгибе. Получение высокопрочных бетонов основано на применении высокопрочных (алитовых) цементов М500 и М600. Понижение водоцементного отношения до определенного предела, зависящего от состава и способа уплотнения, приводит к повышению прочности бетона. Низкое водоцементное отношение (0.35 и менее) и высокая прочность бетона достигаются введением пластифицирующих добавок (например, С-3, ЛСТ и др.). Прочность, крупность и вид заполнителя оказывают влияние на свойства бетона. Если прочность зерен щебня ниже определенного предела, зависящего от материала щебня, то прочность бетона может существенно уменьшиться.

Вследствие капиллярно-пористой структуры дорожных бетонов и по причине их работы при отрицательных температурах в зимний период, важной характеристикой является морозостойкость. Как показывают экспериментальные исследования, морозостойкость бетона растет с увеличением его плотности. Это происходит вследствие того, что с уменьшением диаметра капилляров снижается температура замерзания воды. Разрушение от внутренних напряжений может произойти в тех случаях, когда поры в бетоне заполнены водой не менее, чем на 85..90% их общего объема. В обычных условиях эксплуатации дорожного покрытия такого водонасыщения не наблюдается. Однако, при замерзании бетона, которое происходит начиная от наружных слоев и постепенно распространяется в глубь конструкции, в нем создается градиент температуры, и влага из более теплых внутренних слоев мигрирует к более холодным наружным. Создаются условия для более полного насыщения пор бетона в зонах замерзания и для разрушения покрытия в этих зонах.

Независимо от причин разрушения, восстановление поверхности цементобетонного покрытия до требуемого качества требует значительных материальных и финансовых затрат. С учетом этого можно сделать вывод, что расширение применения цементобетонных покрытий и увеличение срока их эксплуатации тесно связано с решением проблемы совершенствования технологии строительства и содержания цементобетонных покрытий, а также своевременного выполнения ремонтных мероприятий.

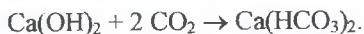
## 2. Факторы и причины, приводящие к разрушению цементобетонных покрытий

Цементобетон представляет собой конгломерат, состоящий из природных каменных материалов и цементного камня. Последний представлен такими структурами как алит ( $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ), белит ( $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ), трехкальциевый алюминат ( $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ), четырехкальциевый алюмоферрит ( $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) и др. Именно химический состав цементобетона обуславливает такое негативное явление как коррозия бетона. Основным требованием для получения прочных бетонов [1,2] является ограничение водоцементного отношения цементного геля (теста) (В/Ц) в бетонной смеси до такой степени, пока увеличивается прочность формируемого покрытия. На основе большого экспериментально-теоретического материала установлено влияние технологических факторов приготовления, уплотнения, режимов твердения на прочностные качества бетона. Численно это влияние может быть определено по формуле:

$$R_6 = \frac{\alpha CR_s \sqrt{1 \pm \eta_x}}{1 + a_0 K_{\text{пр}} \left( \frac{B}{Ц} \right)_{\text{ост}} - a_0 K_{\text{пр}}}, \quad (1)$$

- где
- $\alpha$  - коэффициент, зависящий от  $K_{\text{пр}}$  и размеров образцов бетона;
  - $C$  - коэффициент,  $C=1.13$  для щебня и  $C=1.0$  для гравия;
  - $R_{\text{ц}}$  - активность портландцемента;
  - $a_0, b$  - коэффициенты,  $a_0=1.65$  и  $b=1.0$  при приготовлении и уплотнении бетонной смеси не вызывающих нептизацию флокул цемента и  $a_0=2.0$  и  $b=1.22$  - при гомогенизации цементного геля;
  - $K_{\text{шт}}$  - водосодержание цементного геля нормальной густоты;
  - $\left( \frac{B}{Ц} \right)_{\text{ост}}$  - остаточное содержание В/Ц бетонной смеси;
  - $\eta_x$  - содержание пылевидных фракций в заполнителях (если уплотнение бетонной смеси производится центрифугированием с удалением плама,  $\eta_x$  принимается со знаком «плюс», в других случаях со знаком «минус»).

Характерным является то, что соединения  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , входящие в состав цементного камня, способны растворяться в мягкой дождевой воде и вымываться из бетона. При наличии в воде углекислоты (отработанные газы транспортных средств) происходит следующая реакция:



Образующийся бикарбонат кальция хорошо растворяется в воде. Если в воде содержатся свободные кислоты (кислотные осадки), процесс разрушения цементного камня идет еще быстрее:



где  $\text{CaCl}_2$  - легко растворимое соединение.

При попадании в цементный камень сульфата происходит сульфатная коррозия, образуется гипс, а затем гидросульфалюминат кальция:



Вследствие этого увеличивается объем твердой фазы, возникают внутренние напряжения и происходит разрушение цементного камня.

Кроме коррозии, на разрушение цементобетонных покрытий влияет ряд других факторов, к которым можно отнести:

- низкую механическую прочность бетона на истирание и знакопеременные нагрузки;
- повышенную пористость, особенно в верхней части покрытий;
- несоответствующее условиям работы количество условно замкнутых (резервных) воздушных включений;
- недостаточную коррозионную стойкость компонентов цементного камня и заполнителя.

На практике деформации и разрушения цементобетонных покрытий проявляются в виде шелушения с равномерным разрушением на глубину до 10 - 30 мм верхнего слоя покрытия, откалывания кромок в зоне температурных швов и краевых полос, образования трещин на поверхности и в общей массе дорожного покрытия, появления отдельных выбоин, раковин и др.

### 3. Проблемы прогнозирования изменения транспортно-эксплуатационных свойств цементобетонных покрытий

Вышеизложенные факторы, влияющие на разрушение цементобетонных покрытий, являются внутренними, имеющими материаловедческое и технологическое происхождение. При изучении разрушения цементобетонных покрытий автомобильных дорог необходимо также учесть и внешние факторы: напряжения от транспортных нагрузок (нормальные и касательные) и напряжения, которые возникают в конструктивных слоях дорожной одежды и земляного полотна под влиянием температуры, морозного пучения, сорбционных и осмотических сил.

Под воздействием внешних факторов на покрытиях возникают следующие дефекты: нарушение заполнения швов, повреждение кромок швов, просадки и выпучивания плит, коробление плит. Одним из наиболее распространенных дефектов является образование трещин.

Поперечные трещины на цементобетонных покрытиях могут образовываться либо по причине высокого напряжения в плитах, либо вследствие усталости материала.

Напряжения, возникающие в плитах, обусловлены преимущественно короблением вследствие действия температуры и влажности, а также действием транспортных нагрузок. Образование трещин вследствие усталости вызывается при многократном возникновении в бетонной плите напряжений, меньших прочности бетона на изгиб.

Представляет интерес модель развития трещин вследствие усталости [3]. Согласно этой модели, для определения развития трещин вследствие накопленной усталости необходимо кроме собственно усталости учесть следующие дополнительные факторы:

- прочностные характеристики бетона покрытия;
- характеристики транспортного потока;
- климатические факторы.

Основным климатическим фактором, влияющим на образование трещин вследствие усталости, является разность температур между верхней и нижней поверхностью плиты, выражаемая температурным градиентом. Положительный

температурный градиент вызывает выпуклое коробление плит, отрицательный градиент - вогнутое. В зависимости от величины температурного градиента напряжения в плите, вызванные короблением, могут быть равны или даже больше напряжений, вызванных транспортными нагрузками и результирующее напряжение может превысить предел прочности бетона. Основными факторами, влияющими на температурный градиент являются температура воздуха, скорость ветра, продолжительность воздействия солнца. Таким образом, температурный градиент непрерывно изменяется в течение суток. Поскольку нет возможности учесть непрерывное изменение температурного градиента, важно получить статистические данные о распределении температуры воздуха в течение суток за несколько репрезентативных лет для условий Беларуси. Это позволит определить часовые температурные градиенты для некоторого «среднего» года и использовать их в дальнейшем в расчетах по прогнозированию трещинообразования.

Характеристиками транспортного потока, которые важно учесть, чтобы определить трещинообразование вследствие накопленной усталости являются: нагрузка на ось, интенсивность движения, распределение транспортных средств по полосе. Исследования интенсивности и состава потока ведутся в Беларуси уже в течение ряда лет. Большое значение имеет также распределение транспортных средств по полосам движения, особенно важно учесть автомобили, проходящие по краю плиты. Поскольку в настоящее время таких данных не имеется, можно использовать данные зарубежных исследований [4]. Вся нагрузка от транспортного движения преобразуется в количество приложений эквивалентной нагрузки в 82 кН. Считается, что 5% эквивалентной нагрузки приходится на край плиты. Учитывая тот факт, что в настоящее время в Республике Беларусь расчеты дорожных одежд ведутся для нагрузки 100 кН, необходимо нахождение коэффициентов пересчета.

При определении усталостного повреждения бетона учитываются среди прочих следующие свойства материала: модуль упругости бетона и предел прочности бетона. Модуль упругости возможно получить, используя результаты испытаний дорожной одежды при помощи дефлектометра падающего груза

(FWD). Предел прочности бетона может быть получен путем испытаний образцов, отобранных из различных участков дорожного покрытия.

Таким образом, одной из проблем строительства и эксплуатации дорожных цементобетонных покрытий является проблема прогнозирования развития трещин. Это достаточно трудоемкая задача и требует для своего решения учета большого количества различных факторов. Успешное решение проблемы прогнозирования развития трещин позволит продлить срок службы цементобетонных покрытий, а также более рациональным образом использовать средства, выделяемые на ремонт автомобильных дорог.

#### Литература

1. Ахвердов И.Н. Основы физики бетона. М., Стройиздат, 1981
2. Ахвердов И.Н. Теоретические основы бетоноведения. Минск, 1991
3. ERES Consultants (1995) Performance of Concrete Pavements, Volume III: Improving Concrete Pavement Performance. U.S. Department of Transportation and Federal Highway Administration. Champaign, Illinois, 1995
4. Smith K.D., et al, Performance of Jointed Concrete Pavements. Federal Highway Administration/ ERES Consultants, Ink. Illinois, 1990

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗРУШЕНИЯ И ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ ВЫСОКОПРОЧНОГО ВИБРИРОВАННОГО БЕТОНА

С.Н. Леонович

БГПА

Минск, Беларусь

Рассмотрены результаты равновесных испытаний высокопрочного бетона на местных материалах и проанализирована сопротивляемость образованию и развитию трещин в высокопрочном бетоне.

Ключевые слова. Высокопрочный бетон, вязкость разрушения, хрупкость.

Под высокопрочными бетонами (High-Strength Concrete), согласно принятым в рамках международных организаций по строительству ФИП и ЕКБ новым терминов и их определений, понимаются все бетоны, имеющие прочность на сжатие в цилиндрах от 60 до 130 Мпа (или от 72 до 156 Мпа в кубках).